

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS DE CURITIBA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA
ÊNFASE ELETROTÉCNICA**

VIVIAN MAFRA

**MÉTODO MULTICRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DO SISTEMA MAIS ADEQUADO
PARA IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE**

**CURITIBA
2012**

VIVIAN MAFRA

**MÉTODO MULTICRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DO SISTEMA MAIS ADEQUADO
PARA IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Industrial Elétrica - ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Orientador: Prof. Emerson Rigoni, Dr.

CURITIBA

2012

VIVIAN MAFRA

Método multicritérios para definição do sistema mais adequado para implantação da manutenção centrada na confiabilidade

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 04 de outubro de 2012.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso de
Engenharia Elétrica

Prof. Marcelo de Oliveira Rosa, Dr.
Coordenador dos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Emerson Rigoni, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Carlos Henrique Mariano, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Emerson Rigoni, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcelo Rodrigues, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica.

AGRADECIMENTOS

O sucesso não se limita a uma única conquista, mas sim a sequência de pequenas vitórias. Aqui é alcançada mais uma dessas vitórias, a qual agradeço especialmente à minha mãe por todo apoio e compreensão na realização dessa árdua tarefa. Também agradeço ao Professor Orientador Emerson Rigoni que foi aqui mais que simplesmente um orientador, foi uma dupla de projeto e trabalhou juntamente comigo para o alcance desse objetivo.

RESUMO

MAFRA, Vivian. **Método multicritérios para definição do sistema mais adequado para implantação da manutenção centrada na confiabilidade.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Eletricista, Curitiba, 2012.

Atualmente o cenário industrial apresenta-se em intensa competitividade, razão pela qual é imprescindível uma gestão de ativos de alto desempenho. Para tanto é necessário confiabilidade e disponibilidade de todos os sistemas de produção da planta. Nesse ponto a gerência de manutenção assume função estratégica para manter a estabilidade e a produtividade dos processos e ativos.

Uma das ferramentas a disposição da manutenção, frente aos novos desafios impostos pelo mercado, é a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). Esta metodologia de gestão da manutenção é utilizada para se obter um plano de manutenção para ativos físicos a partir da aplicação de um método estruturado, com o objetivo de estabelecer a melhor estratégia de manutenção para um dado sistema ou equipamento. Esse método estruturado é composto por algumas etapas, e dentre elas está a seleção do sistema e coleta de informações que permite definir qual processo ou equipamento será primeiro submetido à análise e implantação da MCC de modo a se obter os melhores benefícios. Essa definição pode ser feita empregando-se métodos quantitativos, qualitativos ou mistos. Este trabalho propõe uma metodologia para auxiliar a determinação do sistema prioritário para implantação da MCC.

Palavras-chave: Manutenção Centrada em Confiabilidade. Seleção do Sistema.

ABSTRACT

MAFRA, Vivian. **Multicriteria method to definition of more suitable system for implementation of reliability centered maintenance.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Eletricista, Curitiba, 2012.

Nowadays the industrial scenario is presented in intense competition, from that become the reason to have an asset management for high performance. This requires reliability and availability of all plant production systems. At this point the maintenance management function assumes strategic importance for maintaining the stability and productivity of the processes and assets.

One of the resources available to maintenance, facing new challenges imposed by the market, is the Reliability Centered Maintenance (RCM). This maintenance management methodology is used to obtain a maintenance plan for physical assets from the application of a structured method in order to establish the best maintenance strategy for a specified system or equipment. This structured method consists of some steps, and among them is the system selection and collecting information that allows you to define which process or equipment shall be first submitted to analysis and implementation of the RCM in order to gain the best benefits. This definition can be done using quantitative methods, qualitative or mixed. This paper proposes a methodology to help determine the priority system for implementation of the RCM.

