



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
GESTÃO E TECNOLOGIA INDUSTRIAL

FÁBIO ANDRÉ BRAND

Proposta e avaliação de um modelo de referência de
Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) voltado à
indústria siderúrgica

Salvador

2013

FÁBIO ANDRÉ BRAND

PROPOSTA E AVALIAÇÃO DE UM MODELO DE
REFERÊNCIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE (MCC) VOLTADO À INDÚSTRIA
SIDERÚRGICA

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Maurício Pachekoski

Salvador
2013

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

B817p

Brand, Fábio André

Proposta e avaliação de um modelo de referência de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) voltado à indústria siderúrgica / Fábio André Brand - 2013.

104f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Maurício Pachekoski

Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia Senai - CIMATEC, Salvador, 2013.

1. MCC - (Manutenção Centrada em Confiabilidade). 2. Manutenção. 3. Confiabilidade. 4. Siderurgia. I. Faculdade de Tecnologia Senai - CIMATEC. II. Pachekoski, Wagner Maurício. III. Título.

CDD 658.514

FÁBIO ANDRÉ BRAND

PROPOSTA E AVALIAÇÃO DE UM MODELO DE
REFERÊNCIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE (MCC) VOLTADO À INDÚSTRIA
SIDERÚRGICA

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC.

Aprovada em 04 de Julho de 2013.

Banca Examinadora

Orientador: Prof. Dr. Wagner Maurício Pachekoski

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.

Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC.

Coorientador: Prof. Dr. Xisto Lucas Travassos Junior

Doutor em Engenharia Elétrica pela Ecole Centrale de Lyon, França.

Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC.

Membro Interno da Banca: Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos

Doutor em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC.

Membro Externo da Banca: Prof. Dr. Régis Kovacs Scalice

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

AGRADECIMENTOS

O Autor deseja registrar os agradecimentos a todos que de certa forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Wagner Maurício Pachekoski, que acolheu a minha proposta de mestrado e pela orientação, presteza e atenção dada durante este período.

Ao SENAI CIMATEC, pela oportunidade de participar do programa de mestrado que muito enriqueceu meus conhecimentos.

À Angélica e ao Robson, da Secretaria Acadêmica, pelo apoio e orientações para o cumprimento de todas as etapas do programa de mestrado.

Aos colegas e amigos, que contribuíram com conhecimento, incentivo e amizade no decorrer do programa de mestrado.

À minha esposa Marlise Fátima, cujo amor, compreensão e incentivo foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Lírio e Renita, pelo incentivo e dedicação à educação de seus filhos, base de todo este trabalho.

RESUMO

As empresas de classe mundial são aquelas que buscam a excelência nos serviços e produtos de sua competência. Para atingir esta excelência, as empresas precisam manter-se sempre na vanguarda da aplicação de tecnologias no seu processo produtivo e, principalmente, na gestão de seus ativos. Para estas empresas, os departamentos de manutenção assumem cada vez mais uma função estratégica e a implementação de metodologias como a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) têm contribuído muito para a obtenção de um desempenho positivo em seu sistema produtivo, com aumento da disponibilidade de seus equipamentos e conseqüente aumento da produtividade e redução de custos. Entretanto, apesar das inúmeras vantagens da aplicação da MCC, identificaram-se duas oportunidades de melhoria nesta metodologia, nas etapas de definição dos equipamentos críticos e na aplicação do diagrama de decisão para escolha das tarefas de manutenção. Pois é dentro deste contexto que se insere o presente trabalho, que busca consolidar o processo de implementação da MCC, com a introdução de melhorias nas etapas deficitárias, voltadas principalmente para a indústria siderúrgica. Inicialmente, apresenta-se uma abordagem sobre os conceitos e métodos empregados na manutenção tradicional. Em seguida, as principais ferramentas e sistemáticas utilizadas pela MCC são detalhadas, juntamente com as melhorias propostas para aplicações no ramo siderúrgico. Posteriormente, realizou-se um estudo de caso, onde a MCC, já contendo os métodos apresentados neste trabalho, foi aplicada em uma empresa siderúrgica, sendo que os resultados obtidos demonstraram a adequação desta proposta às necessidades deste ramo industrial.

Palavras-chave: MCC, Manutenção, Confiabilidade, Siderurgia.

ABSTRACT

The world-class companies are those that seek excellence in products and services within its competence. To achieve this excellence, companies seek innovations to always remain at the forefront of applying technology in its production process, and especially in the management of its assets. For these firms, maintenance departments are increasingly taking a strategic role and implementation of methodologies such as Reliability Centered Maintenance (RCM) have contributed much to getting a positive performance in the production system, with increased availability of their equipment and consequent increase in productivity and cost reduction. However, despite the numerous advantages of using RCM, there are two opportunities for improvement (Gaps) in this methodology: on the method for defining the critical equipment and on the application of the decision logic for the choice of maintenance tasks. This dissertation is inserted on this context, seeking to consolidate the process of implementation of the RCM, proposing two methods to solve the Gaps identified, primarily focused on the steel industry. Initially, we present an approach to the concepts and methods used in traditional maintenance. Then, the main tools and methodologies used on RCM are detailed, along with the proposed methods for applications in the steel industry. Subsequently, we performed a case study, where the RCM, containing the methods presented in this paper, was applied in a steel company, and the results obtained showed the adequacy of the proposal to the needs of this type of industry.

Keywords: RCM, Maintenance, Reliability, Steel Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Mudanças do enfoque da manutenção.....	21
Figura 2.2 - Evolução das técnicas de manutenção nas indústrias.....	23
Figura 2.3 - Evolução da manutenção.....	23
Figura 2.4 - Percentual dos custos de manutenção em relação ao faturamento total por setor industrial.....	25
Figura 2.5 - Métodos de manutenção planejada.....	27
Figura 2.6 - Manutenibilidade de um ativo físico.....	35
Figura 2.7 - Intervalo P-F.....	36
Figura 2.8 - Divisão das consequências das falhas.....	39
Figura 2.9 - Padrões de falha.....	39
Figura 2.10 - Divisão das tarefas de manutenção.....	41
Figura 3.1 - Fluxo de aplicação da MCC.....	50
Figura 3.2 - Diagrama de decisão tradicional da MCC.....	53
Figura 3.3 - Time ideal de profissionais para um projeto de aplicação da MCC.....	58
Figura 4.1 - Fluxograma de produção do vergalhão.....	80
Figura 4.2 - Processamentos de Sucatas executados no Pátio de Sucatas....	82
Figura 4.3 - Time de profissionais definido para aplicação do método proposto.....	82
Figura 4.4 - Distribuição ABC obtida com a aplicação do método proposto nos sistemas/subsistemas do Pátio de Sucatas.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Comparativo dos custos por tipo de manutenção.....	27
Quadro 2.2 - Formulário típico de FMEA usado na aplicação da MCC.....	44
Quadro 2.3 - Comparação das sistemáticas de aplicação da MCC.....	46
Quadro 3.1 - Detalhes dos campos para preenchimento das Fases 1 (Severidade) e Fase 2 (Probabilidade + Risco Relativo).....	61
Quadro 3.2 - Detalhamento do fator SE – Segurança.....	62
Quadro 3.3 - Detalhamento do fator MA – Meio Ambiente.....	63
Quadro 3.4 - Detalhamento do fator IP – Impacto no processo produtivo.....	65
Quadro 3.5 - Detalhamento do fator CO – Custo operacional.....	66
Quadro 3.6 - Exemplo de uma planilha para cálculo da Criticidade e Risco Relativo com a “Fase 1 – Severidade” preenchida.....	67
Quadro 3.7 - Lógica de decisão para definição da criticidade do ativo.....	68
Quadro 3.8 - Detalhamento do fator PF – Probabilidade de Falha.....	70
Quadro 3.9 - Exemplo da planilha para cálculo da Criticidade e Risco Relativo completamente preenchida.....	72
Quadro 3.10 - Formulário para aplicação da metodologia FMECA a ser utilizado nesta pesquisa.....	74
Quadro 3.11 - Detalhamento do fator DT – Detectabilidade.....	76
Quadro 3.12 - Estratégias de manutenção para ativos de Criticidade A.....	77
Quadro 3.13 - Estratégias de manutenção para ativos de Criticidade B.....	78
Quadro 3.14 - Estratégias de manutenção para ativos de Criticidade C.....	78
Quadro 4.1 - Priorização via Multi-fatores dos ativos do pátio de sucatas....	84
Quadro 4.2 - Ordem decrescente dos ativos em relação ao Risco Relativo obtido no método proposto de “Priorização via Multi-fatores”..	87
Quadro 4.3 - Comparação do plano de manutenção obtido pelo método proposto com as recomendações de Smith e Mobley (2008)..	90

LISTA DE SIGLAS

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção

ATA – *Air Transport Association* (Associação de Transporte Aéreo)

CO – Custo Operacional

D – Detectabilidade Comum

DT – Detectabilidade

FAA – *Federal Aviation Administration* (Administração Federal da Aviação)

FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis* (Análise de Modos e Efeitos de Falhas)

FMECA – *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* (Análise dos Modos, dos Efeitos e da Criticidade de Falhas)

IP – Impacto no Processo

MA – Meio Ambiente

MBC – Manutenção Baseada na Condição

MBT – Manutenção Baseada no Tempo

MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade

MCP – Manutenção Corretiva Planejada/Programada

MP – Manutenção Preventiva

MSG – *Maintenance Steering Groups* (Grupo Piloto de Manutenção)

MTBF – *Mean Time Between Failures* (Tempo Médio entre Falhas)

NASA – *National Aeronautics and Space Administration* (Agência Espacial Americana)

NBR – Norma Brasileira Registrada

O – Ocorrência (Probabilidade)

PF – Probabilidade de Falha

RCM – *Reliability Centered Maintenance* (Manutenção Centrada em Confiabilidade)

RP – Reprojeto

RPN – *Risk Priority Number* (Número de Prioridade de Risco)

RR – Risco Relativo

S – Severidade

SAE – Sociedade dos Engenheiros Automotivos

SE – Segurança

ST – Severidade Total

TPM – *Total Productive Maintenance* (Manutenção Produtiva Total)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Comentários Iniciais.....	15
1.2	Definições do Problema.....	16
1.3	Objetivos.....	16
1.3.1	Objetivo Geral.....	16
1.3.2	Objetivos Específicos.....	17
1.4	Importância da Pesquisa.....	17
1.5	Limitações do Trabalho.....	18
1.6	Aspectos Metodológicos.....	18
1.7	Organização da Dissertação de Mestrado.....	19
2	MANUTENÇÃO INDUSTRIAL E A MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE.....	20
2.1	Definição de Manutenção.....	20
2.2	Evolução do Processo Manutenção.....	20
2.3	Importância da Manutenção.....	24
2.4	Tipos de Manutenção.....	26
2.4.1	Manutenção Corretiva Planejada.....	27
2.4.2	Manutenção Preventiva.....	28
2.4.3	Manutenção de Rotina.....	29
2.4.4	Manutenção Periódica.....	29
2.4.5	Manutenção Preditiva.....	29
2.4.6	Manutenção por Melhorias.....	30
2.5	Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).....	31
2.5.1	Considerações Iniciais.....	31
2.5.2	Objetivos e Resultados da MCC.....	32
2.5.3	Questões Básicas e Principais Definições da MCC.....	33

2.5.3.1	Funções.....	34
2.5.3.2	Padrões de Desempenho.....	35
2.5.3.3	Contexto Operacional.....	35
2.5.3.4	Falhas Funcionais.....	36
2.5.3.5	Falhas Potenciais.....	36
2.5.3.6	Modos de Falha.....	37
2.5.3.7	Causas da Falha.....	37
2.5.3.8	Efeitos da Falha.....	38
2.5.3.9	Consequências da Falha.....	38
2.5.3.10	Padrões de Falha.....	39
2.5.3.11	Tarefas de Manutenção.....	41
2.5.4	FMEA – <i>Failure Modes and Effects Analysis</i>	43
2.5.5	As Etapas da MCC.....	45
3	ESTUDO DE MELHORIAS PARA A MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) VOLTADAS PARA APLICAÇÕES NO RAMO SIDERÚRGICO.....	48
3.1	Considerações Iniciais.....	48
3.2	Sistemática tradicional de implementação da MCC utilizada como base para elaboração dos métodos propostos.....	49
3.3	Deficiências identificadas para aplicação da MCC em empresas do ramo siderúrgico.....	50
3.3.1	Deficiência na “Etapa 1” – Falta de uma definição clara quanto ao método a ser utilizado na escolha do item físico a ser analisado.....	51
3.3.2	Deficiência na “Etapa 6” – Baixa assertividade e elevado tempo para a escolha das estratégias de manutenção usando o diagrama de decisão tradicional da MCC.....	52
3.4	Descrição dos métodos propostos.....	56
3.4.1	Método Proposto para a “Etapa 1”: Priorização de ativos físicos para aplicação da MCC	56

3.4.2	Detalhamento do método proposto para determinação da prioridade de ativos físicos para aplicação da MCC em empresas do ramo siderúrgico - “Método de Priorização via Multi-fatores”.....	57
3.4.3	Método proposto para a “Etapa 6” – Método alternativo para definição das estratégias de manutenção.....	72
3.4.4	Detalhamento do método alternativo ao diagrama de decisão da MCC – “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”.....	72
4	AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS PROPOSTOS – APLICAÇÃO EM EMPRESA DO RAMO SIDERÚRGICO.....	80
4.1	Considerações Iniciais.....	80
4.2	Preparação do Estudo.....	81
4.3	O Pátio de Sucatas.....	81
4.4	Aplicação do método proposto no Pátio de Sucatas.....	82
4.4.1	Definição do time de profissionais para aplicação do método.....	82
4.4.2	Definição do nível da análise.....	83
4.4.3	Aplicação do Método Proposto para a “Etapa 1”: Método de Priorização via Multi-fatores.....	83
4.4.4	Aplicação do Método proposto para a “Etapa 6” – Método “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”.....	88
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
5.1	Conclusões.....	93
5.2	Atividades Futuras de Pesquisa.....	95
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
	APÊNDICE.....	100
	Apêndice A – Resultado da aplicação da metodologia FMECA e do método proposto nesta dissertação (“Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”) para o ativo de <u>Criticidade A</u> : Triturador de Sucatas/Moinho Principal.....	101

1 INTRODUÇÃO

1.1 Comentários Iniciais

O cenário mundial atual é de aceleradas modificações no ambiente produtivo industrial, onde produzir com qualidade, baixo custo e maior capacidade de resposta são imperativos para a sobrevivência de qualquer indústria. Nesta busca acirrada por maiores níveis de produtividade, as empresas têm adquirido máquinas e processos cada vez mais velozes e potentes, sendo que estes somente poderão ser inseridos em suas linhas produtivas quando garantirem uma produção com qualidade, de forma constante e sem afetar a segurança humana ou o meio ambiente. Com isso, as empresas são pressionadas a buscar constantemente novas metodologias que tragam resultados superiores para o seu processo manutenção.

A metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) passou então a ser muito utilizada por indústrias de diversos setores, tornando-se uma ferramenta fundamental no processo de gerenciamento da manutenção, pois contribui para a melhoria dos resultados do negócio através de uma maximização da produção com o menor custo, sem infringir normas de segurança ou afetar o meio ambiente.

É dentro deste contexto que se insere o presente trabalho, que propõe uma contribuição à metodologia de aplicação da MCC, introduzindo novos métodos para a etapa de definição dos equipamentos críticos e também para a etapa de aplicação do diagrama de decisão, buscando uma maior assertividade, rapidez e simplicidade, principalmente para o uso desta metodologia em equipamentos de empresas siderúrgicas, onde a obtenção de bons resultados no processo manutenção é essencial para a garantia da competitividade destas empresas frente ao cenário econômico atual.

1.2 Definições do Problema

A gestão do processo manutenção assumiu importância fundamental para o sucesso de qualquer empresa, em especial, empresas do setor siderúrgico. A evolução dos conceitos e técnicas de gestão da manutenção culminou na Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), expressão do inglês, *Reliability Centered Maintenance (RCM)*, sendo definida como um processo usado para manter e assegurar que qualquer ativo físico continue a desempenhar a função que lhe foi concebida (ZAIONS, 2003).

Conforme Moubrey (1997), a aplicação da MCC aumenta a confiabilidade e disponibilidade dos itens físicos, além de aumentar a produtividade, a segurança operacional e ambiental e a redução de custos de uma empresa.

Apesar de reconhecidamente vantajosa quanto a sua aplicação, foram identificados alguns pontos para melhorias na metodologia MCC, principalmente nas etapas de hierarquização dos equipamentos quanto a sua criticidade para o processo e também na etapa de aplicação do diagrama de decisão para definição das tarefas de manutenção. Estas duas etapas são o foco do desenvolvimento deste trabalho, que apresenta um modelo de referência para a MCC, buscando uma maior simplicidade e rapidez na implementação prática da MCC, principalmente em empresas siderúrgicas, abrindo a perspectiva de que novas estratégias e métodos possam ser utilizados na gestão da manutenção em empresas deste ramo industrial.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Propor e avaliar um modelo de referência para a MCC, com a introdução de novos métodos para as etapas de seleção dos itens físicos críticos e para a aplicação do diagrama de decisão, buscando sua melhor adequação à gestão da manutenção em empresas do ramo siderúrgico.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Apresentar os conceitos, métodos e tarefas de manutenção, com ênfase na Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC);
- Descrever e analisar a metodologia de MCC com a incorporação dos novos métodos propostos voltados a facilitar a implementação da MCC em empresas do ramo siderúrgico, mantendo a mesma qualidade dos resultados da MCC tradicional.
- Avaliar a implementação da MCC, com os métodos propostos, em uma empresa siderúrgica;

1.4 Importância da Pesquisa

Segundo a ABRAMAN (2011), as empresas estão gastando mais no processo manutenção de seus equipamentos, o que demonstra a importância da gestão deste processo, que movimenta, somente no Brasil, em torno de R\$ 145 bilhões.

Para o caso de empresas siderúrgicas, 4 a 5% do faturamento bruto é dispensado na manutenção de seus 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, portanto, a busca da excelência no processo manutenção torna-se fundamental para qualquer empresa atingir um diferencial competitivo.

Também conforme a ABRAMAN (2011), somente 17% das empresas brasileiras utilizam a MCC como ferramenta para o alcance de melhores resultados no seu processo de manutenção.

A motivação principal desta dissertação insere-se neste contexto, buscando, através da melhoria da metodologia MCC, facilitar o seu processo de implantação, tornando-o mais simples e prático e mantendo a mesma qualidade dos resultados.

1.5 Limitações do Trabalho

Este trabalho não possui o propósito de desenvolver uma nova proposta de MCC, mas reunir informações capazes de facilitar à sua utilização, mesmo com algumas alterações específicas.

É importante enfatizar também que, como a implementação da MCC demanda um longo tempo e dedicação de especialistas e técnicos, a análise prática se limitará a uma área específica de uma empresa siderúrgica.

Além disso, devido à falta de informações históricas sobre falhas ocorridas no equipamento em estudo, não será possível determinar estatisticamente a periodicidade das tarefas de manutenção, ficando estas definidas através da opinião dos especialistas da empresa analisada.

1.6 Aspectos Metodológicos

Pesquisa científica é um conjunto de procedimentos sistemáticos, baseados no raciocínio lógico, que tem por objetivo encontrar soluções para os problemas propostos mediante o emprego de métodos científicos (RODRIGUES, 2007).

Esta pesquisa, considerando a sua natureza e finalidade, pode ser classificada como pesquisa aplicada, uma vez que os conhecimentos adquiridos serão utilizados para aplicação prática na solução de problemas reais.

Inicialmente, elaborou-se uma revisão bibliográfica sobre o tema Manutenção Industrial, englobando o histórico da manutenção, definições e os principais tipos utilizados pela indústria atualmente. Em seguida, a Manutenção Centrada em Confiabilidade foi abordada através dos principais conceitos e sistemáticas de aplicação encontradas na literatura pesquisada. Com isso, desenvolveram-se as propostas de métodos a serem incorporados a MCC, buscando a sua melhor adequação ao ramo siderúrgico.

Para avaliação dos métodos propostos, foi elaborado um estudo de caso, com a aplicação da metodologia descrita neste trabalho em uma área de uma empresa siderúrgica. Conforme Zaions (2003), o estudo é uma descrição analítica de um evento ou de uma situação *in-loco*, e o método de estudo de

caso serve de guia para o desenvolvimento de procedimentos, com finalidade de obter novas descobertas.

1.7 Organização da Dissertação de Mestrado

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos.

No Capítulo 1 são apresentados os comentários iniciais, a definição do problema, os objetivos, a importância da pesquisa, as limitações, os aspectos metodológicos e a organização da dissertação.

O Capítulo 2 apresenta um referencial bibliográfico, com análise de autores nacionais e internacionais, sobre o processo Manutenção e Manutenção Centrada em Confiabilidade. Neste capítulo é realizada uma introdução sobre o histórico da manutenção industrial, com enfoque voltado a MCC, incluindo conceitos e definições associadas à prática e à gestão da manutenção. Além disso, este capítulo também apresenta uma revisão dos conceitos e das definições utilizados na MCC, juntamente as principais ferramentas e sistemáticas de implementação da MCC.

O Capítulo 3 apresenta os dois métodos propostos neste trabalho, descrevendo em detalhes como eles serão incorporados à metodologia tradicional da MCC.

O Capítulo 4 apresenta uma avaliação das adequações à MCC propostas no capítulo anterior, através da elaboração de um estudo de caso de aplicação prática de toda metodologia em uma área de uma empresa siderúrgica localizada na região nordeste do Brasil.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho, bem como sugestões para a realização de trabalhos futuros.

No Capítulo 6 são listadas as referências bibliográficas utilizadas para a realização deste trabalho.

2 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL E A MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Neste capítulo são abordados os principais aspectos teóricos relacionados à manutenção industrial, sua definição, histórico e evolução, assim como os principais métodos de gerenciamento do processo manutenção, com enfoque na metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

2.1 Definição de Manutenção

O conceito de manutenção, assim como a grande maioria dos conceitos relacionados à indústria, foi modificado ao longo do tempo, em função das necessidades cada vez maiores e dos estudos correspondentes que procuravam responder a essas necessidades.

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

Na norma NBR 5462/1994, manutenção é definida como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de revisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

A partir dos anos 2000, a utilização da metodologia da manutenção centrada em confiabilidade aumentou consideravelmente no meio industrial brasileiro, o que levou a definição de manutenção a fundir-se cada vez mais com os conceitos de MCC, tornando-se então “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados” (Adaptado de PETROBRÁS, 2002).

2.2 Evolução do Processo Manutenção

Até o final do século XIX, a manutenção era vista como uma atividade secundária, sendo realizada pelas próprias equipes de produção, sem

ferramentas ou treinamentos adequados. Os primeiros movimentos para organizar o processo manutenção surgiram com o advento da indústria mecanizada e da produção em série de Henry Ford (TAVARES, 1999).

Segundo Zaions (2003, p.27), o grande salto evolutivo da manutenção ocorreu durante a Primeira Guerra Mundial (1914), quando as empresas foram fortemente demandadas por produções máximas, fazendo com que surgissem as primeiras equipes de manutenção, dedicadas para fazer reparos nos equipamentos no menor tempo possível. Nesta época, no entanto, o enfoque era puramente corretivo. Esta situação se manteve até os anos 30.

Com a 2ª Guerra Mundial, que impôs uma massificação da produção e uma constante necessidade de se obterem elevados níveis de disponibilidade dos equipamentos, a visão de avarias mudou completamente. As empresas iniciaram então a preocupar-se não só em corrigir as falhas, mas também em evitar o seu aparecimento, aumentando o alcance da manutenção, que passou também a atuar na prevenção das anomalias através de substituições sistemáticas, assumindo uma atitude proativa, conforme indicado na figura 2.1. Criava-se ali o embrião que haveria de caracterizar a manutenção até a década de 80.

<u>Ontem</u>	<u>Hoje</u>
Eficiência	Eficácia
Reparar o mais rápido possível	Manter o equipamento disponível
Preocupação limitada à Manutenção	Preocupação com a empresa

Figura 2.1 – Mudanças do enfoque da manutenção.

Fonte: Adaptado de Xavier (1998).

Já na década de 50, devido à necessidade de desenvolvimento da indústria pós-guerra, aliada a evolução da área aeronáutica e da indústria eletro-eletrônica, observou-se que o tempo gasto para diagnosticar as falhas era maior do que o gasto com a reparação, trazendo a necessidade de formação de equipes técnicas compostas por especialistas de várias áreas para assessorar a produção. Essas equipes formaram a engenharia de manutenção,

que entre outras finalidades deveria planejar e controlar a manutenção avaliando as causas e os efeitos das falhas na produção.

Em meados dos anos 70 surgiu a ciência denominada Terotecnologia (Tecnologia de Conservação), com objetivo de reduzir os custos dos ciclos de vida de equipamentos, aplicando um conjunto de práticas de gestão financeira e de logística.

A partir dos anos 80, com o surgimento dos primeiros microcomputadores, as informações e dados históricos passam a ser armazenados e processados nos próprios departamentos de manutenção (MIRSHAWKA, 1991).