Keywords: Reliability Centered Maintenance. System Selection.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 - Procedimento de referência para implantação da MCC..... | 18 |
| Figura 2.2 - Diagrama típico de Pareto. | 21 |
| Figura 4.1 - Diagrama Radar - Critérios. | 44 |
| Figura 4.2 - Diagrama Radar - Quesitos. | 44 |
| Figura 5.1 - Gráfico estatístico da pesquisa com os especialistas | 50 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|--|
| Tabela 3.1 – Sugestão de Critérios para Avaliar a Ocorrência da Causa da Falha. .33 | |
| Tabela 3.2 – Sugestões de critérios para avaliar a ocorrência da causa da falha.....34 | |
| Tabela 3.3 – Sugestões de critérios para avaliar a severidade dos efeitos do modo de falha.35 | |
| Tabela 3.4 – Sugestões de critérios para avaliar a detecção da causa da falha.....36 | |
| Tabela 4.1 - Critérios relevantes para o problema de decisão.39 | |
| Tabela 4.2 – Escala de avaliação para os critérios estabelecidos.40 | |
| Tabela 4.3 – Pesos atribuídos aos critérios de decisão41 | |
| Tabela 4.4 – Exemplo de aplicação da metodologia proposta.43 | |
| Tabela 5.1 – Características Gerais dos Especialistas Colaboradores48 | |
| Tabela 5.2 - Resultados da pesquisa com os especialistas49 | |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | TEMA DE PESQUISA..... | 11 |
| 1.1.1 | Aspectos Gerais | 11 |
| 1.1.2 | Aspectos Específicos | 11 |
| 1.2 | PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA..... | 12 |
| 1.3 | OBJETIVOS..... | 13 |
| 1.3.1 | Objetivo Geral..... | 13 |
| 1.3.2 | Objetivos Específicos | 13 |
| 1.4 | JUSTIFICATIVAS E CONTRIBUIÇÕES | 13 |
| 1.4.1 | Justificativa | 13 |
| 1.4.2 | Contribuição | 14 |
| 1.5 | METODOLOGIA DA PESQUISA | 14 |
| 1.6 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 15 |
| 2 | MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE | 16 |
| 2.1 | INTRODUÇÃO..... | 16 |
| 2.2 | HISTÓRICO DA MCC | 16 |
| 2.3 | METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DA MCC..... | 17 |
| 2.4 | SELEÇÃO DOS SISTEMAS | 19 |
| 2.4.1 | Metodologia Proposta pelo <i>US Army</i> | 19 |
| 2.4.2 | Metodologia Proposta por Smith e Hinchcliffe | 20 |
| 2.4.3 | Metodologia Proposta pela IEC 60300-3-11 | 21 |
| 2.4.4 | Metodologia Proposta pela ABS..... | 22 |
| 2.4.5 | Metodologia Proposta pela NASA | 23 |
| 2.4.6 | Metodologia Proposta pela ATA-MSG3..... | 24 |
| 2.4.7 | Metodologia Proposta por Siqueira | 24 |
| 2.5 | CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO..... | 24 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3 | METODOLOGIA PROPOSTA DE SELEÇÃO DE SISTEMA E COLETA DE INFORMAÇÕES..... | 26 |
| 3.1 | INTRODUÇÃO..... | 26 |
| 3.1.1 | Definição da Prioridade do Equipamento | 26 |
| 3.2 | CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO..... | 37 |
| 4 | DEFINIÇÃO DO SISTEMA..... | 38 |
| 4.1 | MAPEAMENTO DOS CRITÉRIOS | 38 |
| 4.1.1 | Avaliação dos critérios..... | 38 |
| 4.1.2 | Determinação da importância relativa de cada critério | 41 |
| 4.1.3 | Avaliação global de cada sistema | 41 |
| 4.2 | CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO..... | 44 |
| 5 | VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA..... | 46 |
| 5.1 | INSTRUMENTO DE VALIDAÇÃO | 46 |
| 5.2 | RESULTADOS DO PROCESSO DE VALIDAÇÃO..... | 47 |
| 5.3 | CONCLUSÕES E SÍNTESE | 50 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 52 |
| 6.1 | INTRODUÇÃO..... | 52 |
| 6.2 | SOBRE OS OBJETIVOS PROPOSTOS..... | 53 |
| 6.3 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 53 |
| | REFERÊNCIAS..... | 54 |
| | APÊNDICE A - Questionário de avaliação da metodologia para análise e definição do sistema mais adequado para implantação da manutenção centrada na confiabilidade..... | 56 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA DE PESQUISA

1.1.1 Aspectos Gerais

A manutenção industrial tem ganhado muita importância nas últimas décadas em setores industriais onde, por força da competição, são aplicados processos cada vez mais complexos e automatizados. A manutenção industrial contemporânea tem, nesse contexto, a finalidade então de garantir a segurança, a disponibilidade e confiabilidade dos processos produtivos, bem como a preservação do meio ambiente e a redução de custos com manutenção, garantindo assim a qualidade dos produtos a custos competitivos para o mercado.

1.1.2 Aspectos Específicos

Dentre muitas metodologias aplicadas pela manutenção na gestão de ativos destaca-se a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). A MCC é a aplicação de um método estruturado para estabelecer a melhor estratégia de manutenção para um dado sistema ou equipamento. Esta começa identificando a funcionalidade ou desempenho requerido pelo equipamento no seu contexto operacional identifica os modos de falha e as causas prováveis e então detalha os efeitos e consequências da falha. Isto permite avaliar a criticidade das falhas e onde é possível identificar consequências significantes que afetam a segurança, a disponibilidade ou o custo operacional. Através de um critério de priorização explícito baseado em fatores ambientais, econômicos, operacionais e de segurança, a metodologia permite selecionar as tarefas adequadas de manutenção direcionadas para os modos de falha identificados (MOUBRAY, 2001; SIQUEIRA, 2005; SMITH, 1993; SMITH e HINCHCLIFFE, 2004).

Rigoni (2009) apresenta um procedimento de referência, para implantação da MCC, composto por nove etapas, são elas: etapa 0 - adequação da MCC; etapa 1 – preparação; etapa 2 - seleção do sistema e coleta de informações; etapa 3 - análise dos modos de falha, seus efeitos e sua criticidade (FMECA); etapa 4 - seleção das

funções significantes e classificação de seus modos de falha; etapa 5 - seleção das tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas; etapa 6 - definição dos intervalos iniciais e agrupamento das tarefas de manutenção; etapa 7 - redação do manual e implementação; Etapa 8 - acompanhamento e realimentação.

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

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

Dentro da metodologia da MCC, quando se faz manutenção em um ativo, deseja-se que este continue desempenhando as suas funções. Segundo Moubray (2001) o primeiro passo para implantação da MCC é perguntar: “Quais as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto atual de operação?”. Para responder esse questionamento deve-se identificar, definir, classificar e documentar as funções desempenhadas pelos sistemas (SIQUEIRA, 2005).

Na etapa 2, objeto deste trabalho, são identificados e documentados os sistemas que serão submetidos à análise e implantação da MCC. Nesta etapa definem-se e aplicam-se critérios quantitativos e/ou qualitativos para seleção do sistema ao qual a MCC será aplicada e, ao final da etapa, documentam-se as decisões tomadas (SIQUEIRA, 2005).

1.2 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Ao iniciar o processo de implantação da MCC é possível que a equipe de implementação se depare com a existência de diversos sistemas ou subsistemas onde a MCC poderia ser útil. Entretanto, em alguns casos, uma implantação de largo escopo, sem um amadurecimento em MCC por parte da empresa, pode se mostrar ineficiente e propensa ao fracasso (SOUZA, 2002). Os seguintes motivos ratificam este conceito: dificuldade de previsão orçamentária resultando em falta de recursos humanos e financeiros; força da cultura tradicional da empresa, que gera resistência

para mudanças abruptas de paradigmas; desistência devido ao volume intenso de trabalho; tempo longo para os primeiros resultados, o que pode gerar a desmotivação da equipe de implementação, “manutentores” e dos níveis gerenciais (SMITH e HINCHCLIFFE, 2004; RIGONI, 2009).

Portanto, não havendo um sistema pré-definido nesta etapa 2, deve-se estabelecer um método multicritério para hierarquizar os sistemas candidatos, de modo a identificar qual o sistema onde a implantação da MCC seja mais vantajosa.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar uma metodologia para auxiliar o processo de implantação da MCC, na etapa de seleção do sistema e coleta de informações.