Já na década de 90, utilizando-se dos computadores e banco de dados recém-criados, surgem os primeiros Sistemas Informatizados de Gerenciamento da Manutenção que, através de ordens de serviço para planejamento de manutenções preventivas, controle de estoques, dados de falhas, desenhos e muitas outras informações importantes, contribuíram muito para que inúmeras empresas no mundo pudessem gerenciar o seu processo manutenção de uma forma muito mais eficaz.

Conforme destaca Zaians (2003), nos últimos 20 anos, a necessidade de uma melhoria contínua em produtos e serviços causada pelas constantes ondas de globalização, transformou a manutenção em uma atividade estratégica para as empresas, sendo que as filosofias desenvolvidas nos anos 60 e 70 anos passaram a ser pauta de inúmeros processos decisórios. Outro ponto que passou a ser considerado nos últimos anos é a crescente preocupação com a integridade do meio ambiente, levando muitos gestores a tratar a manutenção com uma visão diferenciada, onde esta passa a preservar a função dos itens físicos ao invés do próprio equipamento.

De acordo com a figura 2.2, a partir do surgimento da Manutenção Produtiva Total (*TPM – Total Productive Maintenance*) em 1970, houve uma grande mudança no modo como a manutenção é conduzida, passando a ser baseada na condição do equipamento, utilizando-se de técnicas preditivas, garantindo assim que as devidas manutenções sejam realizadas somente quando efetivamente o equipamento necessita. Mais tarde, nos anos 90, com o surgimento da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) este processo tornou-se ainda mais eficaz. Este tipo de manutenção permanece até os dias atuais.

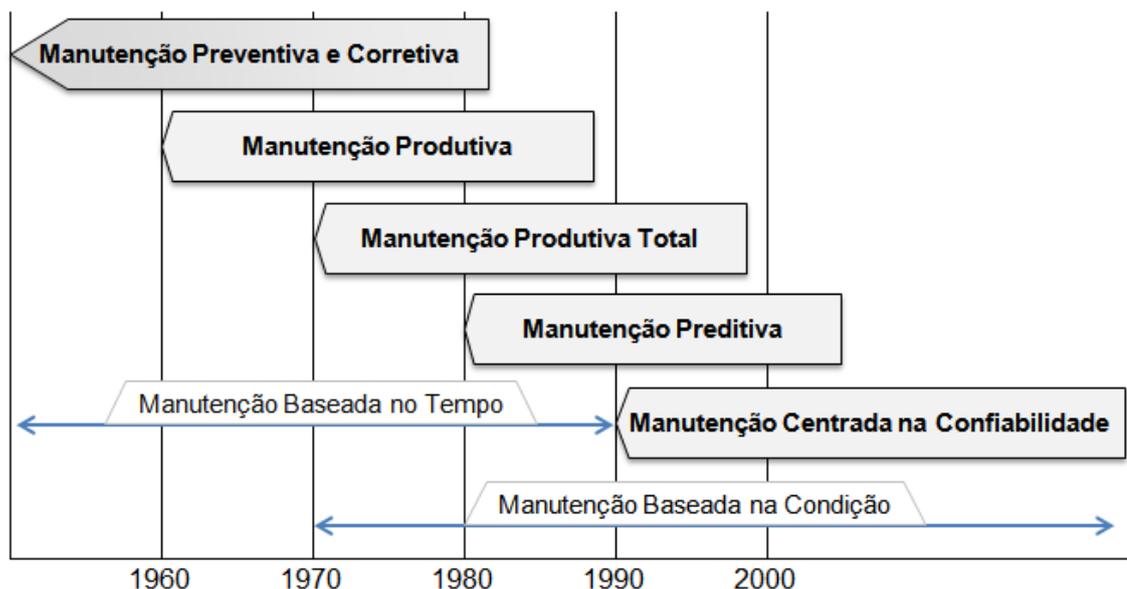


Figura 2.2 – Evolução das técnicas de manutenção nas indústrias.

Fonte: LAFRAIA (2001, p.238).

Moubray (1997) destaca que a evolução da manutenção pode ser dividida em três gerações distintas, cada uma com suas respectivas expectativas em relação ao processo de gerenciamento da manutenção, conforme ilustrado na figura 2.3.

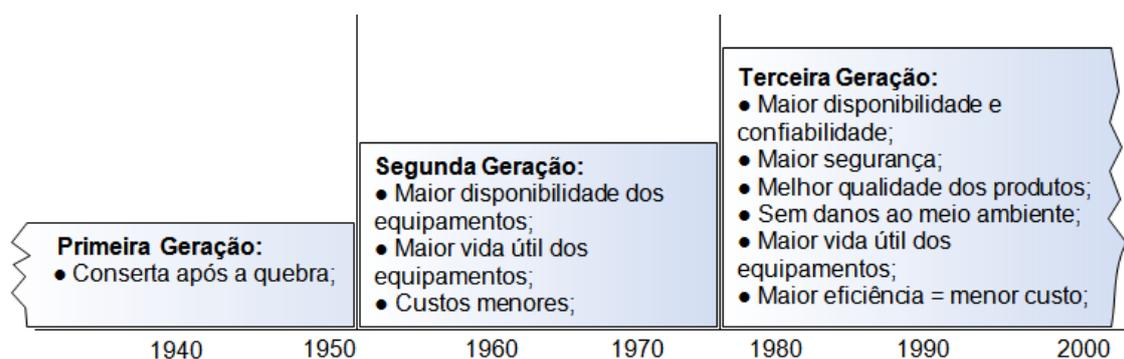


Figura 2.3 – Evolução da manutenção.

Fonte: Adaptado MOUBRAY (1997, p.3).

A primeira geração vai até a Segunda Guerra Mundial, quando as ações da manutenção eram estritamente corretivas e os equipamentos eram simples e superdimensionados, exigindo somente ações simples como limpeza e lubrificação (MOUBRAY, 1997).

Na segunda geração, com a Segunda Guerra Mundial, houve um aumento expressivo na mecanização das indústrias, aumentando a dependência de produções sem interrupções não planejadas. Surgiram então os primeiros conceitos de manutenção preventiva.

Já a terceira geração, segundo Moubrey (1997), surgiu devido aos seguintes fatores: (1) novas expectativas quanto à confiabilidade, disponibilidade, integridade ambiental, segurança humana e aumento dos custos de manutenção, (2) novas pesquisas que apresentam seis padrões de falhas dos equipamentos, e (3) surgimento de novas técnicas de manutenção como monitoramento das condições do equipamento, projeto com ênfase em manutenção e maior ênfase no trabalho em equipe.

2.3 Importância da Manutenção

Com o aumento da globalização da economia, aumentou-se também a demanda por sistemas e produtos de melhor desempenho a custos competitivos.

As empresas, para se destacarem entre as demais, devem buscar a otimização de seus processos através de duas vertentes:

- Eliminação de desperdícios/perdas;
- Melhoria da produtividade e da eficiência dos processos;

O processo manutenção influi nestas duas vertentes. Na figura 2.4, verifica-se o percentual de participação do processo manutenção na composição dos custos das indústrias de diferentes setores. No caso do setor de Mineração/Metais, foco deste estudo, este se encontra em uma escala intermediária, com um percentual total de 4,4% do faturamento bruto sendo gasto no processo manutenção.

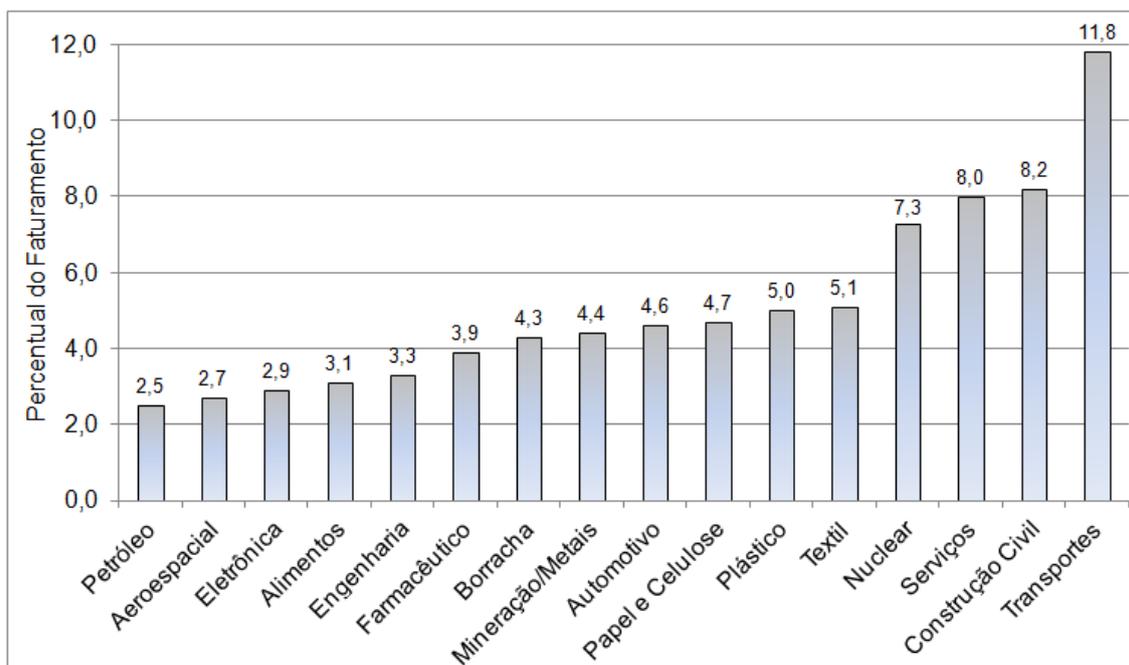


Figura 2.4 – Percentual dos custos de manutenção em relação ao faturamento total por setor industrial.

Fonte: adaptado de *Profitability Engineers apud* Jasinski (2005).

Além disso, conforme descrito por Pinto *apud* Filipe (2006), a importância da manutenção também pode ser justificada considerando-se três aspectos fundamentais:

- Aspecto Econômico: trata-se da maximização dos rendimentos dos investimentos realizados pelas empresas, do prolongamento da vida útil dos equipamentos e do aumento da produtividade. Segundo este mesmo autor, estes resultados somente são alcançados através da redução dos desperdícios, evitando atrasos ou paradas do processo produtivo e otimizando a utilização dos equipamentos e recursos humanos disponíveis para o processo produtivo.

- Aspecto legal: estrito cumprimento da legislação, através da prevenção de acidentes ambientais e redução de impactos ambientais como poluição, ruídos, odores, temperatura, etc;

- Aspecto social: prevenção ou melhoria da imagem da empresa perante a sociedade.

Conforme Wyrebski (1997), a importância da manutenção também pode ser descrita desta forma:

O departamento de manutenção tem importância vital no funcionamento de uma indústria. Pouco adianta o administrador de produção procurar ganho de produtividade se os equipamentos não dispõem de manutenção adequada. À manutenção cabe zelar pela conservação da indústria, especialmente de máquinas e equipamentos, devendo antecipar-se aos problemas através de um contínuo serviço de observação dos bens a serem mantidos. O planejamento criterioso da manutenção e a execução rigorosa do plano permitem a fabricação permanente dos produtos graças ao trabalho contínuo das máquinas, reduzindo ao mínimo as paradas temporárias da fábrica.

2.4 Tipos de Manutenção

Os tipos de manutenção, também descritos como estratégias ou políticas de manutenção, indicam a forma pela qual são realizadas as intervenções nos equipamentos, sistemas ou instalações.

Conforme descrito por Lima *apud* Zaions (2003), umas das maneiras mais usuais de se classificar os tipos de manutenção é enfocando a manutenção planejada e não-planejada.

A manutenção não-planejada é sempre realizada após uma falha, acarretando perdas de produção, perdas da qualidade do produto e elevados custos indiretos da manutenção. Pode ser subdividida em corretiva paliativa (reparos provisórias) e corretiva efetiva (reparos em caráter definitivo).

Já a manutenção planejada, para Kardec e Nascif (2001), é realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo ou na condição do equipamento. A manutenção planejada reduz ou elimina perdas de produção, minimiza custos e tempos de reparos.

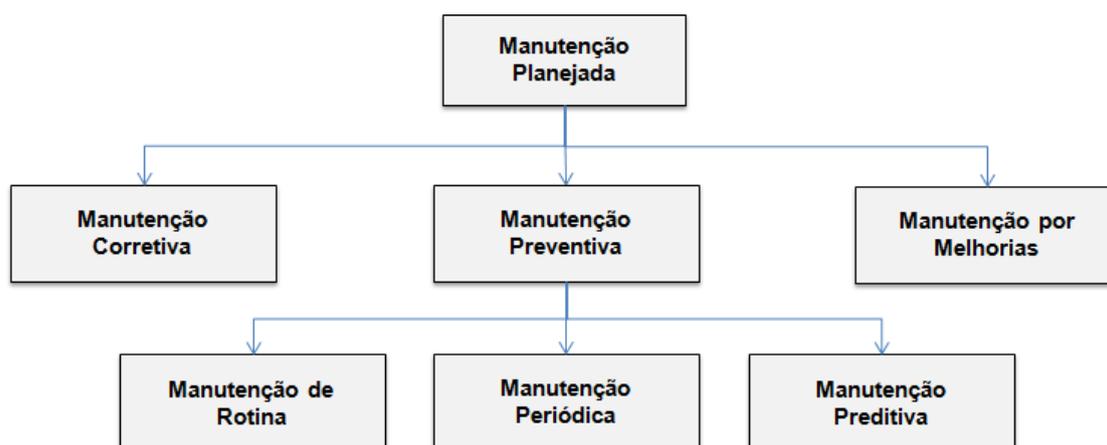
O quadro 2.1 apresenta o comparativo dos custos de manutenção para cada tipo, onde US\$/Hp/Ano representa o total de dólares americanos empregados em manutenção para cada Hp (*Horse Power*) usado na indústria por ano.

Quadro 2.1 – Comparativo dos custos por Tipo de Manutenção.

Tipo de Manutenção	Custo US\$/Hp/Ano
Corretiva Não-Planejada	17 a 18
Preventiva	11 a 13
Preditiva/Corretiva Planejada	7 a 9

Fonte: Kardec e Nascif (2001, p.49).

Conforme Patton *apud* Zaions (2003, p. 32), a manutenção planejada pode ser dividida em: manutenção corretiva planejada, manutenção preventiva e manutenção por melhorias. A figura 2.5 também ilustra, além desta classificação, a subdivisão da manutenção preventiva em: manutenção de rotina, manutenção periódica e manutenção preditiva.

**Figura 2.5** – Métodos de manutenção planejada.

Fonte: adaptado de Zaions (2003).

Os três métodos principais de manutenção planejada serão detalhados nas seções que seguem deste capítulo.

2.4.1 Manutenção Corretiva Planejada (MCP)

Conforme descritivo por Kardec e Nascif (2001), a manutenção corretiva planejada corresponde àquela executada quando um defeito ou desempenho diferente do esperado ocorrer em um equipamento. Trata-se, portanto, da

correção do desempenho menor do que o esperado quando verificado através das inspeções de rotina ou baseada em um intervalo de tempo pré-definido.

A manutenção corretiva planejada possui o foco principal em corrigir falhas provenientes dos desgastes ou deteriorações dos equipamentos, podendo ser reparos, alinhamentos, balanceamentos, substituição de peças ou do próprio equipamento, entre outros.

2.4.2 Manutenção Preventiva (MP)

A manutenção preventiva, baseando-se no conceito descrito pela ABRAMAN, pode ser definida como a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Para Mobley (2004), existem muitas definições para manutenção preventiva, mas todas elas são relacionadas a manutenções baseadas no tempo. Para este mesmo autor, a implementação de um programa de manutenção preventiva varia muito de empresa para empresa. Alguns programas são extremamente limitados, somente utilizando pequenas lubrificações e ajustes no equipamento, sendo que outros são bem mais completos, englobando reparos planejados, lubrificações, ajustes e reformas completas de todos os equipamentos utilizados.

Para Wyrebski (1997), a manutenção preventiva apresenta as seguintes vantagens: assegura a continuidade do funcionamento das máquinas e a empresa terá maior facilidade para cumprir seus programas de produção. No caso das desvantagens, este autor cita: requer um programa de manutenção bem estruturado, requer uma equipe de técnicos mecânicos e eletricitas bem treinados e um plano de manutenção precisa ser criado e implementado.

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 dos custos da manutenção. Por isso, algumas medidas precisam ser tomadas: determinar padrões que permitam avaliar a eficiência da manutenção, planejar e configurar tabelas de manutenções programadas, melhorar a produtividade de cada operário, diminuindo os atrasos evitáveis, assegurar-se de que o equipamento e mão de obra estarão

disponíveis simultaneamente para realização das manutenções preventivas e garantir que o departamento de manutenção está cooperando para a realização correta, conforme planejamento, das manutenções preventivas (ZAIONS, 2003).

2.4.3 Manutenção de Rotina

Trata-se de um subtipo de manutenção preventiva, contemplando basicamente as rotinas de manutenções que envolvem inspeções da condição do equipamento ou então intervenções leves efetuadas em intervalos de tempo pré-definidos.

Para Branco Filho (2006), a responsabilidade pela manutenção de rotina não é somente das equipes de manutenção, mas também de todos os operadores dos itens físicos. As tarefas de manutenção de rotina normalmente são executadas no dia-a-dia para evitar a degradação dos itens físicos.

2.4.4 Manutenção Periódica

Esta seria o segundo subtipo de manutenção preventiva, e constitui-se em uma evolução da mesma, pois implica na existência de registros que permitem controles estatísticos do desempenho dos equipamentos. Através da manutenção periódica, obtêm-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 (DE SOUZA, 2004).

Muitos autores, no entanto, não utilizam a subdivisão da manutenção periódica na manutenção preventiva. Para estes, as definições de manutenção periódica são as mesmas de manutenção preventiva (ZAIONS, 2003).

2.4.5 Manutenção Preditiva

Conforme descrito por Wyrebski (1997), na manutenção preditiva acompanha-se a vida útil das máquinas e equipamentos através de inspeções periódicas, medições, leituras, sondagens, etc. Observa-se o comportamento

das máquinas, verificando falhas ou detectando mudanças nas condições físicas, podendo prever com maior precisão o risco de quebra, permitindo assim a manutenção programada.

A finalidade da manutenção preditiva é fazer a manutenção somente quando se houver necessidade. Ela permite otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estejam próximos do seu limite de vida (ZAIONS, 2003).

A manutenção preditiva é a atuação realizada com base em modificações de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática, conforme Kardec e Nascif (2001). Os parâmetros que podem ser monitorados são: vibrações, temperaturas, qualidade dos óleos lubrificantes, ruídos, pressões, etc. A manutenção preditiva será tanto mais eficiente quanto mais rapidamente for detectada qualquer alteração nos parâmetros medidos.

Como principal vantagem da manutenção preditiva pode-se citar o aproveitamento máximo da vida útil dos elementos de máquina, podendo-se programar a reforma ou substituição somente quando estiverem no final de sua vida útil. Como desvantagens, podem-se citar a necessidade de inspeções periódicas, através de instrumentos específicos e muitas vezes caros e também a necessidade de profissionais altamente especializados para a execução destas inspeções e análises (WYREBSKI, 1997).

2.4.6 Manutenção por Melhorias

Também chamada por alguns autores como Manutenção por Projetos (*Project Maintenance*), trata-se de adições ou modificações, realizadas de forma isolada, para melhorar o desempenho dos equipamentos. Se um equipamento particular possui características que diminuem a sua confiabilidade, a manutenção por melhorias buscará a sua modificação para torná-lo mais confiável (PALMER, 2006).

A meta da manutenção por melhorias é melhorar a operação, a confiabilidade e a capacidade dos equipamentos (ZAIONS, 2003).

Palmer (2006) salienta que a maioria das melhorias implantadas neste tipo de manutenção são pequenas e de baixo custo (troca de fornecedor ou utilização de uma material mais nobre), entretanto, em outros casos, algumas melhorias necessitam significativas mudanças no equipamento ou até mesmo no processo de produção.

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

2.5 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

2.5.1 Considerações iniciais

A manutenção centrada em confiabilidade (MCC), do inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM), tem sua origem na indústria de aviação civil norte americana no início da década de 1960, devido à constatação de que muitas das filosofias usadas na manutenção naquela época, além de muito onerosas, eram também muito perigosas. Através da junção de vários Grupos Pilotos de Manutenção (*Maintenance Steering Groups - MSG*), formados por representantes dos fabricantes de aeronaves, das empresas aéreas e do governo norte-americano (*FAA - Federal Aviation Administration*), foi realizado um estudo para avaliar os processos de manutenção das aeronaves utilizadas naquela época.

Este primeiro relatório ficou conhecido como MSG 1 e foi promulgado pela Associação de Transporte Aéreo (*ATA – Air Transport Association*) em Washington, DC, em 1968. Em 1970 surgiu o MSG 2, um refinamento do MSG 1, e na metade de 1970 Stanley Nowlan e Howard Heap, ambos das empresas *United Airlines*, publicaram um relatório sobre a manutenção na aviação intitulado *Reliability-centred Maintenance*. Em 1980 foi lançado o MSG 3 que sofreu duas revisões, sendo uma em 1988 e outra em 1993 (JASINSKI, 2005; MOUBRAY, 1997).

Para Moubray (1997), a definição formal de MCC seria: “um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus usuários desejam, no seu contexto operacional presente”.

Branco Filho (2006) define MCC como um procedimento usado pela Engenharia de Confiabilidade para análise de falhas de equipamentos e seus efeitos, contribuindo também para definir as providências a serem tomadas para adequar a manutenção a esta análise que visa reduzir tarefas de manutenção e adequar os programas de manutenção preventiva a realidade.

Nos últimos 20 anos, a MCC disseminou-se no setor industrial. Os custos de manutenção começam a se elevar muito em comparação com os custos operacionais e a atividade de manutenção passou a ser vista com maior planejamento e controle, visando sempre aumentar a vida útil dos itens físicos. A partir deste momento, a MCC passou a ser empregada para garantir a confiabilidade dos itens físicos e também como uma metodologia essencial no planejamento da manutenção preventiva (ZAIONS, 2003).

2.5.2 Objetivos e resultados da MCC

O objetivo principal da MCC, conforme descrito por Campbell, Jardine e McGlynn (2011) é fazer com que cada equipamento possua sempre a confiabilidade definida durante seu projeto.

Neste contexto, confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de um item desempenhar o seu propósito especificado (função), por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011).

Portanto, o foco principal da MCC é sempre a preservação da função do sistema, em detrimento a restabelecer o item físico a uma condição ideal.

Para Fogliatto e Ribeiro (2011), a MCC reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas, conforme a confiabilidade de projeto. Devido a sua abordagem racional e sistemática, os programas de MCC têm sido reconhecidos como uma forma mais eficiente de tratar as questões de manutenção. Eles permitem que as empresas alcancem excelência nas

atividades de manutenção, ampliando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo custos associados a acidentes, defeitos, reparos e substituições.

Moubray (1997) ressalta que, caso a MCC seja corretamente aplicada, pode-se esperar a obtenção dos seguintes resultados:

- Maior segurança humana e proteção ambiental;
- Melhor desempenho operacional (quantidade, qualidade do produto e serviços ao cliente);
- Maior efetividade do custo da manutenção;
- Aumento da vida útil dos equipamentos críticos;
- Criação de um banco de dados completo sobre a manutenção;
- Maior motivação das equipes de manutenção e operação;
- Melhoria do trabalho em equipe.

2.5.3 Questões Básicas e Principais Definições da MCC

A eficácia da MCC está baseada em alguns pilares próprios, dentre eles podemos citar: (i) amplo envolvimento de engenheiros, operadores e técnicos de manutenção, (ii) ênfase no estudo das conseqüências das falhas que direcionam todas as tarefas de manutenção, (iii) abrangência das análises, que consideram questões associadas à segurança, meio ambiente, operação e custos, (iv) ênfase nas atividades pró-ativas, envolvendo manutenções preditivas e preventivas, e (v) combate as falhas ocultas, que reduzem a confiabilidade do sistema (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011).

Para tanto, conforme Moubray (1997), existem sete questões básicas que devem ser contempladas pelos programas de MCC:

1. Quais as funções e padrões de desempenho esperados para os equipamentos fabris? (Funções e Padrões de Desempenho)
2. De que modo os equipamentos podem falhar em cumprir as suas funções? (Modos de Falha)
3. O que causa cada falha funcional? (Causas de Falha Funcional)
4. O que acontece quando cada falha ocorre? (Efeitos das Falhas Funcionais)

5. De que forma cada falha interessa? (Conseqüências das Falhas Funcionais)

6. O que pode ser feito para prevenir ou impedir cada falha? (Ações / Contramedidas)

7. O que deve ser feito quando não pode ser estabelecida uma atividade pró-ativa pertinente?

Nas próximas seções, apresentam-se algumas definições importantes para um melhor entendimento de cada uma destas questões.

2.5.3.1 Funções

Para Moubray (1997), a função de um item físico pode ser definida como aquilo que os usuários deste item querem que ele faça, e deve ser descrita através de um verbo, objeto e o padrão de desempenho desejado.