1.3.2 Objetivos Específicos

Este trabalho deverá atender aos seguintes objetivos específicos para cumprimento de seu objetivo geral:

- Estudar as principais estratégias para implantação da MCC;
- Apresentar uma lista de critérios, contendo os parâmetros a serem analisados na etapa de seleção do sistema e coleta de informações;
- Elaborar uma metodologia para a definição do sistema prioridade, utilizando uma pontuação atribuída a cada critério.
- Validar a metodologia proposta com especialistas em gestão da manutenção.

1.4 JUSTIFICATIVAS E CONTRIBUIÇÕES

1.4.1 Justificativa

Segundo Juliato (2004), as análises das questões normalmente discutidas a respeito do estabelecimento do grau de criticidade das máquinas e equipamentos

não é uma tarefa fácil. Donde, talvez, a maioria dos artigos a respeito desta questão ser algumas vezes um tanto displicentes e, em outras, por demais complexos, como o modelo de Jia e Christer (2002), que se utiliza de vários modelos matemáticos para determinar alguns possíveis pontos de aplicação da MCC. Sabe-se que este, muitas vezes, é o único processo para se determinar a efetividade de um método de análise.

Diante da falta de um modelo ideal que possa conciliar as políticas de manutenção com os objetivos estratégicos da produção de forma clara, a ideia de um aprofundamento do tema proposto neste trabalho pode consumir com a criação de tal modelo, incentivar novos estudos a fim de aperfeiçoá-lo após sua criação e possibilitar seu uso nos momentos de mudança estratégica, que cada vez mais têm ocorrido dentro das empresas produtivas (JULIATO, 2004).

1.4.2 Contribuição

A Gestão da Manutenção pode abordar diferentes objetivos e seguir diversas linhas de pesquisa. Entretanto, essa pesquisa visa propor dentro da Gestão da Manutenção, uma sistemática de determinação do equipamento alvo a ser submetido ao processo da MCC. Tal sistemática utiliza múltiplos critérios e que venha a contribuir para a decisão dos gestores na aplicação dos recursos de manutenção disponíveis.

1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este trabalho propõe, num primeiro momento, o estudo das principais estratégias para implantação da MCC, presentes nas principais normas e bibliografias de referência. Dentre as normas utilizadas como referências estão: MSG-3, 1978; NASA, 1996; US Army, 1999; IEC – 60300-3-11, 1999; SAE JA 1011, 1999; SAE JA 1012, 2002; ABS, 2004; e NAVAIR, 2005. As bibliografias que embasam o estudo das estratégias para implantação da MCC, citadas neste trabalho são: Moubray, 2001; Smith, 1993; Smith e Hinchcliff, 2004; Rigoni, 2009 e Bloom, 2006. O objetivo deste estudo é entender a metodologia do processo de implantação da MCC e o contexto de sua aplicação.

Concluído o estudo das estratégias para implantação da MCC inicia-se o estudo e síntese dos parâmetros de análise a serem considerados, propostos pelas normas e bibliografias de referência. O objetivo é entender e sintetizar quais entradas devem ser analisadas e quais saídas devem ser geradas na etapa de seleção do sistema e coleta de informações, definindo assim critérios.

A partir de uma lista de critérios definida, a eles são atribuídos valores baseados na experiência da equipa de manutenção. Na sequência, esses dados são submetidos a uma análise matemática para posterior definição do equipamento/sistema prioridade. Apresenta-se então a metodologia para a seleção e sistemas.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Os capítulos iniciais tratam cada um dos temas envolvidos como um assunto específico focado nos objetivos deste trabalho. Nos capítulos finais é explicitada a inter-relação entre os diversos temas abordados e o modo como este relacionamento é implementado para cumprir os objetivos deste projeto. Sendo assim, excluindo-se o presente capítulo, os demais, possuem o seguinte conteúdo:

O Capítulo 2 apresenta os tópicos principais referentes à MCC e os conceitos, inerentes aos tópicos essenciais à seleção de sistemas, utilizados pelas principais normas e bibliografias relativas à MCC, bem como, uma comparação das normas e bibliografias visando à obtenção dos aspectos positivos de cada bibliografia estudada;

O Capítulo 3 apresenta uma lista de critérios, a ser aplicada na etapa de seleção de sistemas, baseada no estudo do referencial apresentado;

O Capítulo 4 apresenta um modelo para implementação da metodologia proposta;

O Capítulo 5 apresenta o processo de validação da metodologia proposta;

O Capítulo 6 finaliza o trabalho apresentando a análise dos resultados alcançados bem como os desdobramentos que podem culminar com trabalhos futuros em temas correlatos.

2 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

2.1 INTRODUÇÃO

Esse capítulo apresenta os principais conceitos referentes à Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) focando nos tópicos aplicados à etapa de seleção de sistemas. Tal abordagem terá como referência as principais bibliografias e normas inerentes à MCC e fundamentará a metodologia proposta.

2.2 HISTÓRICO DA MCC

A MCC tem suas origens na indústria da aviação civil americana na década de 1950 e início dos anos 1960, quando se percebeu que a filosofia de manutenção tradicional, de revisões programadas, foi baseada em uma crença errada de que a maioria das falhas era baseada no tempo, o que introduzia um aumento nos custos com manutenção.

Essa descoberta exigiu uma abordagem totalmente nova para determinar os requisitos de manutenção de aeronaves. Em 1968 foi desenvolvido a MSG-1 (*Maintenance Steering Group*) que foi aplicada ao Boeing 747. Tal abordagem era encarregada de rever a aplicabilidade dos métodos existentes aplicados às aeronaves da época.

Segundo Rigoni (2009), em 1970 foi formado um segundo grupo, o MSG-2, que gerou o Documento de Planejamento do Programa de Manutenção dos Fabricantes de Aeronaves, este documento generalizava os procedimentos específicos de manutenção do MSG-1, de modo a torná-lo aplicável a todas as aeronaves. No entanto o desenvolvimento marco na história da MCC foi o relatório de Stan Nowlan e Howard Heap, em 1978, conhecido como MSG-3 que intitulou a metodologia proposta de "Manutenção Centrada em Confiabilidade", pois demonstrou que a forte correlação entre idade (tempo) e falha não existia e a premissa básica da manutenção com base no tempo (manutenção preventiva sistemática) era falsa para a grande maioria dos equipamentos (NASA, 2000).

A MCC foi rapidamente disseminada por outras indústrias, incluindo transporte, petroquímica, mineração, siderurgia, fabricação e utilitários. Devido à

difusão dessa metodologia outras versões foram elaboradas por diversos autores como: Moubray que nomeou de RCM-2 (*Reliability Centered Maintenance*), pois considerou aspectos como questões ambientais; Smith e Hinchcliffe (2004) que propuseram novas versões baseadas no método clássico e na experiência (*ECM-Experience Centered Maintenance*); entre alguns outros institutos como o EPRI (*Electric Power Research Institute*). Frente a isso foi elaborada uma norma internacional IEC 60300-3-11, que padronizou o método seguindo os mesmos critérios da MSG-3 (com última revisão datada de 2009).

Portanto define-se MCC como uma metodologia para analisar as funções do sistema e o modo como estas funções podem falhar para, então, aplicar um critério de priorização explícito baseado em fatores ambientais, econômicos, operacionais e de segurança, a fim de identificar as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas (MOUBRAY, 2001; SIQUEIRA, 2005; SMITH, 1993; SMITH e HINCHCLIFFE, 2003).

2.3 METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DA MCC

Rigoni (2009) sugere o procedimento, apresentado na Figura 2.1, como referência para implantação da MCC. As etapas serão detalhadas na sequência.

Na etapa 0 é verificado se a gestão da manutenção fundamentada na MCC é aplicável na empresa/sistema, considerando suas disponibilidades e adequações (NOVACKI, ALBERTON e ORTEGA, 2009). Isso é feito a partir da análise de compatibilidade às premissas de um programa de MCC, e executada por especialistas das áreas de MCC, dos sistemas candidatos e do pessoal de nível gerencial, a partir de informações, recursos e planejamento estratégico da empresa. O resultado é um documento que define se o programa de MCC pode ou não ser aplicado ao caso analisado.

A etapa 1 visa a formação da equipe e planejamento estratégico para implantação da MCC. Juntos definirão a abrangência e os objetivos do programa, bem como o escopo de execução do mesmo incluindo preparação, organização e estruturação; garantindo que a entrega dessa etapa seja o projeto de execução de implantação da MCC.