A definição das funções e padrões de desempenho dos equipamentos fabris estabelece a base de trabalho do programa MCC. Para Fogliatto e Ribeiro (2011), todos devem compreender o que é esperado de cada equipamento, as funções que ele deve cumprir e o padrão de desempenho que deve ser mantido durante sua vida útil. Neste sentido, é importante entender que cada componente da planta possui funções primárias e secundárias que devem ser mantidas. Moubray (1997) descreve função principal como as razões pelas quais os ativos são adquiridos, sendo normalmente duas ou no máximo três as razões principais para a compra de um ativo. Além disso, cada ativo desempenha outras funções secundárias que podem ser divididas em (MOUBRAY, 1997):

- Integridade ambiental;
- Segurança/integridade estrutural;
- Controle, contenção e conforto;
- Aparência;
- Economia e eficiência;
- Supérfluas;

2.5.3.2 Padrões de Desempenho

Todo equipamento terá uma deterioração ao longo de sua vida. Como a deterioração é inevitável, no ato da concepção (projeto) do equipamento ou sistema estes devem ser capazes de proporcionar o rendimento desejado com uma margem de segurança. A figura 2.6 ilustra este conceito.

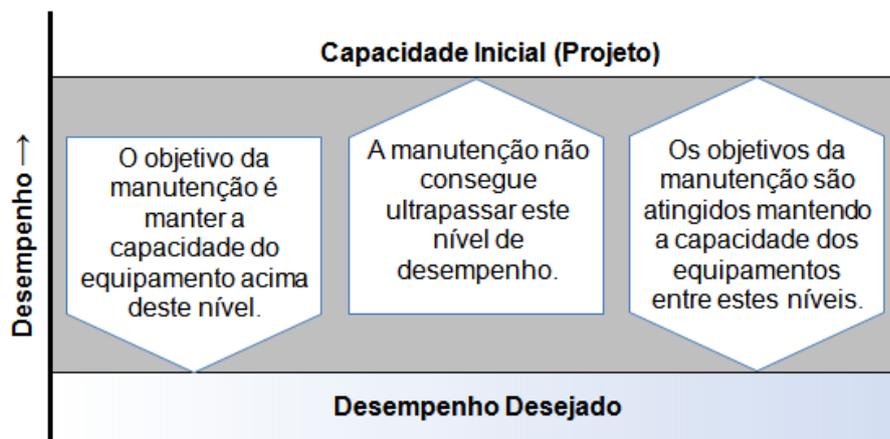


Figura 2.6 – Mantabilidade de um ativo físico.

Fonte: Adaptado de Moubray (1997, p.24).

Conforme Zaions (2003), para um item físico passível de manutenção, o desempenho desejado deve situar-se na zona compreendida entre o padrão mínimo de desempenho e a capacidade inicial. A manutenção deve manter o desempenho sempre acima do padrão de desempenho mínimo desejado pelo usuário. A determinação da capacidade inicial e do desempenho mínimo é fundamental quando se deseja desenvolver um programa de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

2.5.3.3 Contexto Operacional

As condições nas quais o ativo físico irá operar ou será utilizado definem o contexto operacional de cada ativo, sendo de fundamental importância para a formulação da estratégia de manutenção. A compreensão correta do contexto operacional requer que os seguintes fatores sejam considerados: tipo de processo (lotes ou fluxo), redundância, padrões de qualidade, padrões

ambientais e de segurança, turnos de trabalho, trabalho em processo, tempo de reparo de peças e disponibilidade de peças reservas, além da demanda do mercado (DE SOUZA, 2004).

2.5.3.4 Falhas Funcionais

Na MCC, o conceito de falha deve sempre ser associado às funções do ativo físico, portanto, falha funcional pode ser definida como a incapacidade de qualquer item físico de cumprir uma função específica em um padrão de desempenho aceitável pelo usuário (MOUBRAY, 1997).

2.5.3.5 Falhas Potenciais

Para Moubray (1997), falha potencial é uma condição identificável que indica se a falha funcional está para ocorrer ou em processo de ocorrência.

A figura 2.7 ilustra o processo de falha de um item físico. Conforme Zaions (2003), pode-se identificar três períodos distintos na ocorrência de uma falha: um período de tempo entre a condição normal de operação e o início da falha, um segundo período de tempo entre o início da falha até o aparecimento de um sinal de falha (Falha Potencial) e um terceiro período que se estende desde o aparecimento do sinal da falha até sua ocorrência (Falha Funcional).

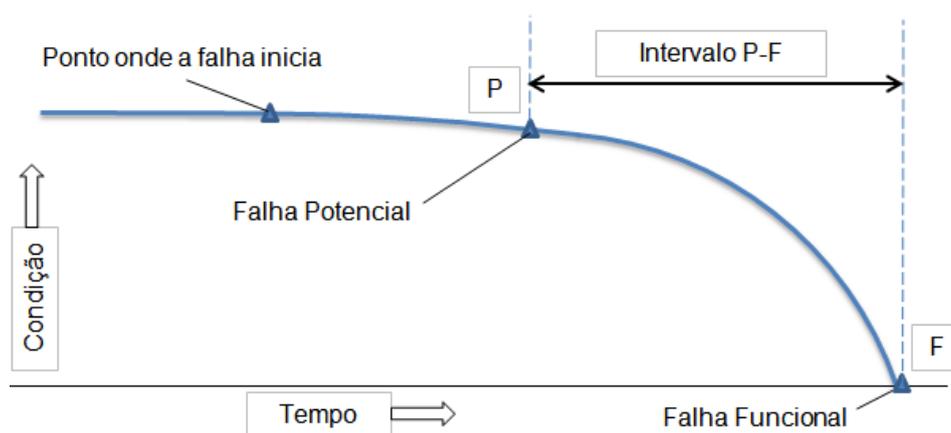


Figura 2.7 – Intervalo P-F.

Fonte: Adaptado de Moubray (1997).

Portanto, o intervalo P-F corresponde ao intervalo entre o ponto onde a falha torna-se detectável até a sua efetiva ocorrência.

2.5.3.6 Modos de Falha

A identificação dos modos de falha é outra questão essencial na aplicação da MCC. Segundo Fogliatto e Ribeiro (2011), modos de falha correspondem a eventos, passíveis de ocorrer, que caracterizam falha em cumprir uma das funções especificadas para o item físico, portanto, englobam os eventos que levam, associados a eles, uma diminuição parcial ou total da função do produto e de suas metas de desempenho.

A descrição de um modo de falha deve consistir de um substantivo e de um verbo, e sua descrição deve conter detalhes suficientes para a correta definição da estratégia de gerenciamento da falha, ao mesmo tempo em que não deve ser muito detalhada ao ponto de dispensar-se muito tempo no processo de análise propriamente dito, realizada pela equipe de implementação da MCC (MOUBRAY, 1997).

Alguns modos de falha típicos que podem gerar uma falha funcional de um componente: abrasão, rugosidade, desbalanceamento, trincas, deformação, fratura, desgaste, corrosão, desalinhamento, etc.

Os modos de falha podem ser classificados em três grupos: (1) quando a capacidade reduz-se abaixo do desempenho desejado, (2) quando o desempenho desejado fica acima da capacidade de projeto, e (3) quando o item físico não é capaz de realizar o que é desejado (ZAIONS, 2003).

2.5.3.7 Causa da Falha

As ações preventivas de gerenciamento de falhas devem sempre ser direcionadas as causas da falha (raiz do problema), que são os eventos que geram (induzem ou provocam) o surgimento dos modos de falha específicos.

Conforme Bloch e Geitner *apud* Zaions (2003), as causas de falha podem estar associadas a: falhas de projeto, defeitos do material, deficiências durante o processamento ou fabricação dos componentes, defeitos de instalação e

montagem, condições de serviço não previstas ou fora de projeto, deficiências da manutenção ou ainda operação indevida.

2.5.3.8 Efeitos da Falha

Para Moubray (1997), o efeito da falha descreve o que acontece quando um modo de falha ocorre e deve ser detalhado o suficiente para que o time de análise possa saber se a falha é evidente para a equipe de operação ou não.

A descrição do efeito da falha pode, por exemplo, elucidar se no caso de falha, luzes ou alarmes de emergência serão acionados, barulhos ou cheiros anormais serão percebidos pelos operadores, se haverá fogo ou fumaça, vazamento de líquidos, tempo de operação ou máquina parada, etc.

2.5.3.9 Conseqüências das Falhas

As conseqüências das falhas descrevem como cada modo de falha irá afetar a organização, ou seja, de que forma cada falha interessa. Alguns modos de falha pode ter um efeito mínimo, outros podem causar prejuízos consideráveis, associados a segurança, produtividade, qualidade ou meio ambiente. O esforço dedicado a evitar a ocorrência de cada falha possível deve ser proporcional a conseqüência desta falha (FOGLIATTO E RIBEIRO, 2011).

Conforme Moubray (1997), a análise das conseqüências de falhas requer que estas sejam divididas em dois tipos:

- Falhas evidentes: quando ocorrem, tornam-se plenamente evidentes para as equipes de operação ou manutenção do item físico, sob condições normais. Este tipo de falha pode provocar um aumento dos riscos de segurança e ambiental, parada da máquina afetando a produção, perda da qualidade do produto, aumento do custo operacional, etc. Os detalhes desta classificação são ilustrados na figura 2.8.

- Falhas ocultas: estas falhas, sob condições normais de operação, não se tornam evidentes, ou seja, ninguém percebe quando o item encontra-se em estado de falha. Para Zaions (2003), estas falhas não têm impacto direto, porém expõem a empresa a falhas múltiplas com conseqüências que podem

ser graves ou até mesmo catastróficas. Tais falhas são geralmente associadas à operação de dispositivos de segurança e proteção, utilizados com o objetivo de evitar ou reduzir as consequências das falhas evidentes.

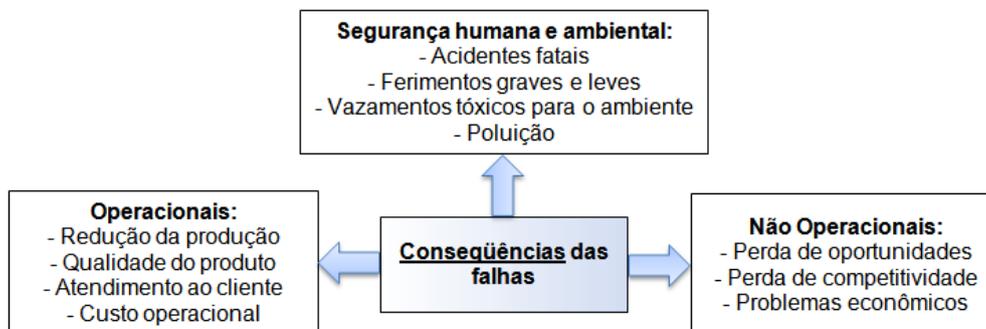


Figura 2.8 – Divisão das consequências das falhas.

Fonte: Adaptado de Zaions (2003, p.50).

2.5.3.10 Padrões de Falha

Nos últimos vinte anos, devido ao aumento da complexidade dos equipamentos, seis padrões de falha diferentes foram definidos no modelo adotado atualmente pela MCC. Estas curvas mostram a frequência de ocorrência das falhas em relação à idade operacional de um equipamento. A figura 2.9 ilustra estes seis padrões de falha (MOUBRAY, 1997; LAFRAIA, 2001; NASA, 2008).

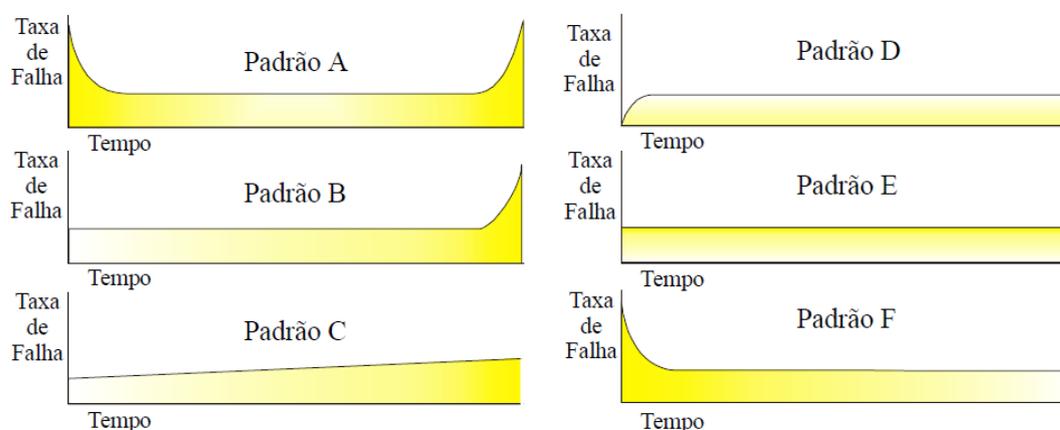


Figura 2.9 – Padrões de falha.

Fonte: Adaptado de NASA (2008, p.4-7).

O padrão A, também chamado de “Curva da Banheira”, apresenta uma elevada taxa de falhas no início da operação do item físico (mortalidade infantil), seguido de uma frequência de falhas constante e, posteriormente, de um aumento acentuado da taxa de falhas, devido à degradação ou desgaste do item.

O padrão B ilustra a taxa de falhas de itens físicos com uma probabilidade constante de falha seguida de uma região de acentuado desgaste no fim da sua vida útil. Este padrão é típico de equipamentos submetidos a esforços cíclicos, que se deterioram com o tempo, como motores alternativos, por exemplo.

O padrão C descreve um aumento lento e gradual da taxa de falhas, sem uma zona definida de desgaste mais acentuado. Este padrão é típico de equipamentos submetidos à fadiga, como turbinas, por exemplo.

O padrão D apresenta uma baixa frequência de falhas quando o item é novo ou reformado, sofrendo posteriormente um rápido aumento da taxa de falhas até atingir um nível constante.

O padrão E apresenta uma taxa de falhas constante em qualquer período, sendo que a natureza das falhas é aleatória para este tipo.

O padrão F indica uma taxa de falhas superior enquanto o item é novo ou reformado. Neste padrão, o item físico possui uma elevada mortalidade infantil, sendo que posteriormente esta frequência cai para um nível constante. Este comportamento é típico de componentes eletrônicos.

Segundo Moubray (1997), pesquisas realizadas em aeronaves civis mostram que 4% dos itens seguem o padrão A, 2% o padrão B, 5% o padrão C, 7% o padrão D, 14% o padrão E e 68% seguem o padrão F, sendo que esta distribuição não é necessariamente a mesma para outros ramos da indústria. Para este autor, a evolução do conhecimento dos padrões de falhas mostrou ser falsa a crença de que sempre existe uma relação entre confiabilidade e idade operacional, conseqüentemente torna falso também o conceito de que revisões periódicas em um equipamento tornam menos provável a sua falha.

2.5.3.11 Tarefas de Manutenção

Uma vez conhecidas as conseqüências das falhas, o próximo passo é identificar o que pode ser feito para prevenir ou impedir cada falha. Conforme Moubray (1997), as tarefas de manutenção podem ser divididas em duas categorias:

- Tarefas pró-ativas: são aquelas executadas antes de ocorrer a falha, com a intenção de prevenir o que o ativo entre em estado de falha. Compreendem o que é tradicionalmente conhecido como manutenção preventiva e preditiva, embora a MCC use os termos restauração programada, descarte programado e manutenção sob condição.

- Tarefas reativas ou *default*: envolvem lidar com componentes que já apresentaram falhas e são escolhidas quando não é possível (ou não é vantajoso financeiramente) empreender uma atividade pró-ativa que seja eficaz. Incluem-se neste tipo as tarefas de busca de falhas, reprojeto e operar até falhar.

A figura 2.10 ilustra as divisões das tarefas de manutenção.

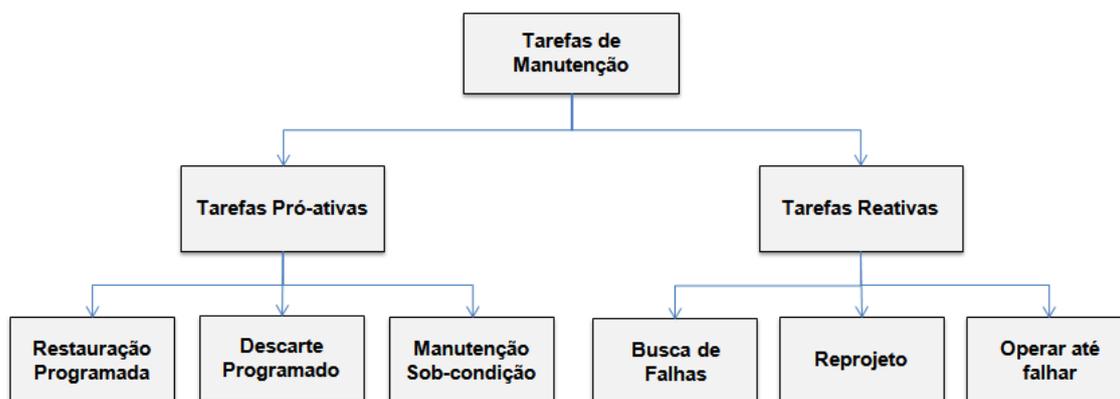


Figura 2.10 – Divisão das tarefas de manutenção.

A *restauração programada* implica restaurar a capacidade inicial de um ativo antes ou no limite de tempo especificado, sem considerar a sua condição no momento de realização da tarefa. Devem-se considerar os requisitos de viabilidade técnica desta tarefa como: há uma idade identificável na qual ocorre

um rápido crescimento da taxa de falha? A maioria dos ativos sobrevive a esta idade? A tarefa restabelece o ativo a capacidade original?

As *tarefas de descarte programado* implicam descartar um ativo ou componente antes ou no limite especificado de vida útil, sem levar em consideração a sua condição no momento da análise, que deve avaliar os seguintes tópicos: existe uma idade identificável na qual o ativo mostra um rápido crescimento da taxa de falhas? A maioria dos ativos sobrevive a esta idade? (DE SOUZA, 2004).

A *manutenção sob-condição* destina-se a detectar falhas potenciais nos itens baseando-se em um monitoramento da condição do mesmo. Zaions (2003) salienta que a manutenção do futuro será baseada nas tarefas de monitoramento baseadas na condição. Para este autor, a manutenção sob-condição são tecnicamente viáveis quando: é possível definir uma condição de falha potencial clara? O intervalo P-F é razoavelmente consistente? É viável monitorar o item a intervalos menores que o intervalo P-F? O intervalo P-F é suficientemente longo para que uma ação possa ser tomada que reduza ou elimine as conseqüências da falha funcional?

A *busca de falhas* programada consiste em verificar/testar uma função a intervalos regulares, para descobrir a existência de falhas. Deve-se considerar para realizar este tipo de atividade: é possível realizar-se uma tarefa de busca de falhas? A tarefa não aumenta o risco de falha múltipla? É prático realizar-se esta tarefa nos intervalos requeridos?

O *reprojeto* seria um dos últimos recursos a serem utilizados. Para Moubray (1997), reprojeto significa qualquer ação que resulte na mudança do projeto ou numa alteração da lista de peças do item físico. Inclui mudança na especificação do componente, acréscimo de um novo componente, substituição de uma máquina completa por outra marca ou tipo, bem como relocação de máquinas.

No caso de nenhuma das tarefas acima mencionadas serem aplicáveis a algum item físico, este deve *operar até falhar*, sofrendo posteriormente uma manutenção corretiva para restabelecer sua condição de operação.

2.5.4 FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*

O FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), em tradução livre, Análise de Modos e Efeitos de Falhas, conforme Toledo e Amaral (2006) é uma ferramenta que busca evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo.

O primeiro FMEA formal foi conduzido pela indústria aeroespacial em meados de 1960, e foi focado em questões de segurança. Logo após, o FMEA tornou-se uma ferramenta chave para melhorar a segurança operacional de indústrias químicas, sendo hoje reconhecido como uma das ferramentas mais usadas pela Engenharia de Confiabilidade (KENOL, 2009).

Para Toledo e Amaral (2006), o uso da metodologia FMEA é importante porque proporciona:

- Uma forma sistemática de se catalogar informações sobre as falhas dos produtos/processos;
- Melhor conhecimento dos problemas nos produtos/processos;
- Ações de melhoria no projeto do produto/processo, baseado em dados e devidamente monitoradas (melhoria contínua);
- Diminuição de custos por meio da prevenção de ocorrência de falhas;
- O benefício de incorporar dentro da organização a atitude de prevenção de falhas, a atitude de cooperação e trabalho em equipe e a preocupação com a satisfação dos clientes;

A aplicação do FMEA deve seguir uma seqüência lógica, utilizando-se um formulário específico, apresentado no quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Formulário típico de FMEA usado na aplicação da MCC.

MCC										
PLANILHA DE ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS										
SISTEMA				Sistema N ^o	Equipe	Data	Folha N ^o			
(01)										
SUBSISTEMA				Subsistema N ^o	Analista	Data	de			
Equipamento	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeitos da Falha	Conseqüências da Falha	Fatores				
						S	O	D	R	
(02)	(03)	(04)	(05)	(06)	(07)	(08)	(09)	(10)	(11)	

Fonte: Zaions (2003).

As etapas para aplicação do FMEA apresentadas no quadro 2.2 são descritas por Fernandes (2005) e Zaions (2003) conforme segue:

- (1) *Cabeçalho*: identifica as informações principais sobre o sistema, subsistema, equipe e datas de aplicação/revisão do FMEA;
- (2) *Equipamento*: campo destinado à identificação do código e descrição do equipamento que será analisado quanto às funções e falhas funcionais;
- (3) *Função*: nesta etapa são listadas todas as funções do equipamento/componente analisado, conforme descrito nas seções anteriores.
- (4) *Modos de falha*: identificar todos os modos de falha, descrevendo a forma como o equipamento em questão poderá apresentar a falha. Normalmente usam-se técnicas de *brainstorming* junto à equipe de trabalho.
- (5) *Causas da falha*: utilizando-se técnicas de *brainstorming*, histórico de sistemas semelhantes e o conhecimento técnico, são definidas as causas reais e potenciais pelas quais cada modo de falha possa vir a ocorrer.
- (6) *Efeitos da falha*: com o conhecimento teórico e prático do time de análise, definem-se os efeitos de cada falha, ou seja, de que forma a falha se manifesta.
- (7) *Conseqüências da falha*: nesta etapa, definem-se as conseqüências de cada falha, ou seja, a forma como a organização é afetada quando ocorrer o modo de falha descrito.

- (8) *Severidade (S)*: define-se o índice de severidade da falha. O critério severidade quantifica a gravidade da falha potencial, analisando a consequência da falha e seu impacto no sistema. A escala de avaliação deve ser definida para cada situação em particular.
- (9) *Ocorrência (O)*: trata-se do índice de ocorrência da falha, ou seja, de forma qualitativa ele avalia a probabilidade de falha da função pretendida. A escala de avaliação também deve ser definida para cada situação em particular.
- (10) *Deteção (D)*: define-se o índice de detecção da falha. O critério de detecção indica a capacidade do operador ou equipes de manutenção de detectar o modo de falha potencial antes que o sistema efetivamente falhe. Quanto maior for a dificuldade encontrada pelas equipes de operação e manutenção para efetivamente detectar a falha antes de sua ocorrência, maior será o valor para o fator Detecção. A escala de avaliação deve ser definida para cada situação em particular.
- (11) *Grau de Risco (R)*: indica o grau de risco da falha, priorizando as ações a serem tomadas sobre os modos de falha. É definido pelo produto do índice de severidade, ocorrência e detecção ($R = S \times O \times D$). Permite uma hierarquização dos modos de falha, conforme o grau de risco calculado.

2.5.5 As Etapas da MCC

O processo de implantação da MCC é descrito por inúmeros autores, sofrendo pequenas variações associadas a cada autor, mas mantendo a essência principal de uma sistemática única.

Zaions (2003) apresenta um quadro comparativo das sistemáticas descritas pelos principais autores usados como referência para aplicação da MCC. Para este autor, pode-se verificar que a sequência das etapas é coincidente, existindo pouca variação entre um procedimento e outro. O quadro 2.3 ilustra as sistemáticas de aplicação da MCC propostas por alguns autores.

Quadro 2.3 – Comparação das sistemáticas de aplicação da MCC.

Etapas	Smith (1993)	Moubray (2000)	NASA (2000)	Rausand <i>et al.</i> (1998)	Campbell, Jardine e Mcglynn (2011)
1	Seleção do sistema e coleta de informações.	Definição das funções e padrões de desempenho.	Identificação do sistema e suas fronteiras	Preparação do estudo.	Selecionar o equipamento/sistema para análise.
2	Definição das fronteiras do sistema	Definição da forma como o item falha em cumprir suas funções.	Identificação dos sub-sistemas e componentes.	Seleção do sistema.	Determinar as funções dos sistemas
3	Descrição do sistema	Descrição da causa da falha funcional.	Examinar as funções	Análise das funções e falhas funcionais.	Determinar as falhas funcionais de cada item/componente.
4	Funções e falhas funcionais	Descrição das consequências de cada falha.	Definir falhas e modos de falha.	Seleção dos itens críticos.	Determinar os modos de falha de cada componente.
5	FMEA - Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas.	Definição da importância de cada falha.	Identificar as consequências da falha.	Coleta e análise de informações.	Identificar as consequências das falhas.
6	Análise da árvore lógica.	Seleção das tarefas preditivas e preventivas.	Análise do diagrama lógico de decisão.	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas.	Aplicar o diagrama de decisão para selecionar as tarefas de manutenção e suas frequências.
7	Seleção das tarefas preventivas	Seleção das tarefas alternativas.	Seleção das tarefas preventivas.	Seleção das tarefas de manutenção.	Documentar resultados e monitorar a aplicação.
8				Determinação da frequência das tarefas de manutenção.	

Fonte: adaptado de Zaions (2003).

Moubray (1997) recomenda ainda que, logo após a aplicação da MCC, o processo seja auditado quanto ao método e conteúdo da aplicação, com o objetivo principal de garantir que a metodologia de aplicação foi executada corretamente e que as informações corretas foram coletadas para definição das estratégias de manutenção.

Conforme quadro 2.3, a implementação da MCC compreende basicamente sete etapas, que podem ser resumidas da seguinte forma (CAMPBELL, JARDINE e McGLYNN, 2011):

- *Etapa 1 – Selecionar o equipamento/sistema para análise:* esta etapa consiste na seleção do item físico que será analisado através da aplicação da MCC. Esta seleção deve ser baseada em critérios de criticidade que podem ser definidos para cada situação em particular. No capítulo 3 deste trabalho são apresentadas as deficiências identificadas para a execução desta etapa e também as alternativas propostas para sanar estas deficiências.

- *Etapa 2 – Determinar as funções do sistema:* trata-se da etapa (3) do FMEA, descrito na seção anterior, onde as funções de cada item físico são listadas;

- *Etapa 3 – Determinar as falhas funcionais de cada componente:* nesta etapa, para cada item sob análise, são definidas as suas falhas funcionais, que podem ser definidas como a incapacidade de um item físico em atender ao desempenho desejado em relação ao seu contexto operacional.

- *Etapa 4 – Determinar os modos de falha de cada sistema:* nesta etapa, correspondente a etapa (4) do FMEA, descrevem-se todos os modos de falha para cada item sob análise, além da forma como cada item pode falhar.

- *Etapa 5 – Determinar as consequências de cada modo de falha:* correspondente a etapa (7) do FMEA, descrito na seção anterior.

- *Etapa 6 – Aplicação do diagrama de decisão para selecionar as tarefas de manutenção e suas frequências:* esta etapa do processo de implementação da MCC consiste na seleção das tarefas de manutenção aplicáveis ao ativo físico sob análise. Nesta etapa, de acordo com o quadro 2.3, verifica-se que a literatura pesquisada recomenda a utilização de um “Diagrama de decisão” para seleção das tarefas aplicáveis para cada modo de falha. Nas seções que seguem, apresenta-se um diagrama de decisão típico da MCC, além de detalharem-se as deficiências identificadas na utilização deste tipo de diagrama. A periodicidade de execução das tarefas de manutenção deve ser inferior ao intervalo P-F. Moubray (1997) propõe que o intervalo para execução de tarefas de monitoramento deve ser a metade do intervalo P-F.

- *Etapa 7 – Documentar e monitorar a aplicação da MCC:* conforme indicado por Campbell, Jardine e McGlynn (2011), uma das maiores razões de falha na implantação da MCC é a pouca importância dada à efetiva aplicação das tarefas identificadas para cada modo de falha. Por isso, este autor recomenda que todas as tarefas definidas sejam documentadas, principalmente nos sistemas (*softwares*) de gerenciamento da manutenção.

3 ESTUDO DE MELHORIAS PARA A MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) VOLTADAS PARA APLICAÇÕES NO RAMO SIDERÚRGICO

3.1 Considerações iniciais

Atualmente, empresas de todos os setores enfrentam um ambiente competitivo que demanda operações extremamente eficientes, que produzam com qualidade a baixo custo, além de sofrer pressões de mercados voláteis e extremamente globalizados, o que lhes impõe a necessidade de aumentar a produtividade e diminuir custos. Com isso, os diversos setores industriais estão em constante busca de métodos de gestão que possam otimizar a utilização de seus recursos sem comprometer os seus resultados. Falconi (2009, p. 20) define método como “seqüência de ações necessárias para se atingir certo resultado”. Para este autor, o método é a essência do gerenciamento. Autores como Menezes (2006, apud Carmo, Albertin e Coelho, 2006) entendem também que a tendência atual quanto à implantação de sistemas de gestão em diversos tipos de organizações empresariais é a unificação das diferentes áreas de gerenciamento, passando a cada vez mais utilizar métodos, sistemas e metodologias de gestão simples e integradas. Para este autor, o sucesso de uma empresa está diretamente relacionado ao grau de eficiência de seus processos, e esses colaboram na competitividade de seus produtos.

Autores como Paim *et al.* (2009) enfatizam também que melhorar processos é uma ação básica para as organizações responderem às mudanças que ocorrem constantemente em seu ambiente de atuação e também para manter o sistema produtivo competitivo.

Portanto, neste projeto, o foco principal será a melhoria do processo manutenção. Para isso, inicialmente identificaram-se as principais deficiências da metodologia MCC para após propor modificações e adaptações no seu processo de implementação, objetivando torná-la mais simples e prática, de forma que possa ser utilizada em empresas dos mais variados ramos industriais, mas principalmente em empresas siderúrgicas. Para avaliação da sistemática de aplicação da MCC proposta neste trabalho, os métodos desenvolvidos serão aplicados em um equipamento de uma empresa

siderúrgica, para verificar se os resultados obtidos são comparáveis àqueles obtidos com a aplicação da MCC tradicional.

3.2 Sistemática tradicional de implementação da MCC utilizada como base para a elaboração dos métodos propostos

Dentro as diversas sistemáticas para aplicação da MCC encontradas nas literaturas pesquisadas e que foram apresentadas na seção 2.5.5, será adotado como base para este projeto o procedimento descrito pelos autores Campbell, Jardine e McGlynn (2011, p.197), por conter conceitos mais atuais de gestão de ativos, que envolvem atingir excelência nos seus métodos de gestão da manutenção, de processos e de pessoas, juntamente com a utilização de tecnologias de ponta. Para estes autores, a manutenção aumenta a capacidade produtiva e reduz custos de produção através de:

- Maximização do tempo de produção;
- Maximização da qualidade dos produtos;
- Redução dos custos por unidade produzida;
- Redução do risco de segurança para os funcionários e sociedade em geral;
- Redução do risco de impactos ambientais;

A figura 3.1 ilustra as principais etapas para a aplicação da MCC tradicional, segundo Campbell, Jardine e McGlynn (2011, p.197).

Neste fluxo de aplicação, cada etapa possui objetivos distintos e diretamente relacionados entre si. O detalhamento de cada uma delas será apresentado nas seções que seguem.

3.3 Deficiências identificadas para aplicação da MCC em empresas do ramo siderúrgico

Apesar das inúmeras vantagens da aplicação da MCC apresentadas nesta dissertação, na seção 2.5.2, alguns autores como Selvik e Aven (2011) ressaltam que a MCC possui deficiências, dentre elas a mais citada é a

tratativa dada às questões de segurança e meio ambiente, análise de risco, além do custo e o tempo de aplicação.

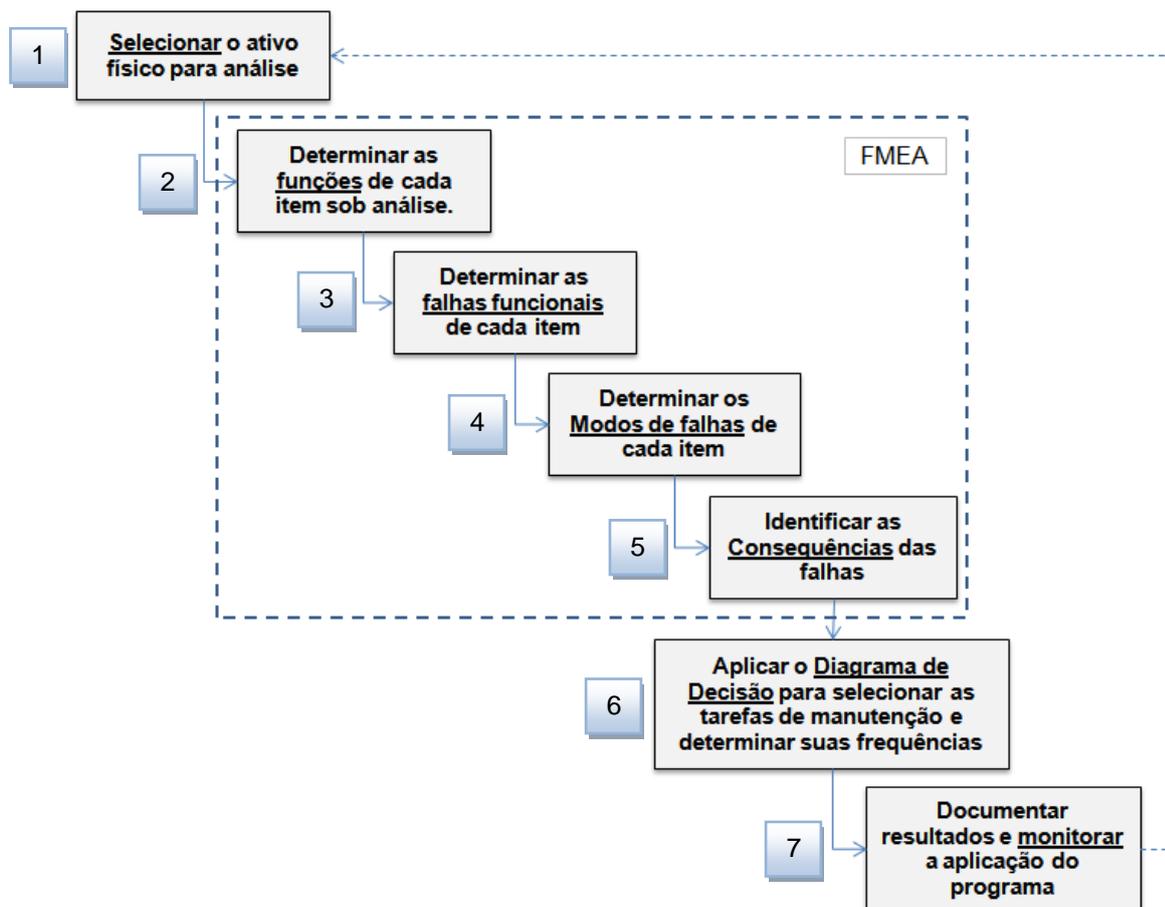


Figura 3.1 – Fluxo de aplicação da MCC.

Fonte: Adaptado de Campbell, Jardine e McGlynn (2011, p.197).

Cheng *et al.* (2008) também ressalta que a MCC é altamente dependente dos conhecimentos e habilidades dos analistas do time de aplicação. No caso de empresas do ramo siderúrgico, para identificação das principais oportunidades de melhoria nesta metodologia, realizaram-se as seguintes atividades:

- Estabelecimento de um grupo de 6 profissionais, com participação em, no mínimo, um estudo de MCC para o ramo siderúrgico.
- Realização de seções de *Brainstorming* para análise do fluxograma apresentado na figura 3.1 e indicação das etapas consideradas mais difíceis, longas e passíveis de melhorias sob a ótica de utilização no ramo siderúrgico.

Com a finalização destas seções de *Brainstorming*, identificaram-se duas deficiências principais, nas etapas 1 e 6 da sistemática tradicional de aplicação

da MCC, conforme ilustrado na figura 3.1. Estas duas deficiências serão detalhadas nas seções que seguem, além da proposta elaborada nesta dissertação que busca saná-las, através de dois métodos simples e práticos para o cumprimento destas duas etapas, mantendo a mesma qualidade dos resultados da MCC tradicional.

3.3.1 Deficiência na “Etapa 1” – Falta de uma definição clara quanto ao método a ser utilizado na escolha do item físico a ser analisado

No fluxo de aplicação da MCC, a etapa identificada como **1** “Selecionar o item físico para análise” é descrita por Moubrey (1997, p. 16) como sendo a etapa para decidir qual ativo será mais beneficiado com a aplicação da MCC e como exatamente este ativo será beneficiado. Para este autor, o primeiro passo é determinar em que nível será realizada a análise, considerando os seguintes conceitos:

- Planta industrial: análise executada em todo o parque fabril, incluindo todos os equipamentos utilizados no processo de produção;
- Sistema: esta definição varia em cada ramo industrial, sendo que alguns definem sistema como sendo os equipamentos como um todo e outros definem sistema como apenas parte de um equipamento, ou seja, um sistema que exerce uma função específica, como lubrificação, hidráulica, refrigeração, etc. O mais importante é que as fronteiras dos sistemas sejam bem definidas, para conhecerem-se com exatidão quais subsistemas e componentes fazem parte ou não de cada sistema (SMITH e HINCHELIFFE, 2004).
- Subsistema: pode ser definido como um sistema menor que esta dentro das fronteiras de um sistema maior, ou seja, um subsistema que exerce funções específicas dentro de um sistema principal.
- Componentes: são as menores partes economicamente intercambiáveis em um sistema ou subsistema. Cada componente exerce uma função específica para o cumprimento de uma função principal.

Alternativamente, para a indústria automotiva, Ramli e Arffin (2012) descrevem um procedimento para determinar a criticidade dos equipamentos

através da utilização de cinco fatores: Número de Falhas, Severidade das Falhas para a Produção, Severidade das Falhas para a Segurança, Severidade das Falhas para a Manutenção e por último, Detectabilidade. Cada um destes fatores seria ranqueado em uma escala de 1 (um) a 4 (quatro), e a multiplicação dos valores destes fatores determinaria a criticidade do equipamento para a empresa. Entretanto, ao se analisar as características destes fatores, percebe-se que possuem um foco acentuado para análise de linhas de produção em série, típicas do setor automobilístico.

Já para sistemas de distribuição de energia elétrica, Dehghanian, Fotuhi-Firuzabad e Kazemi (2011) apresentam um procedimento para determinação da criticidade dos ativos físicos deste setor também através da utilização de cinco fatores: Número Total de Componentes, Número Total de Falhas de cada Componente, Tempo de Reparo de cada Componente, Investimento Inicial para cada Componente e Custo de Reparo de cada Componente. De acordo com estes autores, cada fator seria analisado pelo time de implantação da MCC que determinariam o valor de cada um em uma escala de 1 (um) a 9 (nove), sendo que posteriormente eles seriam inseridos em uma matriz de decisão para definir os ativos que seriam os mais críticos para o processo.

No entanto, na literatura consultada, esta etapa de priorização e seleção dos ativos físicos para a análise MCC efetivamente não está bem definida, principalmente para o ramo siderúrgico, sendo que esta definição é muito importante, pois neste ramo industrial a quantidade de equipamentos e sistemas é muito grande e os custos de aplicação deste método são altos, o que demanda uma elevada assertividade na determinação dos ativos críticos que devam ser priorizados na aplicação de melhorias no seu processo de manutenção, entre elas, a implementação da MCC.

3.3.2 Deficiência na “Etapa 6” – Baixa assertividade e elevado tempo para a escolha das estratégias de manutenção usando o diagrama de decisão tradicional da MCC

Com a conclusão do FMEA, inicia-se a Etapa 6 “Aplicação do diagrama de decisão da MCC”, onde serão definidas as estratégias de manutenção para

cada item sob análise e seus modos de falha definidos durante a realização da análise FMEA. A figura 3.2 apresenta um diagrama típico de MCC.

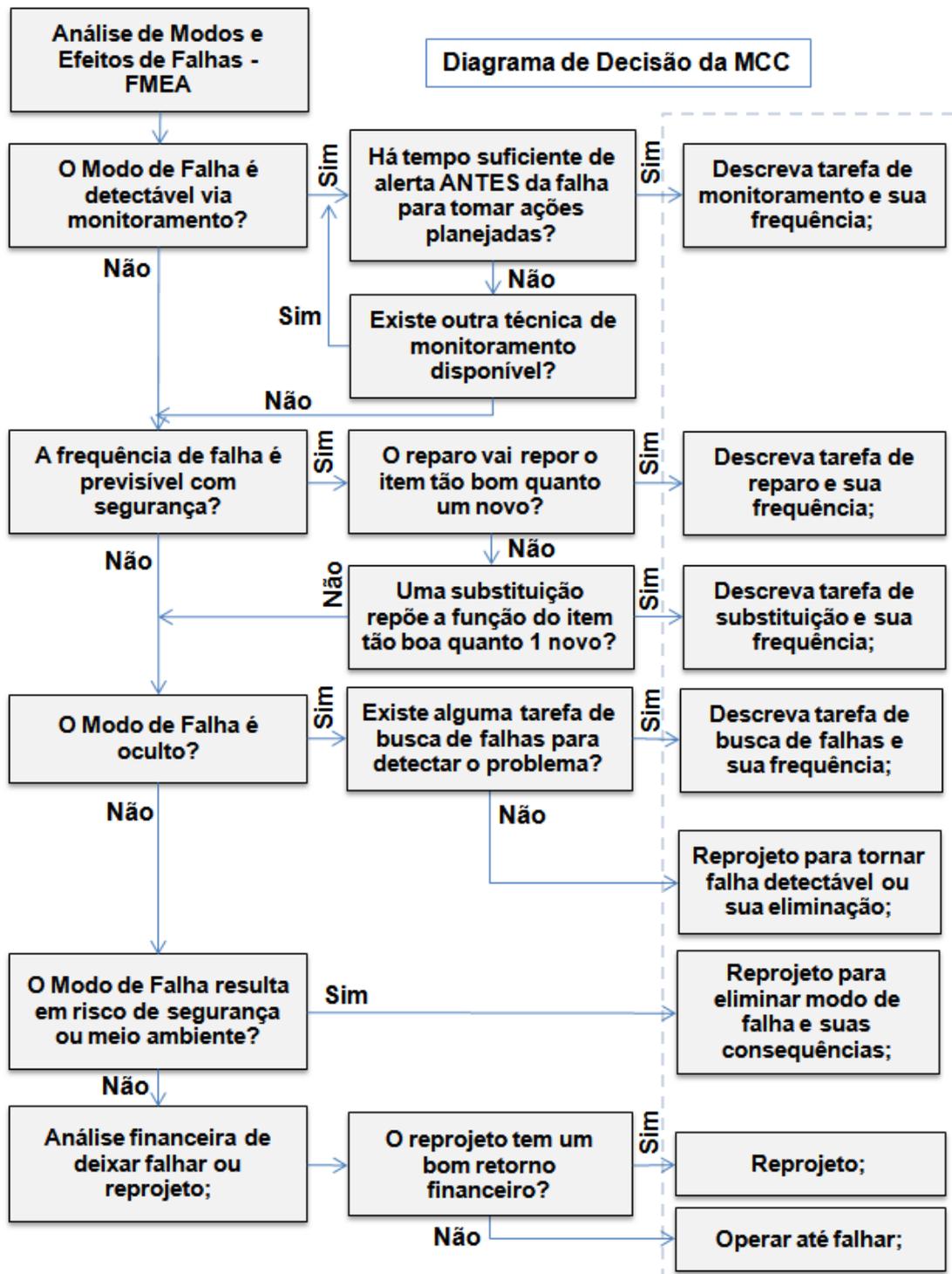


Figura 3.2 – Diagrama de Decisão Tradicional da MCC.

Fonte: Adaptado de Campbell, Jardine e McGlynn (2011, p.200).

Analisando um diagrama de decisão típico da MCC (Figura 3.2), verifica-se que todas as decisões são tomadas baseando-se em perguntas do tipo “Sim/Não”.

Conforme indicado por autores como Hauge e Johnston *apud* Raposo (2001, p.36), existem áreas cinzentas entre os extremos “sim” e “não”. Além disso, cada analista da MCC pode responder esta questão diferentemente para a mesma situação, além de demandar um elevado tempo para definir-se qual a estratégia de manutenção a ser utilizada. Para Mattar *apud* Chagas (2000, p.9), as principais desvantagens da utilização de questões dicotômicas do tipo “Sim/Não” são:

- Polarização de respostas e/ou possibilidade de forçar respostas em relação a um leque de opções;
- Pode levar a erros de medição, se o tema que foi tratado de forma dicotômica quando na verdade apresenta várias alternativas, por exemplo, entre a concordância total e discordância total;
- Dependendo de como a pergunta é feita, questões com respostas dicotômicas são fortemente passíveis de erros sistêmicos;

Além disso, conforme destaca Kardec e Nascif (2001), a seleção e o planejamento das tarefas de manutenção preventiva têm sido usualmente identificados na base do que “pode ser feito” e não, necessariamente, do que “deveria ser feito e porque”.

Selvik e Aven (2011) relatam que a MCC é deficitária quanto ao tratamento das incertezas e dos riscos do processo, sendo que estes autores sugerem a utilização de um método chamado de “Manutenção Centrada no Risco e na Confiabilidade” (*Reliability and Risk Centered Maintenance*) para a análise das tarefas de manutenção definidas pela MCC tradicional, considerando também uma análise de risco e não somente da confiabilidade de cada componente. Este método, porém, requer que todos os integrantes do time de análise possuam um bom conhecimento dos conceitos relacionados a riscos do processo, o que demanda a execução de treinamentos adicionais para o time de implantação da MCC.

Relacionado à execução desta etapa 6 da MCC, Cheng *et al.* (2008) também destaca como uma deficiência desta metodologia a sua forte dependência dos conhecimentos e habilidades dos analistas responsáveis pela implantação da MCC e como alternativa para sanar esta deficiência estes autores propõem um método denominado de “Análise Inteligente de Manutenção Centrada em Confiabilidade” (*IRCMA – Intelligent Reliability Centered Maintenance Analysis*). Basicamente neste método proposto por Cheng *et al.* (2008), novas análises conduzidas para qualquer sistema deveriam ser baseadas em análises já realizadas de sistemas similares, ou seja, existiria um banco de dados de MCC disponível para facilitar e agilizar a realização de qualquer nova implementação de MCC. Entretanto, considerando-se um dos princípios básicos da MCC de sempre levar em conta o contexto operacional presente dos ativos sob análise, este método proposto por estes autores não poderia ser usado, pois sistemas ou componentes, mesmo possuindo similaridades, normalmente são utilizados em situações e ambientes completamente diferentes, o que imprime características únicas a cada nova análise de MCC a ser executada.

Portanto, estas deficiências da MCC (Etapa 6) de utilização de um diagrama do tipo “Sim/Não” e de sua dependência da experiência dos analistas do time de implantação, para o caso de empresas do ramo siderúrgico, são ainda mais evidentes, devido aos elevados riscos inerentes às falhas potenciais nos inúmeros equipamentos utilizados neste tipo de indústria, onde decisões erradas sobre estratégias de manutenção a serem utilizadas podem levar a graves consequências para o processo e também para a segurança humana e ambiental. Por isso, neste trabalho, desenvolveu-se uma proposta alternativa ao diagrama de decisão tradicional da MCC, buscando torná-lo mais claro e direto, para reduzir as possibilidades de erros nas escolhas das estratégias de manutenção a serem aplicadas para cada componente e modo de falha listado, além de também reduzir o tempo total para executar esta etapa no processo de implementação da MCC.

3.4 Descrição dos Métodos Propostos

Conforme seção 3.3, identificaram-se duas deficiências principais na metodologia tradicional de MCC, principalmente quanto a sua aplicação em empresas siderúrgicas. A seguir, detalham-se os dois métodos propostos, elaborados neste trabalho, para sanar cada uma das deficiências apontadas.

3.4.1 Método Proposto para a “Etapa 1”: Priorização de ativos físicos para aplicação da MCC

Esta etapa é a primeira do processo de aplicação da MCC e também considerada uma das mais importantes, pois se trata de um filtro inicial onde são definidos os ativos físicos que sejam realmente críticos para o processo produtivo, fazendo com que não se dispense esforços em análises que tragam pouco benefício para a melhoria dos resultados do processo manutenção e conseqüentemente da organização como um todo.

O periódico *Reliability Hot Wire* de fevereiro de 2012 descreve que, depois que o nível da análise (planta, sistema, subsistema ou componente) for definido, e esta decisão depende diretamente da complexidade dos ativos a serem analisados, o próximo passo é priorizá-los para a aplicação da metodologia MCC. Este periódico também indica 3 alternativas que possam ser utilizadas para priorização dos ativos, conforme segue:

1. Analisar o histórico de falhas dos equipamentos para selecionar aqueles que causam o maior percentual de problemas usando a regra 80/20 (80% dos problemas provêm de 20% dos equipamentos – Princípio de Pareto);
2. Aplicar uma pré-seleção de ativos usando uma série de questões como: A falha é oculta? A falha pode afetar a segurança das pessoas? A falha possui um impacto grande na operação?
3. Aplicar o chamado “Método de Fatores Críticos”, onde fatores como segurança, operação, meio ambiente, qualidade são pontuados e, dependendo da combinação de pontos, cada ativo é priorizado.

Ao se analisar estas 3 alternativas descritas, considerando o foco deste projeto, pode-se afirmar:

- A primeira não é muito adequada, pois muitas vezes têm-se equipamentos novos com pouco tempo de operação, portanto não possuindo um histórico de falhas que possa ser utilizado.

- A segunda é muito subjetiva e não estabelece padrões para quantificar o risco e a criticidade de cada ativo.