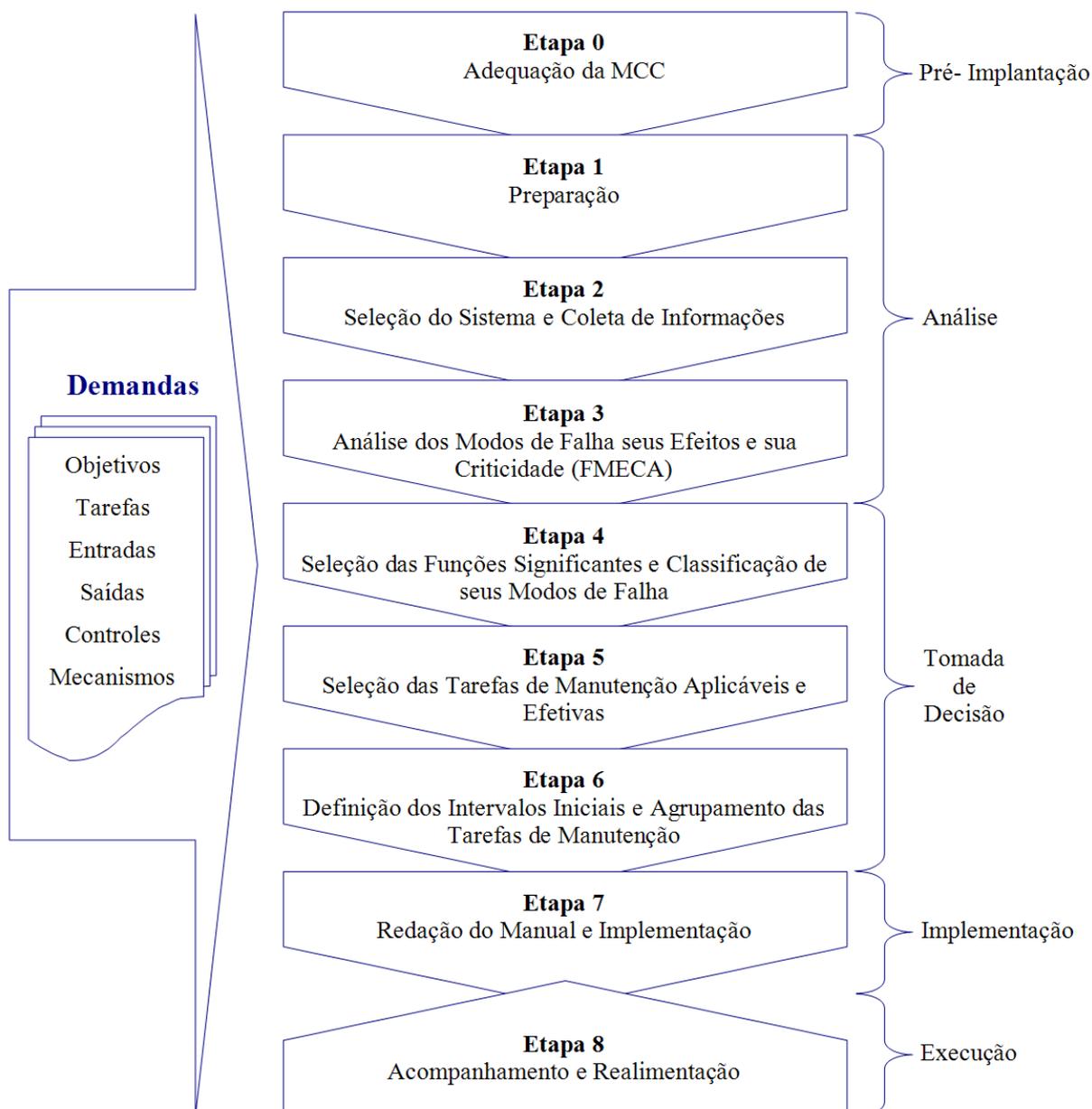


Figura 2.1 - Procedimento de referência para implantação da MCC.
Fonte: Rigoni, 2009.