- A terceira alternativa, portanto, seria a mais adequada para o foco deste projeto, uma vez que vários fatores podem ser pontuados levando a uma classificação dos ativos críticos de forma mais concreta e precisa.

A partir desta seção, uma vez definida a melhor alternativa a ser usada, inicia-se o detalhamento do método elaborado neste trabalho.

3.4.2 Detalhamento do método proposto para determinação da prioridade de ativos físicos para aplicação da MCC em empresas do ramo siderúrgico – “Método de Priorização via Multi-fatores”

Nesta seção, apresenta-se o método proposto para auxiliar empresas de todos os setores, mas principalmente empresas siderúrgicas, no processo de priorização de seus ativos físicos para aplicação da MCC. Este método, chamado, neste trabalho, de “Método de Priorização via Multi-fatores”, enquadra-se na categoria qualitativo generalizado, pois utiliza como base a análise estruturada de fatores pré-definidos que, quando combinados, determinam a criticidade do ativo no processo, considerando as conseqüências potenciais das falhas e também o seus riscos relativos, relacionados às suas probabilidades de falha.

A definição de ativo crítico pode variar de empresa para empresa, e em muitos casos, pode variar até mesmo na mesma empresa, caso a definição de criticidade não esteja bem consolidada. As premissas adotadas para se definir ativos como sendo críticos muitas vezes não são baseadas em argumentos técnicos, o que leva a classificações de criticidades diferentes quando se executam análises por grupos diferentes de profissionais, pois muitas vezes estas classificações são realizadas baseando-se em opiniões individuais e não no consenso, levando muitas falhas potenciais com elevado impacto em

segurança, meio ambiente ou custo a serem negligenciadas. Portanto, a definição clara de criticidade é muito importante.

Neste projeto, alinhado com as políticas de gestão de empresas siderúrgicas, elaborou-se a seguinte definição de criticidade:

“Ativos críticos são aqueles que em caso de falha causam os maiores impactos aos valores (princípios) da empresa”.

Com esta definição, parte-se para o detalhamento do método. Inicialmente, devem-se executar algumas ações listadas a seguir, que são primordiais para um processo de análise consistente e eficaz:

Ação 1. Definição do time de profissionais para aplicação do método: uma das primeiras etapas, como em qualquer projeto, é definir-se o time de profissionais que irá aplicar o método proposto. Como não poderia deixar de ser, o time escolhido deverá ser o mesmo que depois irá aplicar toda a metodologia de MCC, sendo que todos devem ser, portanto, propriamente treinados nestas metodologias. A figura 3.3 ilustra a distribuição de um time ideal para a aplicação da MCC:

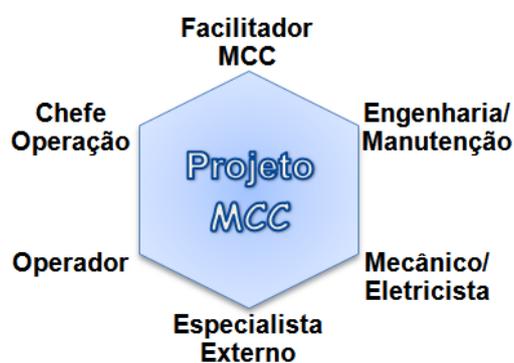


Figura 3.3 – Time ideal de profissionais para um projeto de aplicação da MCC.

Fonte: Moubray (1997, p.17).

O tamanho do grupo também deve ser corretamente definido, sendo que o número ideal é de no mínimo 3 pessoas, para manter um nível mínimo de conhecimentos, experiências e troca de informações no grupo de trabalho, e no máximo 6, para evitar a perda de foco durante as reuniões. O objetivo principal quando se escolhem os integrantes deste grupo é que se tenha conhecimento

e experiência suficientes para aplicação de todo método, sem necessidade de recursos eventuais extras.

A função do facilitador líder do grupo de análise é fundamental, sendo que este deve ser um profissional com bons conhecimentos em análise de risco e também MCC, além de possuir fortes características de liderança e trabalho em equipe, conforme descrito por Moubrey (1997, p.277).

Ação 2. Determinação do nível da análise: segundo o periódico *Reliability Hot Wire* de fevereiro de 2007, o time que irá aplicar a MCC deve decidir em que nível a análise dos ativos será executada: planta industrial, sistema, subsistema ou componentes (detalhados na seção 3.3.1). Esta definição é muito importante, pois determinará o nível de esforço a ser dispensado para se aplicar a metodologia MCC. Quanto mais ampla a análise (planta industrial, por exemplo), maior será o nível de esforço (tempo e dinheiro) a ser dispensado. Recomenda-se sempre começar a análise pelo nível de sistema, por ser um nível intermediário e mais fácil de ser interpretado.

Ação 3. Listar os ativos a serem analisados: após definido o nível da análise, deve-se então listar todos os ativos (planta industrial, sistema, subsistema ou componentes), que serão analisados. Para cada um, cria-se também um descritivo breve que o identifique claramente. Em alguns casos, podem-se inserir códigos ou nomenclaturas específicas usadas internamente na empresa, por exemplo, “Sistema Hidráulico Central SHC-130”.

Ação 4. Definir as funções principais de cada ativo: nos estudos de confiabilidade, a função de um ativo é definida como aquilo que os seus usuários desejam que ele cumpra (seção 2.5.3.1). Para Moubrey (1997, p.22), a descrição da função deve conter sempre um verbo, um objeto e o padrão de desempenho desejado. Portanto, esta definição deve ser clara e precisa, contendo todos os dados quantitativos disponíveis de desempenhos do ativo listado.

Após a finalização destas quatro ações, inicia-se então a aplicação do método proposto para análise da severidade das potenciais falhas de cada

ativo e também das suas respectivas probabilidades de falha. Esta análise será dividida em duas fases, conforme segue:

FASE 1. Definição da severidade das consequências das falhas potenciais

Nesta fase, cada ativo deverá ser analisado quanto a alguns fatores específicos, considerando sempre a severidade de suas falhas potenciais. Para Moubray (1997, p.279) um equipamento é considerado crítico quando apresenta riscos de segurança para pessoas ou meio ambiente, ou ainda quando suas falhas trazem grandes consequências econômicas. Este autor também deixa claro que o método a ser utilizado para classificar os ativos das empresas é único e deve ser criado para cada situação específica.

Para o caso específico deste projeto, considerando-se a missão e os valores de empresas siderúrgicas em geral, listam-se os seguintes fatores críticos para análise:

- SE - Segurança;
- MA - Meio Ambiente;
- IP - Impacto no Processo Produtivo;
- CO - Custo Operacional

Cada um desses fatores será analisado de forma individualizada, utilizando-se os detalhamentos qualitativos descritos nos parágrafos que seguem, buscando sempre atingir o consenso no grupo de trabalho sobre a classificação de cada ativo nas escalas dos fatores descritos. As escalas de pontuação, descritas a seguir, possuem a função de transformar a avaliação de fatos qualitativos em uma série quantitativa, expressa por números (Bobsin, 2004, p.105). Os resultados das análises devem ser preenchidos em um quadro específico, elaborado com foco neste projeto, através de adaptações do modelo proposto por Smith e Mobley (2008), que descreve uma metodologia de análise de criticidade de equipamentos utilizados pela indústria em geral. O quadro 3.1 apresenta os campos a serem preenchidos no modelo proposto neste trabalho.

Quadro 3.1 – Detalhes dos campos para preenchimento das Fases 1 (Severidade) e Fase 2 (Probabilidade de Falha + Risco Relativo).

MCC Criticidade e Risco Relativo de Ativos Físicos - Priorização via Multi-fatores												
Etapas de Avaliação →		Fase 1 - Severidade							Fase 2 - Probabilidade			
Descrição do Ativo	Função Principal	SE	MA	T1	IP	CO	T2	ST T1•T2	Criticidade	PF	Risco Relativo	
Ativo 1	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.											
Ativo 2	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.											
Ativo 3	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.											
Ativo 4	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.											
Ativo 5	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.											

Fonte: adaptado de Smith e Mobley (2008).

Neste método, será adotado o seguinte conceito de falha: “Incapacidade de qualquer ativo físico de cumprir uma função específica em um padrão de desempenho aceitável pelo usuário” (Moubrey, 1997). Este conceito é amplamente utilizado por inúmeras metodologias de análise de confiabilidade existentes nos ambiente corporativos atuais.

A seguir serão detalhados os principais passos a serem seguidos para a correta execução da fase 1 desta análise, além das particularidades de cada fator mencionado.

Passo 1.1 Fator SE – Segurança: este fator é avaliado em primeiro lugar, pois a saúde e segurança dos seus trabalhadores deve ser sempre a maior prioridade de qualquer empresa. Esta avaliação deve ser conduzida com base no quadro 3.2, tendo em vista as potenciais consequências de uma falha funcional a nível geral do ativo em análise, sempre considerando impactos nas pessoas ou nas instalações da empresa.

Para todos os fatores apresentados, os descritivos qualitativos e seus respectivos valores foram elaborados com foco em empresas do ramo siderúrgico, mas podem ser adaptados para aplicações deste método em empresas de qualquer ramo industrial.

Quadro 3.2 – Detalhamento do fator SE – Segurança.

 Fator SE - Segurança	
Potenciais Consequências da Falha	Valor
<u>Fatalidade</u> : morte de uma / mais pessoas OU <u>Lesão Permanente</u> : pessoa torna-se incapaz ; Danos irreparáveis a equipamentos ou instalações (reparação lenta ou impossível);	40
<u>Lesão Grave</u> : perda temporária da capacidade de trabalho (Com afastamento temporário); Danos médios reparáveis a equipamentos ou instalações;	30
<u>Lesão Mínima</u> : sem perda da capacidade de trabalho (Sem afastamento); Danos leves a equipamentos ou instalações - reparo rápido;	20
<u>Incidente sem Lesões</u> : não afeta pessoas; Danos insignificantes a equipamentos ou instalações;	10
<u>Sem risco de acidentes</u> : não afeta pessoas; Sem danos a equipamentos ou instalações;	0

Fonte: adaptado de Smith e Mobley (2008).

Passo 1.2 Fator MA – Meio Ambiente: na atual conjuntura, onde se percebe uma crescente conscientização popular no sentido de preservação do meio ambiente, este tema vem assumindo uma relevância crescente. Clientes, consumidores ou até mesmo os fornecedores tem adotado uma postura no sentido de cobrar das empresas com as quais se relacionam ações e políticas voltadas para a preservação do meio ambiente, bem como para um desenvolvimento sustentável. Essa nova e crescente cultura vem tomando forma e espaço, o que reforça o fato da gestão ambiental ser um fator fundamental para o sucesso de grandes, médias ou pequenas empresas.

Para Brand *et al.* (2013, p.1):

A preocupação com a garantia de perpetuação da vida na Terra deve ser de todos, mas nas empresas as exigências são maiores, já que as indústrias são responsáveis pela maior parte do consumo dos recursos naturais. Comprometer-se com o meio ambiente é, assim, uma obrigação de todas as empresas que queiram sobreviver na economia globalizada. Para enfrentar estes novos desafios de produzir mais com menos, as empresas devem adotar metodologias de gestão que possam contribuir para a sustentabilidade de seus processos.

A avaliação do fator MA deverá ser feita seguindo o quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Detalhamento do fator MA – Meio Ambiente.

 Fator MA - Meio Ambiente	
Potenciais Consequências da Falha	Valor
<u>Danos severos ao meio ambiente:</u> - Impacto que causa mortes, ferimentos ou evacuação das comunidades nas redondezas; - Custo para mitigação dos impactos ambientais maior que R\$ 100.000,00; - O restabelecimento das condições originais do meio ambiente é lento (+1 mês) ou impossível; - Vazamento de produto nocivo ao meio ambiente maior que 20.000 litros;	40
<u>Danos significativos ao meio ambiente:</u> - Impacto perceptível mas sem afetar a saúde das comunidades das redondezas; - Custo para mitigação dos impactos ambientais entre R\$10.000,00 e 100.000,00; - O restabelecimento das condições originais do meio ambiente é rápido(< 1 mês); - Vazamento de produto nocivo ao meio ambiente entre 5.000 e 20.000 litros;	30
<u>Danos de médias proporções ao meio ambiente:</u> - Vazamentos que ficam contidos nas mediações da empresa; - Custo para mitigação dos impactos ambientais entre R\$1.000,00 e 10.000,00; - O restabelecimento das condições originais do meio ambiente é muito rápido (< 1 semana) - Vazamento de produto nocivo ao meio ambiente entre 300 e 5.000 litros;	20
<u>Sem danos ou danos de pequenas proporções ao meio ambiente:</u> - Vazamentos que ficam contidos nas áreas de contenções de cada equipamento; - Custo para mitigação dos impactos ambientais menor que R\$ 1.000,00; - O restabelecimento das condições originais do meio ambiente é imediato (< 1 dia); - Vazamento de produto nocivo ao meio ambiente menor que 300 litros;	10
<u>Sem danos ao meio ambiente:</u> - Sem impacto no meio ambiente; - Sem desrespeitar nenhuma lei ambiental; - Operação normal dentro das especificações da licença ambiental;	0

Fonte: adaptado de Smith e Mobley (2008).

É importante mencionar também que quando se executa esta avaliação, deve-se sempre considerar o “pior cenário”, por exemplo, no caso de um tanque que contém algum produto químico nocivo ao meio ambiente, deve-se sempre considerar que no caso de uma falha funcional da contenção haverá o vazamento de todo o seu volume.

Passo 1.3 Fator IP – Impacto no processo produtivo: diante de um mundo globalizado onde as barreiras socioeconômicas estão diminuindo, cada vez

mais os clientes estão buscando produtos e serviços que atendam suas principais expectativas. Para Oliveira (2006, p.6):

Empresas de sucesso têm, obrigatoriamente, de estar acompanhando as mudanças do mercado e da sociedade como um todo. Esta postura possibilita o monitoramento das tendências do comportamento do consumidor, que deve ser o centro de suas atenções, e permite que os objetivos e atitudes das organizações estejam alinhados com os anseios dos clientes.

O objetivo comum de todas as empresas é de fornecer soluções para as necessidades de seus clientes, e seu sucesso resultará da forma como elas atingem este objetivo. Por isso, a manutenção de um processo produtivo estável é de fundamental importância.

Para a avaliação do fator IP, deve-se sempre considerar a existência ou não de um equipamento ou sistema *stand-by*. Entende-se como equipamento *stand-by* aquele equipamento instalado e fora de serviço, com características iguais ou similares aos equipamentos primários, e que esteja “pronto” para operação através de manobras simples e rápidas, automatizadas ou não, e que não causem prejuízos à capacidade produtiva do processo ou afete a qualidade do produto final.

Também a avaliação deve considerar que se qualquer um dos requisitos for atendido, a classificação deve ser sempre realizada para o valor maior, considerando sempre a pior situação de falha conhecida.

O quadro 3.4 expressa de forma detalhada como este fator deve ser pontuado, para o caso de falha do ativo em análise.

Pode-se verificar nos quadros 3.4 e 3.5, apresentados a seguir, que a escala máxima de valores passou a ser igual a 10 (dez), ao invés de 40 (quarenta), como nos fatores SE e MA (Quadros 3.2 e 3.3). Esta mudança visa enfatizar estes dois primeiros fatores, pois são fundamentais para a sobrevivência de qualquer empresa. Toda e qualquer empresa que almeja o sucesso sabe que é impossível alcançar resultados financeiros ou de produtividade sem valorizar as pessoas que nela trabalham ou o meio ambiente no qual esta inserida. Portanto, no balanceamento dos fatores, Segurança (SE) e Meio Ambiente (MA) possuem em média um peso 4 (quatro) vezes maior que os demais. Segundo Bobsin (2005, p. 17):

O trabalho pode gerar qualidade de vida, mas também pode gerar danos ao meio ambiente, por vezes irreparáveis, causar mortes, doenças e incapacidade parcial ou permanente do empregado para o exercício de suas funções, por isso se faz necessário a criação de novas técnicas para controle e prevenção de acidentes, com foco na gestão.

Quadro 3.4 – Detalhamento do fator IP – Impacto no processo produtivo.

 Fator IP - Impacto no Processo Produtivo	
Potenciais Consequências da Falha	Valor
<u>Danos irreversíveis</u> ao ritmo de produção de uma área/setor específico: - Parada completa da produção em uma área específica maior que 4h; - Impacto no ritmo de produção de todo complexo industrial; - Parada completa da produção no equipamento/sistema > que 3 dias (72h);	10
<u>Danos significativos</u> ao ritmo de produção de uma área/setor específico: - Parada completa da produção em uma área específica menor que 4h; - Parada completa da produção no equipamento/sistema entre 24 e 72h;	8
<u>Danos intermediários</u> ao ritmo de produção do equipamento/sistema: - Parada completa da produção no equipamento/sistema entre 8 e 24 horas; - Sem redução do ritmo de produção em uma área específica ou complexo industrial;	6
<u>Danos leves</u> ao ritmo de produção do equipamento/sistema: - Parada completa da produção no equipamento/sistema menor que 8h; - Sem redução do ritmo de produção em uma área específica ou complexo industrial;	4
<u>Sem danos ao ritmo de produção:</u> - Sem redução do ritmo de produção no equipamento/sistema, em uma área específica ou no complexo industrial; - Sem perda do volume de produção do equipamento/sistema, de uma área específica ou do complexo industrial;	1

Fonte: adaptado de Smith e Mobley (2008).

Passo 1.4 Fator CO – Custo Operacional: no ambiente de alta competitividade atual, as empresas devem estar constantemente em evolução, fazendo um persistente controle sobre suas ações, sua maneira de agir e, principalmente, sua maneira de gastar. Portanto, devem priorizar estratégias e ações voltadas aos seus processos gerenciais que produzam respostas mais rápidas e eficientes ao resultado que esse ambiente exige. Por isso, a identificação dos ativos cujas falhas possam causar aumentos consideráveis nos custos operacionais é essencial para a manutenção da saúde financeira de qualquer empresa.

O fator CO deve ser avaliado considerando-se o quadro 3.5:

Quadro 3.5 – Detalhamento do fator CO – Custo operacional.

 Fator CO - Custo Operacional	
Potenciais Consequências da Falha	Valor
* Aumenta o custo operacional de uma área específica em mais de 10%;	10
* Aumenta o custo operacional de uma área específica em menos de 10%; * Aumenta o custo operacional de um equipamento/sistema em mais de 20%;	8
* Não afeta significativamente o custo de uma área específica; * Aumenta o custo operacional de um equipamento/sistema entre 5 e 20%;	6
* Aumenta o custo operacional de um equipamento/sistema em menos de 5%;	4
* Não há efeitos no custo operacional;	1

Fonte: adaptado de Smith e Mobley (2008).

Desta forma, para cada um dos fatores analisados, realizou-se uma avaliação qualitativa, que segundo Bobsin (2005, p.76), a pontuação ou o uso de escalas de pontuação representando a visão do examinador, sendo necessária para que no julgamento se possa atribuir valores de medida, buscando assim a interpretação e a mensuração do grau de importância de um atributo.

Portanto, o resultado esperado, após a conclusão das análises destes quatro fatores listados, é que os valores definidos de forma consensual no time de trabalho estejam devidamente preenchidos no quadro 3.1, permitindo assim a continuidade da aplicação do método através do cálculo da criticidade para cada ativo, processo este melhor detalhado no próximo passo.

Passo 1.5 Cálculo da Criticidade para cada ativo

Uma vez que os quatro fatores estejam definidos para todos os ativos listados, inicia-se então o processo de cálculo da criticidade, que normalmente pode ser automatizado através do uso de *softwares* que agilizam este processo. Inicialmente, calculam-se os dois somatórios intermediários T1 e T2, e também a severidade total (ST), onde:

- T1 representa o somatório da severidade total das conseqüências das falhas potenciais relacionadas à Segurança (SE) e Meio Ambiente (MA); e
- T2 representa o somatório da severidade total das conseqüências das falhas potenciais relacionadas à Impactos no Processo (IP) e Custos Operacionais (CO).

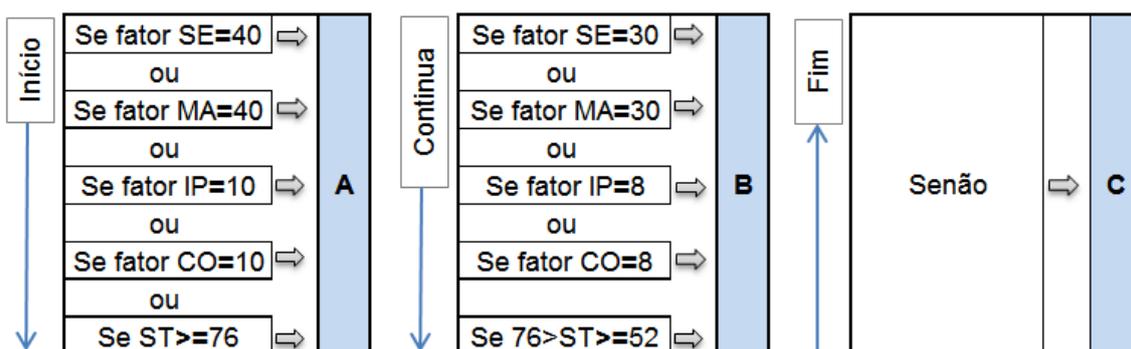
O quadro 3.6 ilustra um exemplo de uma planilha já preenchida, com os devidos somatórios já calculados.

Quadro 3.6 – Exemplo de uma planilha para cálculo da Criticidade e Risco Relativo com “Fase 1 – Severidade” completamente preenchida.

MCC Criticidade e Risco Relativo de Ativos Físicos - Priorização via Multi-fatores											
Etapas de Avaliação		Fase 1 - Severidade							Fase 2 - Probabilidade		
Descrição do Ativo	Função Principal	SE	MA	T1	IP	CO	T2	ST T1+T2	Criticidade	PF	Risco Relativo
Ativo 1	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.	40	40	80	10	10	20	100	A		
Ativo 2	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.	30	30	60	8	8	16	76	A		
Ativo 3	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.	20	20	40	6	6	12	52	B		
Ativo 4	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.	10	10	20	4	4	8	28	C		
Ativo 5	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.	0	0	0	1	1	2	2	C		

Para a determinação da **Criticidade**, desenvolveu-se uma lógica específica, apresentada no Quadro 3.7. Esta lógica é baseada no “Princípio de Pareto”, que, aplicado à manutenção, define que aproximadamente 20% dos itens são responsáveis por 80% das falhas/interrupções no processo, e os 80% dos itens remanescentes correspondem a somente 20% das falhas/interrupções no processo (Ultsch, 2002). Com este princípio, aliado a análise de criticidade proposta por Smith e Mobley (2008), definem-se 3 (três) níveis de criticidade para os ativos analisados (Criticidade A, B ou C) e também definem-se as regras que classificam os ativos nestes 3 níveis de criticidade, sendo que estas foram posteriormente implementadas em um *software* (Excel™) específico para esta finalidade, permitindo que cada item físico analisado seja classificado automaticamente, com base nos valores digitados para cada um dos fatores.

Quadro 3.7 – Lógica de decisão para definição da criticidade do ativo.



As definições das criticidades adotadas nesta dissertação são as seguintes:

- Criticidade **A** – ativos físicos cujas falhas podem causar acidentes que provoquem grandes prejuízos a pessoas, meio ambiente, econômicos e sociais, além de interrupções significativas no processo produtivo. O foco da manutenção para este tipo de ativo deve ser de Confiabilidade Máxima, ou seja, execução de manutenções programadas no menor tempo possível e inexistência de interrupções não programadas, pois estes ativos possuem necessidade de operar em plena capacidade, sempre que solicitado, por questões de segurança, meio ambiente ou produção.

- Criticidade **B** - ativos físicos cujas falhas podem causar acidentes que provoquem prejuízos intermediários a pessoas, meio ambiente, econômicos e sociais, além de interrupções importantes no processo produtivo. A manutenção, neste tipo de ativo, deve possuir uma abordagem do tipo Disponibilidade Máxima, significando inexistência de interrupções não programadas ou emergenciais, pois a falta do ativo afeta diretamente o processo produtivo, podendo comprometer a qualidade ou quantidade produzida.

- Criticidade **C** - ativos físicos cujas falhas podem causar acidentes que provoquem prejuízos leves ou nenhum prejuízo a pessoas, meio ambiente, econômicos e sociais. Também podem causar apenas interrupções leves ou nenhuma interrupção no processo produtivo. A abordagem da manutenção, neste caso, deve ser do tipo mínimo aporte de recursos (pessoas, materiais e equipamentos), redirecionando os recursos para ativos de maior importância,

pois a falta do ativo não traz consequências muito relevantes para a organização.

FASE 2. Definição das Probabilidades de Falha (PF) e Risco Relativo (RR)

Nesta fase, é necessário inicialmente definir-se as Probabilidades de Falha (PF) para cada ativo sob análise e com isso podem-se calcular os seus respectivos Riscos Relativos (RR), ou seja, aqueles que são comparáveis entre si.

Nos últimos 4 anos, a gestão de riscos em empresas ganhou ainda mais importância devido as recentes crises mundiais que abalaram o já frágil equilíbrio da economia global. Raposo (2004) indica que o gerenciamento de riscos proporciona melhores resultados para qualquer empresa, pois fornece o discernimento, o conhecimento e a convicção indispensáveis na tomada de decisões empresariais. Em particular, o gerenciamento de riscos proporciona benefícios ao processo manutenção de uma organização, fornecendo um método robusto e consistente de suporte às decisões sobre os processos de gestão, de modo a: (i) prevenir ou evitar riscos; (ii) aperfeiçoar planos de contingência para lidar com os riscos e seus impactos; (iii) melhorar a alocação dos recursos e o alinhamento do orçamento para os riscos e (iv) explorar oportunidades para os projetos.

Por definição, risco é o produto da severidade das falhas e da probabilidade de ocorrências das mesmas (CAMPBELL; JARDINE; McGLYNN, 2011, p.163). Neste projeto, propõe-se usar a análise do Risco Relativo (RR), adaptada dos autores Campbell, Jardine e McGlynn (2011) e Smith e Mobley (2008). Nesta análise proposta, o RR deve ser calculado para cada ativo listado, obtendo-se assim a priorização necessária para a aplicação de melhorias no processo manutenção, em especial, para a aplicação da MCC, focando, desta forma, naqueles ativos que possuam um RR maior em relação aos outros, evitando assim o dispêndio de recursos naqueles ativos que efetivamente sejam classificados como de baixo risco para o processo.

Esta segunda fase do processo de análise deverá ser executada pela mesma equipe responsável pela primeira, seguindo os seguintes passos:

- Definição da probabilidade de falha: para se calcular o risco relativo RR de cada ativo, como mencionado, necessita-se do produto de dois fatores: Severidade Total (ST) e Probabilidade de Falhas (PF). A severidade das falhas potenciais já foi definida quando se calculou a severidade total $ST = T1+T2$ (seção 3.4.2), sendo agora necessário apenas definir-se a probabilidade PF de ocorrências de falhas para cada ativo descrito. É importante frisar novamente o conceito de falha utilizado nesta análise: “Incapacidade de qualquer item físico de cumprir uma função específica em um padrão de desempenho aceitável pelo usuário” (MOUBRAY, 1997). Com isso, a equipe responsável pela análise deve procurar responder a seguinte pergunta, sempre buscando o consenso no grupo:

“Qual a probabilidade do ativo sob análise falhar?”

Para responder esta pergunta, deve-se selecionar uma das alternativas apresentadas no quadro 3.8.

Este quadro foi elaborado a partir de dados históricos de falhas de equipamentos utilizados em empresas siderúrgicas e também no modelo apresentado por Smith e Mobley (2008, p.76).

Quadro 3.8 – Detalhamento do fator PF – Probabilidade de Falha.

MCC Fator PF - Probabilidade de Falha	
Qual a probabilidade de ocorrência de falhas:	Valor
<u>Muito Frequente</u> - 1 Falha ou mais por MÊS (MTBF \leq 30 dias);	10
<u>Frequente</u> - 1 Falha a cada 6 MESES (30 < MTBF \leq 180 dias);	8
<u>Pouco Frequente</u> - 1 Falha a cada 1 ANO (180 < MTBF \leq 360 dias);	6
<u>Rara</u> - 1 Falha a cada 2 ANOS (360 < MTBF \leq 720 dias);	4
<u>Remota</u> - Não esperado ocorrer durante a vida útil do sistema (MTBF \geq 720 dias);	2

Fonte: adaptado de Smith e Mobley (2008).

Para a definição deste fator, no caso de ativos já instalados e com histórico de falhas, utiliza-se o *MTBF – Mean Time Between Failures* (Tempo Médio entre Falhas), pois isso trará uma maior assertividade neste processo de

escolha. Para o caso de ativos novos, recém-instalados, sem um histórico de falhas que possa ser utilizado, devem-se buscar outras fontes de dados, como: dados de ativos similares instalados em outros locais, consultas com especialistas conhecedores do ativo analisado, dados fornecidos pelos fabricantes dos ativos, etc.

- Cálculo do Risco Relativo (RR) e Priorização dos Ativos

Para o cálculo do risco relativo, multiplica-se diretamente a Severidade Total (ST) encontrada na Fase 1 pela Probabilidade de Falha (PF) definida na Fase 2, logo:

$$\text{Risco Relativo RR} = \text{Severidade Total ST} \times \text{Probabilidade de Falha PF}$$

Uma vez calculado o RR, deve-se ordenar os ativos baseando-se no RR calculado para cada um, sendo o maior primeiro e o menor por último.

Este é o produto final desta análise, onde se podem identificar os ativos mais críticos para a empresa e priorizá-los na implantação de melhorias, tanto nos seus procedimentos de operação e principalmente nos seus processos de manutenção.

Com isso, identificam-se aqueles ativos prioritários para a aplicação da metodologia MCC.

A seguir apresenta-se um exemplo (Quadro 3.9) de um quadro completamente preenchido, onde a última coluna identifica a “**Prioridade**” de cada ativo quanto à aplicação da metodologia MCC. Quanto maior o RR, maior será a prioridade do ativo para a aplicação da MCC, portanto, o ativo 1 seria o primeiro a ser considerado para aplicação da MCC, enquanto que o ativo 6 seria considerado o último.

Com isso, finaliza-se o detalhamento do método proposto para a Etapa 1 da MCC: “Método de Priorização via Multi-fatores”, sendo que o quadro 3.9 ilustra um exemplo do produto final a ser obtido com a aplicação deste método.

Quadro 3.9 – Exemplo da planilha para cálculo da Criticidade e Risco Relativo completamente preenchida.

 Criticidade e Risco Relativo de Ativos Físicos - Priorização via Multi-fatores												
Etapas de Avaliação →		Fase 1 - Severidade							Fase 2 - Probabilidade		Prioridade	
Descrição do Ativo	Função Principal	SE	MA	T1	IP	CO	T2	ST T1•T2	Criticidade	PF		Risco Relativo
Ativo 1	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.	40	40	80	10	10	20	100	A	10	1000	1º
Ativo 2	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.	30	30	60	8	8	16	76	A	9	684	2º
Ativo 3	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.	20	20	40	6	6	12	52	B	8	416	3º
Ativo 4	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.	10	10	20	4	4	8	28	C	7	196	4º
Ativo 5	Verbo + Objeto + Padrão de Desempenho desejado.	0	0	0	1	1	2	2	C	6	12	5º

3.4.3 Método proposto para a “Etapa 6” – Método alternativo para definição das estratégias de manutenção

Conforme descrito na seção 3.3.2, o método tradicional de aplicação da MCC apresenta uma deficiência no seu diagrama de decisão (Etapa 6), pois este utiliza perguntas dicotômicas do tipo Sim/Não, que levam a uma elevada possibilidade de erro nas escolhas das estratégias de manutenção, além de demandar um elevado tempo para executar esta etapa. Para sanar esta deficiência, elaborou-se um método alternativo (detalhado a seguir) ao diagrama de decisão tradicional da MCC.

3.4.4 Detalhamento do método alternativo ao diagrama de decisão da MCC – “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”

Basicamente neste método alternativo proposto, chamado de “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”, as decisões serão tomadas conforme a criticidade ABC de cada ativo definida anteriormente.

Conforme descrito na seção 3.2, utiliza-se como base neste projeto a metodologia MCC proposta por Campbell, Jardine e Mcglynn (2011), apresentada na figura 3.1. Nesta figura pode-se verificar que, após escolhido o ativo prioritário para aplicação da MCC, deve-se elaborar um estudo FMEA neste ativo. No entanto, conforme descrito por Filipe (2006, p.50), a aplicação

pura do FMEA conduz a um caráter meramente qualitativo, não escalonando de forma clara e quantificada cada um dos modos de falha definidos. Por isso, em detrimento ao FMEA puro, propõe-se neste estudo o uso da metodologia FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*), que contempla uma análise quantitativa da severidade, probabilidade de falha e detectabilidade para cada componente/modo de falha listado, gerando um índice de risco RPN (*Risk Priority Number*) que também contribui para uma priorização das ações a serem tomadas pela empresa após a conclusão da análise. De acordo com Filipe (2006) e também baseando-se na norma SAE-J1739, a metodologia FMECA será aplicada, nesta pesquisa, em 3 fases principais, conforme descrito a seguir.

FASE 1. Identificação e caracterização do ativo

Esta fase 1 do FMECA corresponde basicamente as etapas 2 a 5 da MCC tradicional apresentada na figura 3.1, sendo que o método “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção” desenvolvido neste trabalho esta melhor detalhado na fase 3.

Passo 1.1 Decomposição do ativo em componentes: neste passo é necessário um levantamento criterioso de dados do ativo sob análise, utilizando-se de toda documentação técnica disponível, aliada ao conhecimento da equipe de manutenção e operação, para listar todos os componentes integrantes do ativo escolhido. Componentes podem ser descritos como as menores partes/peças economicamente intercambiáveis em um mesmo sistema.

Uma vez listados os componentes, inicia-se a análise FMECA, seguindo as orientações descritas a seguir e também na seção 2.5.4.

Passo 1.2 Definição das funções principais de cada componente: consiste em fornecer uma descrição textual, contendo os objetivos ou finalidades dos componentes, na visão dos seus usuários. Conforme descrito por Moubray (1997), deve-se sempre procurar responder a seguinte pergunta para cada componente: “Quais são as funções e níveis de desempenho para cada componente no contexto operacional atual?” Desta forma, as funções devem

ser sempre descritas com um verbo, um objeto e um nível de desempenho esperado pelos usuários.

Passo 1.3 Levantamento dos modos de falha: neste passo, devem-se descrever todos os modos de falha para cada componente sob análise, ou seja, descrever de que maneira as falhas podem ocorrer ou apresentar-se no componente, associando-o sempre ao evento ou fenômeno responsável pela mudança do estado normal do componente para seu estado anormal. Conforme Moubray (1997), os modos de falha devem ser descritos com um substantivo e um verbo, de modo a facilitar a escolha da estratégia de prevenção da falha mais adequada para cada situação.

Passo 1.4 Determinar os efeitos de cada modo de falha: devem-se identificar os efeitos através dos impactos nas funções dos componentes quando cada modo de falha se apresenta, avaliando aspectos como: evidências da falha, tempo e forma de reparo e possíveis impactos secundários em segurança e meio ambiente, por exemplo.

Passo 1.5 Causas das falhas: busca-se neste passo descrever o porquê do componente apresentar cada modo de falha listado, identificando todas as possíveis causas para a ocorrência do mesmo, buscando sempre desdobrar em detalhes como o mecanismo de falha se apresenta ao longo da vida operacional do componente.

O quadro 3.10 apresenta um exemplo do formulário FMECA a ser utilizada nestas etapas da pesquisa, desenvolvido com base na norma SAE-J1739.

Quadro 3.10 – Formulário para aplicação da metodologia FMECA a ser utilizado nesta pesquisa.

FMECA - Failure Mode, Effect and Criticality Analysis - Análise Crítica dos Modos de Falhas e seus Efeitos												
Ativo:		Sistema:			Função Principal:							
Responsável:		Equipe de Aplicação:						Período:				
Fase 1					Fase 2			Fase 3				
Componente	Função Principal	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causas Potenciais da Falha	PF	DT	RPN	Ação Escolhida	Freq.	Técnico Resp.	Nr Tec	Duração (h)

Fonte: elaborado pelo Autor

FASE 2. Determinação do RPN – *Risk Priority Number* (Número de Prioridade de Risco)

Nesta fase, conforme especificação SAE-J1739, o RPN deve ser calculado através da multiplicação de 3 fatores:

$$\text{RPN} = S \times O \times D$$

Onde:

S – severidade do modo de falha;

O – ocorrência ou probabilidade de ocorrência (frequência) do modo de falha listado;

D – detectabilidade, ou seja, representa o grau de facilidade de detecção do modo de falha analisado;

No entanto, nesta pesquisa, o RPN será calculado utilizando-se somente dois fatores, conforme segue:

$$\text{RPN} = \text{PF} \times \text{DT}$$

Onde:

PF – Probabilidade de ocorrência (frequência) do modo de falha listado. Este fator será definido utilizando-se o mesmo Quadro 3.8 apresentada na seção 3.4.2 deste trabalho.

DT – detectabilidade, ou seja, representa o grau de facilidade de detecção do modo de falha analisado. Este fator será definido utilizando-se o Quadro 3.11 ilustrado a seguir.

O fator S – Severidade foi suprimido na metodologia FMECA usada neste trabalho, pois considera-se que a severidade da falha de um componente é similar a severidade da falha de todo o ativo em questão, além de que na maior parte dos casos, os componentes fazem parte de um mesmo sistema interligado, sendo que a falha de um causará a falha de todo o conjunto/ativo sob análise. Conforme descrito por Kardec e Nascif (2001), nos novos tipos de sistemas, os diferentes componentes são interligados e em constata interação entre si. Por isso, o fator severidade não será analisado novamente na

metodologia FMECA proposta neste trabalho, pois esta análise já foi realizada na aplicação da método descrito para a “Etapa 1” na seção 3.4.1. O mesmo não é válido para os fatores PF e DT, pois ambos serão analisados de forma individualizada para cada componente do ativo sob análise. Com isso, em vez de três, faz-se a análise somente de dois fatores, reduzindo assim o tempo de análise e de aplicação da metodologia FMECA.

Quadro 3.11 – Detalhamento do fator DT – Detectabilidade.

 Fator DT - Detectabilidade		
Qual a facilidade de detecção do modo de falha:	Valor	
Muito <u>difícil</u> <u>detecção</u> : requer testes específicos em oficina ou em bancada de testes.	10	Não Detectável  
Difícil <u>detecção</u> : requer inspeção detalhada do item ou testes em campo.	8	
Detectável pelo <u>manendedor</u> em sua rota de inspeção detalhada.	6	Detectável  
Detectável pelo <u>operador</u> em uma rota de inspeção detalhada.	4	
Facilmente detectável pelo <u>operador</u> em sua rotina normal de operação.	2	

Fonte: adaptado de Ramli e Arffin (2012).

FASE 3. Definição das estratégias de manutenção para cada componente – “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”

Após o cálculo do RPN para cada componente listado, inicia-se a análise de cada modo de falha para determinar as ações de manutenção mais adequadas, buscando o aumento da confiabilidade do item considerado.

Conforme descrito na seção 3.3.2, a metodologia tradicional de MCC orienta que para determinarem-se as ações de manutenção deve-se seguir um diagrama de decisão do tipo “Sim/Não”. No entanto, nesta pesquisa, será utilizado um novo método proposto, chamado de “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”. Neste método, basicamente cada modo de falha será analisado de acordo com classificação ABC do ativo previamente

realizada na etapa 1 da MCC, e também quanto a probabilidade de falha e detectabilidade do modo de falha descrito.

Conforme descrito na seção 3.4.2, os ativos seriam classificados, seguindo o método proposto naquela seção, em três níveis de criticidade (A, B ou C):

- Ativos de Criticidade **A**: devem operar em plena capacidade, sempre que solicitados, por questões de segurança, meio ambiente ou produção. As estratégias de manutenção devem possuir um foco em confiabilidade máxima.

- Ativos de Criticidade **B**: a falta deste ativo afeta diretamente o processo produtivo, podendo comprometer a qualidade ou quantidade produzida. As estratégias de manutenção devem possuir um foco em disponibilidade máxima.

- Ativos de Criticidade **C**: a falta deste tipo de ativo não traz consequências relevantes para o processo produtivo. O foco das estratégias de manutenção deve ser em custo mínimo.

Os quadros 3.12, 3.13 e 3.14, elaborados nesta dissertação, apresentam as estratégias de manutenção a serem adotadas para cada ativo, de acordo com a sua criticidade e modos de falha analisados.

Quadro 3.12 – Estratégias de manutenção para ativos de Criticidade A.

Tabela A: Determinação das Estratégias de Manutenção: Criticidade A - Ativo Crítico		
PF ↕	Probabilidade de Falha	Características da Classe: Necessidade de operar em plena capacidade, sempre que solicitado, por questões de segurança, meio ambiente ou produção.
		Abordagem: Confiabilidade Máxima - execução de manutenções programadas com menor tempo possível e inexistência de interrupções não programadas.
		Detectável (2 / 4 / 6)
		Não Detectável (8 / 10)
10	1 / mês	<u>Manutenção Baseada na Condição (MBC):</u> 1- Definir Inspeção Diária de Manutenção; 2- Definir Manutenções Preventivas para minizar falhas; 3- Definir Manutenções Preventivas nos sistemas de proteção (Alarmes)
8	1 / 6 Meses	<u>Reprojeto:</u> 1- Reprojeto para tornar falha detectável; 2- Reprojeto para reduzir severidade das falhas; 3- Reprojeto para reduzir probabilidade de falhas;
6	1 / Ano	<u>Manutenção Baseada na Condição (MBC):</u> 1- Definir Inspeção Preditiva; 2- Definir Manutenções Preventivas para minizar frequencia de falhas;
4	1 / 2 Anos	<u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenções Preventivas para minizar falhas; 2- Definir Manutenção Corretiva programada (substituição);
2	1 / >2 anos	<u>Manutenção Baseada na Condição (MBC):</u> 1- Definir procedimento de inspeção específico para detectar falhas; 2- Definir Manutenções Preventivas para minizar frequencia de falhas;

Quadro 3.13 – Estratégias de manutenção para ativos de Criticidade B.

Tabela B: Determinação das Estratégias de Manutenção: Criticidade B - Ativo Importante			
PF ↕	Probabilidade de Falha	<u>Características da Classe:</u> A falta do ativo afeta diretamente o processo produtivo, podendo comprometer a qualidade ou quantidade produzida.	
		<u>Abordagem:</u> Disponibilidade Máxima - inexistência de interrupções não programadas ou emergenciais.	
		Detectável (2 / 4 / 6)	Não Detectável (8 / 10)
10	1 / mês	<u>Manutenção Baseada na Condição (MBC):</u> 1- Definir Inspeção Diária do Operador; 2- Definir Manutenções Preventivas para minizar falhas;	<u>Reprojeto:</u> 1- Avaliar reprojeto para reduzir severidade e probabilidade de falhas;
8	1 / 6 Meses	3- Definir Manutenções Preventivas nos sistemas de proteção (Alarmes)	<u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenções Preventivas para minizar falhas; 2- Definir Procedimentos para Corretivas não-programadas;
6	1 / Ano	<u>Manutenção Baseada na Condição (MBC):</u> 1- Definir Inspeção Preditiva;	<u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenção Corretiva programada (substituição);
4	1 / 2 Anos	2- Definir Manutenções Preventivas para minizar frequência de falhas;	2- Definir Procedimentos para Corretivas não-programadas;
2	1 / >2 anos	<u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenção Corretiva programada (substituição); 2- Definir Manutenções Preventivas para minizar frequência de falhas;	<u>Manutenção Corretiva Programada (MCP):</u> 1- Incluir no Plano de Reforma Anual (Corretiva Programada - Substituição);

Quadro 3.14 – Estratégias de manutenção para ativos de Criticidade C.

Tabela C: Determinação das Estratégias de Manutenção: Criticidade C - Ativo Auxiliar			
PF ↕	Probabilidade de Falha	<u>Características da Classe:</u> A falta do ativo não traz consequências muito relevantes.	
		<u>Abordagem:</u> Mínimo aporte de recursos da manutenção (pessoas, materiais e equipamentos), redirecionando os recursos para ativos de maior importância.	
		Detectável (2 / 4 / 6)	Não Detectável (8 / 10)
10	1 / mês	<u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenções Preventivas para minizar falhas;	<u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenções Preventivas para minizar falhas;
8	1 / 6 Meses		2- Definir Procedimentos para Corretivas não-programadas;
6	1 / Ano	<u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenções Preventivas para minizar falhas;	<u>Manutenção Corretiva Programada (MCP):</u> 1- Definir Manutenção Corretiva programada (substituição);
4	1 / 2 Anos		2- Definir Procedimentos para Corretivas não-programadas;
2	1 / >2 anos	<u>Manutenção Corretiva Programada (MCP):</u> 1- Incluir no Plano de Reforma Anual (Corretiva Programada - Substituição);	<u>Manutenção Corretiva Programada (MCP):</u> 1- Incluir no Plano de Reforma Anual (Corretiva Programada - Substituição);

Fonte: elaborado pelo Autor.

Portanto, a análise de criticidade ABC descrita na seção 3.4.2 define qual seria o quadro a ser utilizado. Com isso, as estratégias de manutenção, para cada componente, serão definidas com a combinação de dois fatores inerentes ao componente: Probabilidade de falha e Detectabilidade. Para cada componente e modos de falha listados, inicialmente verifica-se qual é a Probabilidade de Falha PF na coluna da esquerda, sendo que o passo seguinte será verificar se a falha é detectável ou não (Valores de DT=2, 4 e 6 definem falha Detectável e valores de DT= 8 e 10 definem falha Não Detectável), obtendo-se nas células centrais quais seriam as estratégias de manutenção mais adequadas para cada combinação de valores de PF e DT.

Desta forma, elimina-se a necessidade de seguir um diagrama de decisão do tipo “sim/não”, podendo-se assim obter a melhor estratégia a ser adotada para cada situação de forma direta, simples e rápida, tornando a aplicação da MCC menos dispendiosa em termos de tempo e custo, além de reduzir o desgaste moral dos integrantes do time de aplicação.

4 AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS PROPOSTOS – APLICAÇÃO EM EMPRESA DO RAMO SIDERÚRGICO

4.1 Considerações iniciais

Para avaliação dos métodos propostos, aplicou-se a MCC descrita nesta dissertação em uma empresa do ramo siderúrgico, localizada na região nordeste do Brasil. Trata-se de uma empresa multinacional, cujo principal produto é o vergalhão de aço destinado à construção civil, com uma produção mensal aproximada de 30.000t de aço. O processo de fabricação do vergalhão é ilustrado na figura 4.1.

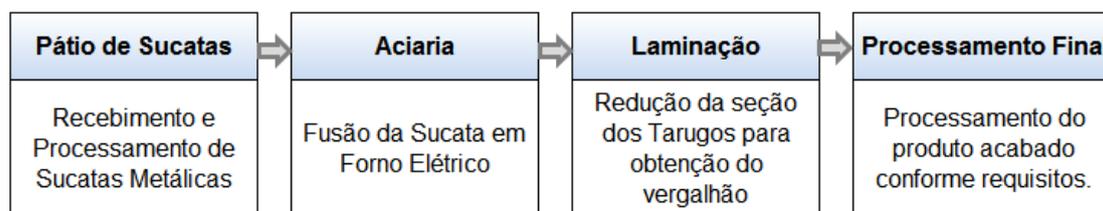


Figura 4.1 - Fluxograma de produção do vergalhão.

O processo de manutenção nesta empresa é executado por cada área apresentada na figura 4.1, sendo que todas estão sob o controle do departamento de Engenharia de Manutenção, que dá suporte nas definições das estratégias de manutenção a serem adotadas para cada item físico e também acompanha o desempenho de cada equipe nas suas principais atividades de manutenção, tais como:

- Programa de lubrificação dos ativos da empresa;
- Programa de inspeção de equipamentos;
- Controle de pendências de manutenção;
- Cronograma de paradas programadas e grandes reformas;
- Programação semanal de manutenção;
- Apontamentos de mão-de-obra;
- Controle e gerenciamento de informações de manutenção;

4.2 Preparação do Estudo

Inicialmente, definiu-se junto ao departamento de Engenharia de Manutenção da empresa que o projeto piloto de aplicação desta metodologia de MCC seria executado na área do Pátio de Sucatas, devido principalmente à instalação de novos equipamentos nesta área que necessitavam a elaboração de um plano de manutenção adequado. Além disso, a área do Pátio de Sucatas, por apresentar um razoável número de itens físicos, constitui-se num ótimo piloto para o exercício e aprimoramento da aplicação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) proposta nesta dissertação.

O próximo passo foi constituir uma equipe de profissionais da área de manutenção, com conhecimentos suficientes sobre o funcionamento e manutenção dos itens físicos, sistemas, subsistemas e componentes nos quais seria realizado o estudo. Também, em função da maior disponibilidade das equipes de especialistas mecânicos, definiu-se que somente os sistemas mecânicos de cada equipamento seriam analisados neste piloto.

4.3 O Pátio de Sucatas

Nas siderúrgicas com forno a arco elétrico, dentre todos os insumos utilizados na fabricação do aço, a sucata é o que apresenta o maior impacto sobre os custos. Por isso, o pátio de sucatas, onde toda a sucata metálica é recebida e processada, possui grande importância para a obtenção de um produto final de qualidade com custos otimizados. Os processamentos realizados na sucata envolvem limpeza, compactação, corte e transporte até o forno de fusão, sendo que na empresa em questão realiza-se um processamento médio mensal de 35.000t de sucata.

A figura 4.2 apresenta o fluxograma do pátio de sucatas. Observa-se que existem cinco processamentos distintos que são realizados para cada tipo de sucata, conforme sua classificação. Cada um destes processamentos possui equipamentos diferentes e todos eles serão contemplados na aplicação da metodologia proposta.

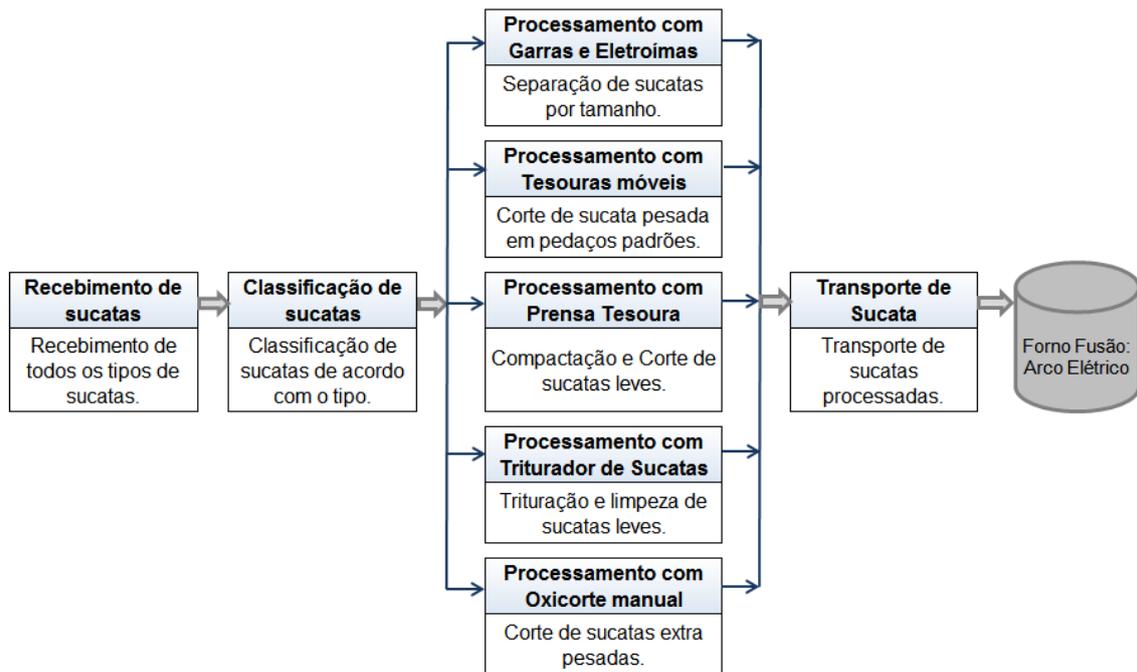


Figura 4.2: Processamentos de Sucatas executados no Pátio de Sucatas.

4.4 Aplicação do método proposto no Pátio de Sucatas

A implementação da MCC proposta nesta dissertação foi executada seguindo todas as etapas e fases descritas ao longo deste trabalho, sendo que os detalhes específicos da execução de cada etapa/fase foram elucidados nas seções que seguem.

4.4.1 Definição do time de profissionais para aplicação do método

A figura 4.3 apresenta a configuração do time responsável pela aplicação do método na área definida.

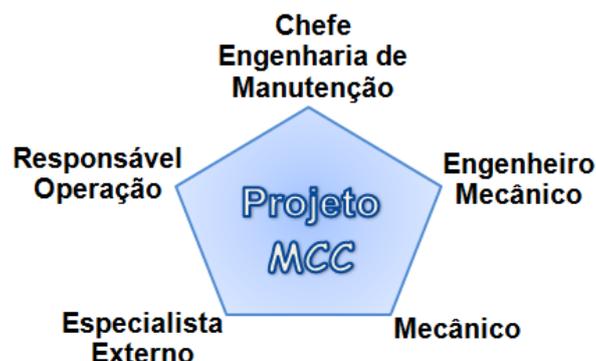


Figura 4.3 – Time de profissionais definido para aplicação do método proposto.

O chefe da Engenharia de Manutenção exerceu a função de Facilitador de MCC, líder do grupo, e responsável pela realização do estudo. Além disso, conforme descrito na seção 3.4.2, este time de profissionais deve possuir uma configuração específica e todos devem ser propriamente treinados. Neste estudo, portanto, todos estes profissionais foram treinados nos conceitos fundamentais da metodologia MCC, sendo que os métodos propostos neste estudo foram incluídos nestes treinamentos, contemplando as particularidades necessárias para sua correta aplicação.

4.4.2 Definição do nível da análise

Na seção 3.4.2 pode-se verificar que a literatura pesquisada determina que o melhor nível para aplicação da MCC é o nível de sistema. Para tanto, a equipe iniciou os trabalhos com a estruturação funcional da área do pátio de sucatas em sistemas e subsistemas, de modo a permitir um melhor entendimento daquilo que será analisado. A área foi dividida em quatro sistemas principais (Garra, Tesoura Móvel, Prensa Tesoura e Triturador de Sucatas), representando basicamente os principais equipamentos / processamentos realizados nesta área. Posteriormente, cada sistema foi subdividido em subsistemas funcionais associados às suas funções principais. Cabe salientar que a definição dos subsistemas foi uma atividade iterativa, em que várias configurações foram propostas até que se chegasse a mais apropriada. O quadro 4.1 apresenta a lista de sistemas e subsistemas funcionais do pátio de sucatas.

4.4.3 Aplicação do Método Proposto para a “Etapa 1”: Método de Priorização via Multi-fatores

Após a listagem dos sistemas e subsistemas do pátio de sucatas, o time responsável pelo projeto iniciou a efetiva aplicação do método proposto nesta dissertação (seção 3.4.1) para o cumprimento da etapa 1 da MCC.

Inicialmente, definiram-se as funções principais de cada item listado, seguindo sempre a orientação de Moubray (1997), descrevendo as funções com um verbo, seguido de objeto e de seu padrão de desempenho esperado

pelos usuários. Para a execução desta atividade, é sempre importante recorrer a desenhos e manuais do fabricante, pois a maior parte das informações técnicas mais precisas encontra-se listadas neste tipo de documento.

Na sequência das etapas, partiu-se para a avaliação da severidade para cada sistema/subsistema listado, sendo que cada um dos fatores (Segurança, Meio Ambiente, Impacto no Processo Produtivo e Custo Operacional) foi analisado de forma individual, com base nos detalhes qualitativos apresentados nos quadros da na seção 3.4.2.

Com isso, os valores de cada fator foram preenchidos no quadro 4.1 proposto. Estes valores foram definidos de forma interativa e consensual no time, sendo que o valor da soma total ST é calculado automaticamente, além da própria determinação da criticidade ABC, que também é determinada automaticamente pelo software usado, uma vez que a lógica para esta determinação foi implementada neste sistema.

Quadro 4.1 – Priorização via Multi-fatores dos ativos do Pátio de Sucatas.

 Criticidade e Risco Relativo de Ativos Físicos - Priorização via Multi-fatores												
Etapas de Avaliação →		Fase 1 - Severidade							Fase 2 - Probabilidade			
Descrição do Ativo	Função Principal	SE	MA	T1	IP	CO	T2	ST T1+T2	Criticidade	PF	Risco Relativo	
Garra/ Sistema Hidráulico	Prover pressão hidráulica mínima de 250bar a todos os sistema mecânicos.	20	20	40	4	4	8	48	C	8	384	
Garra/ Braço Articulado	Permitir movimento da garra entre: Min. Vertical=10m e Horiz=9,5m;	20	0	20	6	6	12	32	C	4	128	
Garra/ Sistema de Giro	Permitir o movimento do corpo da máquina entre 0 e 360°.	20	10	30	6	6	12	42	C	6	252	
Garra/ Motor Principal	Prover potência mínima de 230Hp para deslocamento e trabalho com o braço.	20	10	30	8	8	16	46	B	8	368	
Garra/ Sistema de Esteiras	Deslocar a máquina a uma velocidade mínima de 3 e máxima de 5 Km/h.	30	0	30	8	6	14	44	B	4	176	
Tesoura Móvel/ Sistema Hidráulico	Prover pressão hidráulica mínima de 250bar a todos sistema mecânicos.	20	20	40	4	4	8	48	C	8	384	
Tesoura Móvel/ Braço Articulado	Permitir movimento da garra entre: Min. Vertical=6m e Horiz=5,5m;	20	0	20	6	6	12	32	C	4	128	
Tesoura Móvel/ Tesoura Articulada	Efetivar cortes de sucatas com força mínima de 10.000kN e giro de 360°.	30	10	40	8	8	16	56	B	8	448	
Tesoura Móvel/ Sistema de Giro	Permitir o movimento do corpo da máquina entre 0 e 360°.	20	10	30	6	6	12	42	C	6	252	
Tesoura Móvel/ Motor Principal	Prover potência mínima de 210Hp para deslocamento e trabalho com o braço.	20	10	30	8	8	16	46	B	8	368	
Tesoura Móvel/ Sistema de Esteiras	Deslocar a máquina a uma velocidade mínima de 3 e máxima de 5 Km/h.	30	0	30	8	6	14	44	B	4	176	

Continuação do **Quadro 4.1** – Priorização via Multi-fatores dos ativos do pátio de sucatas.

MCC Criticidade e Risco Relativo de Ativos Físicos - Priorização via Multi-fatores											
Etapas de Avaliação →		Fase 1 - Severidade							Fase 2 - Probabilidade		
Descrição do Ativo	Função Principal	SE	MA	T1	IP	CO	T2	ST T1•T2	Criticidade	PF	Risco Relativo
Prensa Tesoura/ Sistema Hidráulico	Prover pressão hidráulica mínima de 150bar a todos os sistema mecânicos.	30	30	60	6	6	12	72	B	8	576
Prensa Tesoura/ Compactação Superior	Compactar sucata: velocidade mínima de 160 mm/s e retorno 450 mm/s.	30	10	40	4	4	8	48	B	6	288
Prensa Tesoura/ Compact. Transversal	Compactar sucata: velocidade mínima de 450mm/s e retorno 700 mm/s.	30	10	40	6	8	14	54	B	6	324
Prensa Tesoura/ Compactação em Linha	Compactar sucata: velocidade mínima de 300 mm/s e retorno 450 mm/s.	30	10	40	6	8	14	54	B	6	324
Prensa Tesoura/ Prensagem Pré-corte	Compactar sucata: velocidade mínima de 800 mm/s e retorno 600 mm/s.	40	10	50	8	6	14	64	A	4	256
Prensa Tesoura/ Sistema de Corte	Cortar sucata: velocidade mínima de 180 mm/s e retorno 300 mm/s.	40	10	50	8	8	16	66	A	6	396
Triturador de Sucatas/ Moinho Principal	Triturar sucatas metálicas: velocidade mínima 950rpm e Potência 900cv	40	10	50	8	10	18	68	A	10	680
Triturador de Sucatas/ Unidade Hidráulica	Prover pressão hidráulica mínima de 180bar e máxima de 300bar;	30	20	50	6	6	12	62	B	8	496
Triturador de Sucatas/ Sist. Despeiramento	Limpar gases de exaustão do moinho com particulado máx. de 10mg/Nm³	20	30	50	4	6	10	60	B	4	240
Triturador de Sucatas/ Transp. de Correia	Transportar sucatas e descartes a uma velocidade mín. 2m/s e max 3m/s	20	10	30	6	4	10	40	C	8	320
Triturador de Sucatas/ Transp. Vibratórios	Transportar sucatas processadas a uma velocidade mín. 2m/s e max. 3m/s	20	10	30	6	6	12	42	C	8	336
Triturador de Sucatas/ Separação Magnética	Limpar a sucata processada a uma velocidade mínima de 15 t/h;	20	10	30	6	6	12	42	C	6	252
Triturador de Sucatas/ Tampa Superior Flipper	Compactar Sucata a força mínima de 50.000Kgf e tempo máximo de 1 seg;	30	10	40	8	8	16	56	B	8	448
Triturador de Sucatas/ Unidade de Lubrificação	Prover óleo de lubrificação com limpeza NAS<6 e pressão mínima de 2bar;	20	20	40	8	6	14	54	B	8	432

Pode-se verificar no quadro 4.1 que cada sistema/subsistema foi classificado como A (Ativo Crítico), B (Ativo Importante) ou C (Ativo Auxiliar), seguindo a metodologia proposta na seção 3.4.2 (FASE 1), onde os significados destas criticidades também foram melhores detalhados. O resultado obtido nesta classificação é apresentado na figura 4.4.

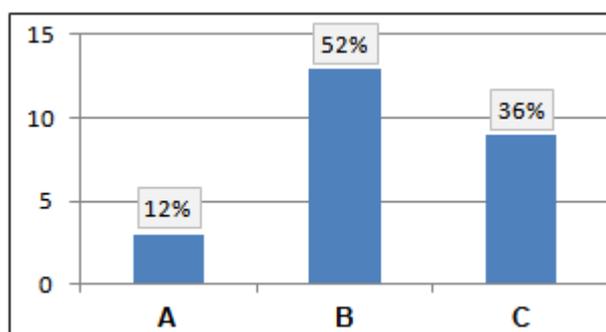


Figura 4.4 – Distribuição ABC obtida com a aplicação do método proposto nos sistemas/subsistemas do Pátio de Sucatas.

De acordo com Ultsch (2002, p.3), existem diferentes regras que definem os percentuais quantitativos entre as classes de criticidade ABC, sendo que tipicamente encontram-se os seguintes valores:

- Classe A: varia entre 5 a 33%;
- Classe B: varia entre 15 a 33%;
- Classe C: varia entre 25 a 50%;

Em comparação destes valores típicos com os resultados da análise realizada (Figura 4.4), a única classe que se encontra acima da faixa recomendada é a classe B (52%). Esta diferença é justificada pelo fato de que os equipamentos do pátio de sucatas possuem sistemas/subsistemas cujas falhas potenciais possuem consequências que normalmente são classificadas como severidade alta.

Uma vez definida a criticidade ABC, inicia-se então o cálculo do risco relativo RR para cada sistema/subsistema, utilizando o método proposto na seção 3.4.2 (FASE 2). Nesta etapa, cada item listado foi avaliado quanto a sua probabilidade de falha PF, considerando informações obtidas junto ao fabricante do equipamento e banco de dados de falhas interno da empresa, além da experiência e conhecimento técnico dos participantes do time de análise. Com isso, multiplicou-se o valor da severidade total ST pela probabilidade de falhas PF obtendo-se assim o risco relativo RR para cada sistema/subsistema analisado.

De posse destas informações, podem-se identificar aqueles sistemas/subsistemas que devem ser considerados prioritários para aplicação da MCC, através da ordenação da lista obtida considerando o risco relativo RR, sempre do maior para o menor.

No quadro 4.2 são apresentados todos os ativos analisados para o Pátio de Sucatas, em ordem decrescente em relação ao risco relativo RR calculado, usando o método proposto de “Priorização via Multi-Fatores”. A coluna “Prioridade” (coluna da direita no quadro 4.2) apresenta a prioridade de cada ativo para aplicação da MCC.

Quadro 4.2 – Ordem decrescente dos ativos em relação ao risco relativo RR obtido no método proposto de “Priorização via Multi-fatores”.

MCC Criticidade e Risco Relativo de Ativos Físicos - Priorização via Multi-fatores													Prioridade
Etapas de Avaliação →		Fase 1 - Severidade							Fase 2- Probabilidade				
Descrição do Ativo	Função Principal	SE	MA	T1	IP	CO	T2	ST T1-T2	Criticidade	PF	Risco Relativo		
Triturador de Sucatas/ Moinho Principal	Triturar sucatas metálicas: velocidade mínima 950rpm e Potência 900cv	40	10	50	8	10	18	68	A	10	680	1º	
Prensa Tesoura/ Sistema Hidráulico	Prover pressão hidráulica mínima de 150bar a todos os sist. mecânicos.	30	30	60	6	6	12	72	B	8	576	2º	
Triturador de Sucatas/ Unidade Hidráulica	Prover pressão hidráulica mínima de 180bar e máxima de 300bar;	30	20	50	6	6	12	62	B	8	496	3º	
Tesoura Móvel/ Tesoura Articulada	Efetivar cortes de sucatas com força mínima de 10.000kN e giro de 360º.	30	10	40	8	8	16	56	B	8	448	4º	
Triturador de Sucatas/ Tampa Superior Flipper	Compactar Sucata a força mínima de 50.000Kgf e tempo máximo de 1 seg;	30	10	40	8	8	16	56	B	8	448	5º	
Triturador de Sucatas/ Unidade Lubrificação	Prover óleo de lubrificação com limpeza NAS<6 e pressão mínima de 2bar;	20	20	40	8	6	14	54	B	8	432	6º	
Prensa Tesoura/ Sistema de Corte	Cortar sucata: velocidade mínima de 180 mm/s e retorno 300 mm/s.	40	10	50	8	8	16	66	A	6	396	7º	
Garra/ Sistema Hidráulico	Prover pressão hidráulica mínima de 250bar a todos os sist. mecânicos.	20	20	40	4	4	8	48	C	8	384	8º	
Tesoura Móvel/ Sistema Hidráulico	Prover pressão hidráulica mínima de 250bar a todos os sist. mecânicos.	20	20	40	4	4	8	48	C	8	384	9º	
Garra/ Motor Principal	Prover potência mínima de 230Hp para deslocamento e trabalho com o braço.	20	10	30	8	8	16	46	B	8	368	10º	
Tesoura Móvel/ Motor Principal	Prover potência mínima de 210Hp para deslocamento e trabalho com o braço.	20	10	30	8	8	16	46	B	8	368	11º	
Triturador de Sucatas/ Transp. Vibratórios	Transportar sucatas processadas a velocidade mín. 2m/s e max. 3m/s	20	10	30	6	6	12	42	C	8	336	12º	
Prensa Tesoura/ Compactação	Compactar sucata: velocidade mínima de 450mm/s e retorno 700 mm/s.	30	10	40	6	8	14	54	B	6	324	13º	
Prensa Tesoura/ Compactação em Linha	Compactar sucata: velocidade mínima de 300 mm/s e retorno 450 mm/s.	30	10	40	6	8	14	54	B	6	324	14º	
Triturador de Sucatas/ Transp. de Correia	Transportar sucatas e descartes a velocidade mín. 2m/s e max 3m/s	20	10	30	6	4	10	40	C	8	320	15º	
Prensa Tesoura/ Compactação Superior	Compactar sucata: velocidade mínima de 160 mm/s e retorno 450 mm/s.	30	10	40	4	4	8	48	B	6	288	16º	
Prensa Tesoura/ Prensagem Pré-corte	Compactar sucata: velocidade mínima de 800 mm/s e retorno 600 mm/s.	40	10	50	8	6	14	64	A	4	256	17º	
Garra/ Sistema de Giro	Permitir o movimento do corpo da máquina entre 0 e 360º.	20	10	30	6	6	12	42	C	6	252	18º	
Tesoura Móvel/ Sistema de Giro	Permitir o movimento do corpo da máquina entre 0 e 360º.	20	10	30	6	6	12	42	C	6	252	19º	
Triturador de Sucatas/ Separação Magnética	Limpar a sucata processada a uma velocidade mínima de 15 t/h;	20	10	30	6	6	12	42	C	6	252	20º	
Triturador de Sucatas/ Sist. Despoeiramento	Limpar os gases de exaustão moinho com particulado máx de 10mg/Nm³	20	30	50	4	6	10	60	B	4	240	21º	
Garra/ Sistema de Esteiras	Deslocar a máquina a uma velocidade mínima de 3 e máxima de 5 Km/h.	30	0	30	8	6	14	44	B	4	176	22º	
Tesoura Móvel/ Sistema de Esteiras	Deslocar a máquina a uma velocidade mínima de 3 e máxima de 5 Km/h.	30	0	30	8	6	14	44	B	4	176	23º	
Garra/ Braço Articulado	Permitir movimento da garra entre: Min. Vertical=10m e Horiz=9,5m;	20	0	20	6	6	12	32	C	4	128	24º	
Tesoura Móvel/ Braço Articulado	Permitir movimento da garra entre: Min. Vertical=6m e Horiz=5,5m;	20	0	20	6	6	12	32	C	4	128	25º	

O ativo físico a ser escolhido para a aplicação da MCC deve ser: “Triturador de Sucatas/Moinho Principal”, pois é o primeiro da lista apresentada no quadro 4.2, possuindo o maior Risco Relativo RR calculado.

4.4.4 Aplicação do Método proposto para a “Etapa 6” – Método “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”

Após a definição do ativo crítico para aplicação da MCC, inicia-se a aplicação do método proposto na seção 3.4.3 (Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção) para a determinação das estratégias de manutenção a serem adotadas no ativo em questão. Para isso, deve-se inicialmente realizar um estudo FMECA neste ativo seguindo-se as fases/passos descritos a seguir, e na sequência (Fase 3) aplica-se o método proposto, buscando a sua avaliação quanto aos objetivos estabelecidos no início deste estudo.

FASE 1. Identificação e caracterização do ativo: nesta fase, aplica-se o método proposto na seção 3.4.4, que compreende basicamente a aplicação da metodologia FMECA, onde cada componente do Triturador de Sucatas/Moinho Principal é analisado seguindo os cinco passos descritos a seguir e em detalhes na seção mencionada:

Passo 1.1 Decomposição do ativo em componentes;

Passo 1.2 Definição das funções principais de cada componente;

Passo 1.3 Levantamento dos modos de falha;

Passo 1.4 Determinação dos efeitos de cada modo de falha;

Passo 1.5 Determinação das causas das falhas;

FASE 2. Determinação do RPN – Risk Priority Number (Número de Prioridade de Risco): Finalizando-se a fase 1, inicia-se a determinação dos fatores de Probabilidade de Falha (PF), utilizando o quadro 3.8, e Detectabilidade (DT), utilizando o quadro 3.11, ambos apresentados na seção 3.4.4, sendo que o RPN é calculado para cada componente através de uma multiplicação simples destes dois fatores.

FASE 3. Definição das estratégias de manutenção para cada componente: nesta fase, aplica-se propriamente o método “Diagrama

Criticidade x Estratégias de Manutenção” proposto nesta pesquisa, para determinação das estratégias de manutenção e as devidas ações a serem tomadas para a manutenção do ativo e aumento de sua confiabilidade. Para o ativo Triturador de Sucatas/Moinho Principal, utiliza-se o diagrama proposto no quadro 3.12, pois se trata de um ativo classificado como criticidade A.

Com a finalização destas três fases e usando-se o quadro 3.10 proposto na seção 3.4.4, obtêm-se a planilha geral de todo o ativo analisado, sendo que o resultado deste estudo é apresentado no **Apêndice A** desta dissertação.

Ao se avaliar este apêndice, especialmente quanto aos resultados da fase 3, onde se define o Plano de Manutenção propriamente dito, pode-se afirmar:

- Dos 36 modos de falha analisados, 15 tiveram uma ação de manutenção do tipo MBC (Manutenção Baseada na Condição), correspondendo a 41% do total. A frequência, o número de técnicos necessários e a duração destas ações de manutenção foram definidos baseando-se na experiência dos especialistas participantes do time de aplicação.

- Dos 36 modos de falha analisados, 13 tiveram uma ação de manutenção do tipo MBT (Manutenção Baseada no Tempo), correspondendo a 36% do total.

- Dos 36 modos de falha analisados, 8 tiveram uma ação de manutenção do tipo RP (Reprojeto), correspondendo a 22% do total.

Este plano de manutenção obtido para o Triturador de Sucatas/Moinho Principal, quando analisado por especialistas de manutenção consultados, foi considerado adequado, pois engloba ações de manutenção típicas para ativos deste tipo, usados em indústrias siderúrgicas. Além disso, este plano de manutenção foi comparado considerando-se aos percentuais recomendados por Smith e Mobley (2008), conforme ilustrado no quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Comparação do plano de manutenção obtido pelo método proposto com as recomendações de Smith e Mobley (2008).

Estratégia de Manutenção	Smith e Mobley (2008)	Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção
MBC - Manutenção Baseada na Condição	40 a 60%	41%
MBT - Manutenção Baseada no Tempo	20 a 30%	36%
RP - Reprojeto	2 a 10%	22%

Fonte: adaptado de Smith e Mobley (2008).

O elevado percentual (22%) de ações do tipo RP (Reprojeto) é justificável pelo fato do ativo analisado ser recém-adquirido pela empresa e necessitar inúmeras melhorias e adequações, principalmente relacionadas à aspectos de segurança.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme mencionado no capítulo 1 desta dissertação, o atual ambiente competitivo que exige das empresas uma produção com qualidade, baixo custo e maior capacidade de resposta, tem afetado significativamente o processo manutenção de empresas de todos os ramos industriais, levando a uma constante busca de novas metodologias de gestão que tragam resultados superiores para este processo.

Alinhado a isso, desenvolveu-se este trabalho, que propôs a introdução de novos métodos para as etapas 1 e 6 do processo de implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), buscando tornar esta metodologia de gestão mais simples e prática, com foco na sua utilização em empresas do ramo siderúrgico. Para o alcance de tal objetivo, este trabalho apresentou algumas contribuições do ponto de vista teórico e prático.

Considerando o ponto de vista teórico, o capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, onde vários autores foram consultados. Inicialmente, apresentou-se um apanhado geral sobre o processo Manutenção, englobando definições, histórico e evolução, além da descrição da importância do processo manutenção para empresas de todos os ramos industriais. Também, apresentou-se uma definição dos tipos de manutenção, focando nas vantagens e desvantagens de cada um.

O segundo tópico abordado neste mesmo capítulo 2 foi a MCC. Referente a este assunto, a revisão bibliográfica procurou elucidar as etapas principais de implementação da MCC, encontradas nas referências bibliográficas pesquisadas, para que este trabalho também possa ser utilizado como guia para futuras implementações. Criou-se, desta forma, uma gama de informações teóricas, planilhas, quadros e diagramas que possam auxiliar qualquer analista no entendimento e utilização da MCC, sendo que os principais autores pesquisados para a elaboração do presente trabalho de dissertação foram Moubray (1997), que apresenta aspectos teóricos tradicionais da MCC, e Campbell, Jardine e McGlynn (2011), que alinha a MCC com conceitos mais atuais e modernos de gestão da manutenção. Além disso, apresentou-se um quadro comparativo das etapas de implementação da MCC definidas por diferentes autores que tratam deste assunto, o que contribuiu

para a escolha da melhor metodologia a ser utilizada como base para o desenvolvimento deste projeto.

De posse de todos os dados e informações obtidas na revisão bibliográfica, iniciou-se a elaboração dos métodos propostos à MCC, apresentados no capítulo 3. Neste capítulo, buscou-se detalhar as deficiências encontradas na metodologia tradicional de MCC para sua aplicação prática em indústrias, principalmente do ramo siderúrgico. Vários autores que também criticam a MCC quanto as etapas 1 e 6 foram utilizados como referência para contextualizar os métodos propostos focados nestas duas etapas.

Com isso, iniciou-se a apresentação dos métodos propostos para sanar as deficiências apontadas, através dos detalhamentos do “Método de priorização via Multi-fatores”, proposto com foco na etapa 1 da MCC e do “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”, proposto com foco na etapa 6. Estes detalhamentos foram o principal guia utilizado na aplicação prática da MCC, sendo que se mostraram totalmente adequados para que também possam ser utilizados em outros projetos de implementação da MCC, uma vez que todas as etapas ou ações foram descritas de forma a facilitar o entendimento de futuros profissionais que venham a utilizar este trabalho como referência.

Dando continuidade ao projeto desta dissertação, partiu-se para a aplicação prática da metodologia MCC com os métodos propostos incorporados em um equipamento utilizado no processo produtivo de uma empresa siderúrgica. Nesta etapa, também se constatou que a MCC é um importante processo de documentação, análise de falhas e definição das tarefas de manutenção, estabelecendo ações pró-ativas para cada uma das causas de falha listadas.

Verificou-se também que o processo de implementação da MCC requer a análise de uma grande quantidade de dados, sendo que o uso do método proposto para a etapa 1 contribui muito para definir-se prioridades e escolher somente aqueles ativos que sejam realmente críticos para o processo.

Considerando a etapa 6 da implementação, que corresponde à definição das estratégias de manutenção, o método proposto “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção” foi avaliado, sendo que mostrou-se totalmente adequado, uma vez que alinha a análise de criticidade do ativo com o processo de definição das tarefas de manutenção, levando ativos de criticidades A, B ou

C a terem tratamentos diferentes quanto as estratégias de manutenção a serem adotadas. Além disso, a equipe participante do estudo levou em média 25% menos tempo, comparativamente a MCC tradicional, para definir as estratégias e ações de manutenção para cada componente listado do ativo analisado no estudo de caso.

5.1 Conclusões

A conclusão desta dissertação será apresentada em termos de aspectos positivos e negativos identificados durante as etapas de elaboração e aplicação deste projeto.

Considerando os aspectos positivos, constatou-se na aplicação prática da MCC na referida empresa siderúrgica que esta metodologia contribui para uma melhora do desempenho operacional, da segurança e da proteção ao meio ambiente, pois se verificou, nas auditorias internas realizadas pelas equipes de segurança e meio ambiente, que os índices definidos para o ativo estudado melhoraram em média 30% após a implantação das melhorias identificadas na MCC. Além disso, constatou-se também uma melhora da motivação da equipe de manutenção e operação, pois houve um aumento do conhecimento técnico da equipe acerca do ativo analisado e também criou-se um banco de dados importante para o registro das informações que podem conduzir a melhorias específicas no ativo alvo da implementação da MCC. Considerando-se os dois métodos propostos para as etapas 1 e 6, constatou-se que ambos foram plenamente assimilados pela equipe de implantação e sua utilização foi considerada fácil por todos os participantes do estudo. O “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção” proposto para a etapa 6 mostrou-se adequado para a definição das estratégias de manutenção, pois todo o plano de manutenção para o moinho principal do triturador de sucatas foi definido utilizando-se este diagrama proposto, dispensando-se em média 25% menos tempo nesta etapa, além de que os resultados obtidos foram considerados de boa qualidade quando analisado por especialistas na área de manutenção da empresa em questão. Além disso, as estratégias de manutenção definidas pelo método proposto foram comparadas com as recomendações de Smith e Mobley (2008), conforme apresentado anteriormente no quadro 4.3,

verificando-se que se encontram dentro das faixas recomendadas, com exceção da estratégia RP (Reprojeto) que ficou acima do percentual recomendado devido às necessárias adequações do ativo às políticas de segurança da empresa.

No lado negativo, durante a aplicação da MCC, nesta mesma etapa 6, devido à falta de informações históricas sobre falhas no ativo analisado, o processo de definição das periodicidades das tarefas de manutenção foi realizado com bastante dificuldade, sendo executado puramente através da opinião dos especialistas da equipe participante, sem utilização de nenhum tipo de cálculo estatístico. Outra questão que prejudicou o desenvolvimento pleno deste trabalho foi o fato de que o ativo escolhido para aplicação da metodologia não possuía nenhum tipo de plano de manutenção previamente estabelecido, o que inviabilizou a realização de comparações entre um plano pré-existente e o plano de manutenção obtido com a aplicação da MCC proposta. Além disso, é importante frisar também que projetos de implementação da MCC devem ser sempre voltados para a obtenção de resultados de longo prazo.

Concluindo este trabalho, em relação aos objetivos específicos traçados no início, pode-se dizer que:

- O primeiro e segundo objetivos específicos listados como a apresentação de conceitos, métodos e tarefas de manutenção voltados para a MCC, além de ampliar a bibliografia disponível sobre MCC, foram totalmente atingidos, uma vez que o capítulo da revisão bibliográfica e a própria apresentação das melhorias propostas constituem-se de uma importante fonte de consulta para que outros pesquisadores e profissionais envolvidos com a gestão da manutenção industrial possam ampliar os conhecimentos em relação a conceituações e com a própria metodologia para implementar a MCC, já com os métodos propostos incorporados.

- Em relação ao terceiro objetivo específico definido, que foi avaliar a implementação da MCC com os métodos propostos, em uma empresa siderúrgica, verifica-se que também foi plenamente atingido, pois a metodologia proposta foi aplicada em um ativo utilizado em uma multinacional do ramo siderúrgico, sendo que todo o plano de manutenção deste ativo, contendo todas as ações de rotina, preventivas, periódicas e preditivas, além de

inúmeras necessidades de melhoria do projeto inicial do ativo, foram estabelecidas usando o processo definido neste trabalho. Percebeu-se também que a atitude das equipes de manutenção e operação passou a ser mais no sentido de preservar as funções dos itens físicos ao invés do próprio item físico.

Portanto, considerando o acima exposto e o desenvolvimento do trabalho apresentado nos capítulos anteriores, pode-se afirmar que o objetivo geral proposto foi atingido: Propor a avaliar um modelo de referência para a MCC, com a introdução de novos métodos para as etapas de seleção dos itens físicos críticos e para a aplicação do diagrama de decisão, buscando sua melhor adequação à gestão da manutenção em empresas do ramo siderúrgico.

5.2 Atividades Futuras de Pesquisa

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

- Aplicação dos métodos propostos em outro ativo do ambiente siderúrgico, para validação da adequação destes métodos a este ramo industrial.
- Aplicação do método proposto em um ativo que já tenha um plano de manutenção estabelecido, para permitir comparações entre o plano de manutenção existente e o novo obtido após a aplicação destes métodos;
- Desenvolvimento de análise de custos de manutenção para determinar a eficácia da aplicação da MCC com os métodos propostos;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção. **A situação da Manutenção no Brasil**. In: 26º CONGRESSO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO, 2011. Curitiba. Documento Nacional, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994. 37p.

BRANCO FILHO, Gil. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Editora, 2006, 290p.

BRAND, *et al.* Avaliação da Metodologia FMEA como Ferramenta para Reduzir Impactos Ambientais no Processo Manutenção Industrial. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. Santa Maria: Reget UFSM, e-ISSN 2236-1170, 2013, p.2081-2090.

BOBSIN, Marco Aurélio. **Gestão de Segurança, Meio Ambiente e Saúde: Proposta de estrutura de sistema e metodologia de avaliação de desempenho**. Niterói: UFF, 2005. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão), Curso de Pós-Graduação. Universidade Federal Fluminense, 2005.

CAMPBELL, John; JARDINE, Andrew; McGLYNN, Joel. **Asset Management Excellence – Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions**. Boca Raton: CRC Press, 2011, 474p.

CARMO, Breno B. T.; ALBERTIN, Marcos R.; COELHO, Francisco J. **Proposta de integração de ferramentas em um sistema de gestão**. In: III SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2006. Rio de Janeiro. Anais do Congresso.

CHAGAS, Anivaldo T. **O Questionário na Pesquisa Científica**. Disponível em < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABjbAAD/questionario-na-pesquisa-cientifica> > Acesso em 12 de outubro de 2012.

CHENG, Z.T., *et al.* A framework for Intelligent Reliability Centered Maintenance Analysis. **Journal of Reliability Engineering & System Safety**. London: Elsevier, ISSN 0951-8320, Vol. 93, n. 6, 2008, p.806-815.

DE SOUZA, Fabio Januário. **Melhoria do pilar “Manutenção Planejada” da TPM através da utilização do RCM para nortear as estratégias de manutenção**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

DEGHANIAN, P.; FOTUHI-FIRUZABAD, M.; KAZEMI, A. R. **An Approach on Critical Component Identification in Reliability Centered Maintenance of Power Distribution Systems based on Analytical Hierarchical Process**. 21st International Conference on Electricity Distribution. 2011, Frankfurt, Anais do Congresso.

FALCONI, Vicente. **O verdadeiro Poder**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2009, 158p.

FERNANDES, José Márcio Ramos. **Proposição de abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA**. Curitiba: PUC-PR, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2005.

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

FILIPE, Filipe Manuel C. **Gestão e Organização da Manutenção, de equipamento de conservação e manutenção de infra-estrutura**. Porto: FEUP, 2006. Dissertação (Mestrado em Manutenção Industrial), Curso de Pós-Graduação ISEL. Universidade do Porto – Faculdade de Engenharia, 2006.

FOGLIATTO, Flávio S.; RIBEIRO, José Luis D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2011, 265p.

JASINSKI, Arnaldo; REGIS JUNIOR, Oscar. **Modelo de Planejamento da Manutenção**. Disponível em < <http://www.klabin.com.br/upload/file/2421A.pdf>> Acesso em 10 de Setembro de 2012.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2011, 341p.

KENOL, Joseph E. **Failure Mode and Effect Analysis (FMEA): The Basics of FMEA**. Disponível em < www.fmeainfocentre.com> Acesso em 14 de setembro de 2012.

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

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

MOBLEY, Keith R. **Maintenance Fundamentals**. Burlington: Elsevier Inc., 2004, 418p.

MOUBRAY, John. **RCM II – Reliability-Centered Maintenance**. New York: Industrial Press Inc, 1997, 426p.

NASA – NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **RCM Guide: Reliability Centered Maintenance Guide - 2008**. Disponível em <<http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/>> Acesso em 15 de Agosto de 2012.

OLIVEIRA, O. *et al.* **Gestão da Qualidade: Tópicos Avançados**. New York: Thomson, 2006, 250p.

PAIM, R. *et al.* **Gestão de Processos: Pensar, Agir e Aprender**. New York: Bookman, 2009, 328p.

PALMER, Richard D. **Maintenance Planning and Scheduling Handbook**. New York: McGraw-Hill, 2006, 821p.

PETROBRAS. **Noções de Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Disponível em <http://www.tecnicodepetroleo.ufpr.br/apostilas/petrobras/confiabilidade_e_manutencao.pdf> Acesso em 16 de novembro de 2012.

RAMLI, R.; ARFFIN, M.N. A Reliability Centered Maintenance in Schedule Improvement of Automotive Assembly Industry. **American Journal of Applied Sciences**. London: Science Publications, ISSN 1546-9239, 2012, p.1232-1236.

RAPOSO, José Luis Oliveira. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a Sistemas Elétricos: Uma proposta para uso de Análise de Risco no Diagrama de Decisão**. Salvador: UFBA, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal da Bahia, 2004.

_____. **Reliability Basics – Reliability Hot Wire**. Fevereiro, 2007. Disponível em <www.weibull.com/hotwire/issue72/index.htm> Acesso em 03 de agosto de 2013

RODRIGUES, William Costa. **Metodologia Científica**. In: FAETEC/IST, 2007. v. 1, Paracambi. Anais do Congresso.

SELVIK, J.T.; AVEN, T. A framework for Reliability and Risk Centered Maintenance. **Journal of Reliability Engineering & System Safety**. London: Elsevier, Vol. 96, n. 2, 2011, p.324-331.

SMITH, Anthony M.; HINCHELIFFE, Glenn R. **RCM: Gateway to World Class Maintenance**. Burlington: Elsevier, 2004, 337p.

SMITH, R.; MOBLEY, R. K. **Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers**. Burlington, Elsevier Editora, 2008, 320p.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **SAE-J1739: Potential Failure Code and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA)**. Warrendale, 2002.

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

TOLEDO, José C; AMARAL, Daniel C. **FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha**. Disponível em < www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf> Acesso em 22 de outubro de 2012.

ULTSCH, Alfred. **Proof of Pareto's 80/20 Law and Precise Limits for ABC-Analysis**. In: Technical Report, 2002. DataBionics Research Group. University of Marburg.

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.

XAVIER, Julio Nascif. **Manutenção Classe Mundial**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 1998. v. 1, Salvador. Anais do Congresso.

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.

APÊNDICE

Apêndice A

Resultado da aplicação da metodologia FMECA e do método proposto nesta dissertação (“Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”) para o ativo de Criticidade A: Triturador de Sucatas/Moinho Principal.

 FMECA - Failure Mode, Effect and Criticality Analysis - Análise Crítica dos Modos de Falhas e seus Efeitos													
Ativo:	Triturador de Sucatas	Sistema:	Moinho Principal - Componentes Mecânicos			Função Principal:	Triturar sucatas metálicas: vel. mínima 950rpm e potência 900cv						
Responsável:	FAB	Equipe Responsável:	DN, AO, EM, VN			Criticidade: A		Período:			MM/AA - MM/AA		
Etapa 1						Etapa 2			Etapa 3				
Componente	Função Principal	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causas Potenciais da Falha	PF	DT	RPN	Ação Escolhida		Freq.	Técnico Resp.	Nr Tec	Dur (h)
Cilindro Empurrador de Sucata	Empurrar a sucata até o moinho, com velocidade indicada pelo ciclo selecionado e força min de 2.000 kN	Passagem Interna de óleo	Cilindro perde força ou não movimenta. Substituição <u>não-planejada</u> = 24h de <u>interrupção</u> de produção.	Elevado nível de sugidades no óleo hidráulico	4	2	8	MBT	Coleta de amostras do óleo hidráulico para avaliação do NAS	3m	Preditiva	1	0,5
		Vazamento de óleo pela haste do cilindro	Cilindro perde força ou não movimenta. Impacto ambiental. Substituição <u>planejada</u> = 12h / <u>sem</u> interrupção de produção.	Desgaste excessivo das vedações da haste.	6	1	6	MBT	Substituição programada do filtro do óleo hidráulico.	1m	Mecânico	1	1
				Desalinhamento da haste do cilindro.				MBC	Inspeção visual do desgaste das vedações da haste e alinhamento.	1m	Mecânico	1	1
		Quebra do Haste/Olhal	Sucata não é empurrada para trituração. Subst. <u>Não-Planej</u> =24h	Desgaste excessivo do olhal inferior do cilindro.	6	2	12	MBC	Inspeção visual do olhal inferior do cilindro empurrador.	1m	Mecânico	1	0,5
Conjunto de Cilindros de abertura da Grelha.	Efetuar a abertura e fechamento da grelha para manutenções e limpezas.	Passagem Interna de óleo	Cilindro perde força ou não movimenta. Substituição <u>planejada</u> = 8h/ <u>sem</u> interrupção de produção.	Elevado nível de sugidades no óleo hidráulico	2	2	4	MBT	Coleta de amostras do óleo hidráulico para avaliação do NAS	3m	Preditiva	1	0,5
		Vazamento de óleo pela haste do cilindro	Cilindro perde força ou não movimenta. Impacto ambiental.	Desgaste excessivo das vedações da haste.	4	1	4	MBC	Inspeção visual do desgaste das vedações da haste e alinhamento.	3m	Mecânico	1	0,5
				Desalinhamento da haste do cilindro.									
Quebra do Haste/Olhal	Não movimenta a grelha.	Desalinhamento do olhal frontal.	8	2	16	RP	Reprojeto: evitar o desalinhamento do conjunto e possível quebra do olhal	NA	Dep. Engenharia	NA	NA		
Rotor Principal do Moinho	Girar conforme velocidade provida pelo motor, mantendo os martelos em posição de corte em velocidades acima de 300rpm.	Desgaste excessivo de forma desuniforme	Vibração excessiva em regime normal de trabalho.	Falha na execução de procedimento para preenchimento com solda.	10	2	20	RP	Reprojeto: adquirir equipamento para efetivar enchimento de solda de forma uniforme garantindo o balanceamento.	NA	Dep. Engenharia	NA	NA
		Quebra do Rotor	Parada completa da trituração de sucata.	Propagação de trincas de fadiga.	2	2	4	MBC	Inspeção visual para detecção de trincas no rotor.	1s	Mecânico	1	1

Componente	Função Principal	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causas Potenciais da Falha	PF	DT	RPN	Ação Escolhida		Freq.	Técnico Resp.	Nr Tec	Dur (h)
Mancal LA (Lado Acoplado) e Mancal LOA (Lado Oposto Acoplado) do Rotor Principal	Minimizar a fricção entre as partes girantes e suportar a carga radial de 8t referente ao rotor	Sobreaquecimento dos rolamentos e acionamento do sensor de temperatura.	Parada do moinho por acionamento do sensor de temperatura do rolamento.	Falha na lubrificação do rolamento.	8	2	16	RP	Reprojeto: Instalar sistema redundante de lubrificação dos mancais.	NA	Dep. Engenharia	NA	NA
				Elevado nível de sujidades no óleo lubrificante.				RP	Reprojeto: Realocar central de lubrificação para sala c/ vedação ativa.	NA	Dep. Engenharia	NA	NA
		Vazamento de óleo lubrificante no mancal	Parada do moinho: risco de incêndio. Impacto ambiental	Falha no retentor de vedação do mancal.	6	2	12	MBT	Substituição programada dos retentores dos mancais.	1a	Mecânico	2	16
		Vibração e ruído excessivo no Mancal	Parada do moinho: falha de leitura no sensor de rotação.	Afrouxamento dos parafusos de fixação dos mancais.	8	1	8	MBC	Inspeção do torque dos parafusos dos mancais.	1s	Mecânico	2	8
		Cisalhamento do estriado no eixo.	Não transmissão do torque do motor para o rotor. Rotor parado.	Falha na lubrificação no estriado do cardan.	2	2	4	MBT	Efetivar lubrificação do estriado do eixo cardan.	1m	Mecânico	1	0,5
Eixo Cardan Principal	Garantir transmissão de um torque mínimo de 5500 Nm com um desalinhamento máximo de 5mm	Quebra do rolamento da junta universal.	Ruído e vibração elevados. Rotor parado por falha na leitura da rotação RPM.	Falha na lubrificação nos rolamentos da junta universal.	2	2	4	MBT	Efetivar lubrificação dos rolamentos da junta universal do eixo cardan.	1m	Mecânico	1	0,5
		Cisalhamento dos parafusos da flange	Não transmissão do torque do motor para o rotor. Rotor parado.	Afrouxamento dos parafusos causando impactos anormais e quebra.	4	1	4	MBC	Inspeccionar torque dos parafusos das flanges do cardan	2s	Mecânico	2	2
		Rompimento do plug de enchimento.	Vazamento do óleo da embreagem e consequente parada na transmissão do torque - parada do rotor..	Sobreaquecimento do óleo devido a volume total de óleo incorreto.	8	2	16	RP	Reprojeto: Desenvolver dispositivo para garantir enchimento do volume correto.	NA	Dep. Engenharia	NA	NA
Vazamento de óleo pelas juntas.	Falha nas vedações das juntas: ressecamento ou folga nos parafusos.	6		2	12	MBT	Substituição programada das vedações/anéis "O" das flanges da embreagem.	1a	Mecânico	4	8		
Acoplamento/Embreagem Hidráulica	Reduzir o torque inicial de start do motor para um máximo de 3000Nm, sendo o mínimo torque transmitido em regime normal de 5500 Nm.	Vazamento de óleo pelo corpo principal.	Trincas na corpo principal da embreagem.	Inspeção programada do corpo da embreagem quando a trincas.	4	2	8	MBC	Inspeção programada do corpo da embreagem quando a trincas.	1s	Mecânico	1	1
		Cisalhamento dos parafusos da flange		Não transmissão do torque do motor para o rotor. Rotor parado.	Afrouxamento dos parafusos causando impactos anormais e quebra.	4	1	4	MBC	Inspeção do torque dos parafusos das flanges da embreagem.	1m	Mecânico	2

Componente	Função Principal	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causas Potenciais da Falha	PF	DT	RPN	Ação Escolhida		Freq.	Técnico Resp.	Nr Tec	Dur (h)
Acoplamento/Luva Eixo principal	Garantir transmissão de um torque mínimo de 5500 Nm.	Cisalhamento dos parafusos da flange	Não transmissão do torque do motor para o rotor. Rotor parado.	Afrouxamento dos parafusos causando impactos anormais e quebra.	4	1	4	MBC	Inspeção do torque dos parafusos das flanges do acoplamento/luva..	2m	Mecânico	2	4
Martelos	Efetivar a fragmentação da sucata a um ritmo mínimo de 10 t/h sem sobreaquecimento do rotor.	Triturar a sucata a um ritmo inferior a 10t/h.	Parada do rotor para substituição dos martelos.	Desgaste excessivo dos martelos.	10	1	10	MBC	Inspeção visual do desgaste dos martelos.	1s	Mecânico	1	2
		Sobreaquecimento rotor devido a atrito excessivo.			10	1	10						
Eixo dos Martelos	Manter martelos em posição de corte durante operação normal, sem giros no alojamento.	Martelos não mantêm-se em posição de corte na operação.	Não trituração da sucata e sobreaquecimento do rotor.	Desgaste excessivo do eixo na posição de assentamento dos martelos.	4	1	4	MBC	Inspeção visual do desgaste dos eixos dos martelos e substituição conforme necessidade.	1m	Mecânico	2	4
Grelha Frontal	Permitir a passagem de sucatas com tamanhos máximos de 200 mm;	Passagem de sucatas de tamanhos superiores a 200 mm	Sucata triturada com tamanhos superiores a especificação.	Desgaste excessivo dos furos da grelha.	2	1	2	MBT	Substituição programada da grelha frontal principal	2a	Mecânico	6	32
Conjunto Pino e Parafuso de fixação da Grelha	Fixar a grelha na posição de assentamento durante operação normal e permitir a sua abertura durante manutenções.	Desalinhamento da grelha - fora da posição.	Acumulo de sucata triturada e redução do ritmo de produção.	Afrouxamento do parafuso de fixação do pino superior.	8	2	16	RP	Reprojeto: Fazer estudo técnico para construir novo sistema de fixação superior da grelha.	NA	Dep. Engenharia	NA	NA
		Não abertura da grelha para manutenção/limpeza	Impossibilidade de limpeza frontal da grelha.		8	2	16						
Conjunto Chapas de Desgaste Internas + parafusos.	Proteger a estrutura do moinho contra desgaste ou impactos.	Queda da chapa sobre o rotor.	Não trituração da sucata e sobreaquecimento do rotor.	Folga dos parafusos de fixação das chapas de desgaste.	8	1	8	MBC	Inspeção do torque: parafusos de fixação das chapas desgaste;	1d	Mecânico	1	1
		Queda de fragmentos das chapas de desgaste sobre rotor.		Trincas ou desgaste excessivo nas chapas de desgaste.	6	2	12	MBT	Substituição programada do conjunto de chapas de desgaste internas.	1a	Mecânico	4	24
Bigorna	Fornecer suporte para a sucata durante o processo de corte.	Lentidão no processo de corte da sucata.	Ritmo de corte de sucata abaixo de 10 t/h;	Desgaste excessivo na aresta superior da bigorna.	4	1	4	MBC	Inspeção dimensional da bigorna para programar substituição.	6m	Mecânico	2	4
Estrutura principal do moinho	Manter o conjunto Motor x Rotor em posição de alinhamento, suportando vibrações e temperaturas de operação.	Vibração excessiva no conjunto Motor x rotor.	Ruído e vibração elevados. Rotor parado por falha na leitura da rotação RPM.	Trincas ou afrouxamentos de parafusos estruturais.	4	1	4	MBC	Inspeção visual da estrutura quanto a trincas e parafusos folgados.	1m	Mecânico	1	4