Na etapa 2 são identificados e documentados os sistemas que serão submetidos à análise e implantação da MCC, definindo e aplicando critérios quantitativos e qualitativos para seleção do sistema ao qual a MCC será aplicada, sendo tudo propriamente documentado.

A etapa 3 identifica e documenta todas as funções do sistema selecionado na etapa anterior, seus modos de falha, as causas dos modos e uma avaliação da criticidade. Esse processo deverá criar índices de criticidade do modo de falha, através do consenso entre equipe de implantação e empresa. Essa criticidade

envolve a severidade dos efeitos, a frequência de ocorrência das causas do modo de falha e a probabilidade de detecção da falha.

O objetivo da etapa 4 é analisar cada função classificada na etapa anterior e determinar se a falha tem efeito significativo, e em caso afirmativo, classificar os modos de falha levando em consideração o impacto nos aspectos pilares da MCC; segurança, meio ambiente, operação e economia de processo. Após a classificação como significativo ou não, dentro dos critérios elaborados nessa mesma etapa, é gerada uma lista das funções significantes com seus respectivos modos de falha classificados.

Na etapa 5 serão determinadas quais tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para cada uma das funções significantes identificadas e caracterizadas na etapa 4, através da definição de critérios e aplicação do diagrama de tomada de decisão para selecionar as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas.

A etapa 6 estabelece a periodicidade e o agrupamento das atividades através de métodos e critérios definidos nessa etapa, de forma estratégica para otimizar as ações da equipe de manutenção.

Na etapa 7 é concebido o manual do programa de MCC para o sistema selecionado, bem como o planejamento estratégico daquele e a implementação das ações propostas pela MCC com base nas conclusões das etapas anteriores.

Na etapa 8 são definidas as estratégias para executar o acompanhamento e a realimentação do programa de MCC, ao longo de todo o seu ciclo de vida. Deverão ser formulados os indicadores do desempenho do programa de MCC e do sistema, sendo que para cada indicador deverá avaliar um aspecto do desempenho do programa/sistema. Além disso, cada indicador deverá ter sua rotina de alimentação estabelecida.

2.4 SELEÇÃO DOS SISTEMAS

Este item apresenta as metodologias propostas, para etapa de seleção de sistemas, pelas diferentes bibliografias estudadas.

2.4.1 Metodologia Proposta pelo *US Army*

Nesse procedimento o usuário que define os sistemas. Os sistemas que são extremamente complexos e, esta complexidade torna difícil a análise, o usuário pode optar por definir subsistemas como um meio de organizar o problema em partes gerenciáveis.

2.4.2 Metodologia Proposta por Smith e Hinchcliffe

Segundo Smith e Hinchcliffe (2004), o procedimento deve ser empregado para selecionar aqueles sistemas que tem o maior potencial para ser beneficiado com o processo de análise de sistemas da MCC. Neste caso, os critérios para definição do sistema giram em torno dos custos de manutenção e/ou da disponibilidade dos ativos.

Para utilizar o princípio de Pareto ou regra 80/20 como base para a seleção do sistema, é preciso reunir dados que irão representar os custos de manutenção e a disponibilidade, em uma única base por sistema, e traçar essas informações em um diagrama de Pareto¹. Os autores têm consistentemente utilizado um ou mais dos seguintes parâmetros para construir estes diagramas:

- a. Custo das ações de manutenção corretiva ao longo de um período de dois anos.
- b. Número de ações de manutenção corretiva ao longo dos últimos dois anos.
- c. Número de horas atribuído à indisponibilidade da planta ao longo de um período de dois anos.

Um típico diagrama de Pareto, utilizando o equivalente a horas de paralisação convertidas para uma taxa efetiva interrupção forçada, é mostrado na Figura 2.2. Esse diagrama pode ser utilizado para determinar onde residem aproximadamente 80% da EFOR (*Effective Forced Outage Rate* - Taxa Efetiva de Interrupção Forçada), e assim definir os sistemas “problemáticos” que serão os primeiros candidatos à implantação da MCC.

¹ Diagrama de Pareto: gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências, da maior para a menor, permitindo a priorização dos problemas.

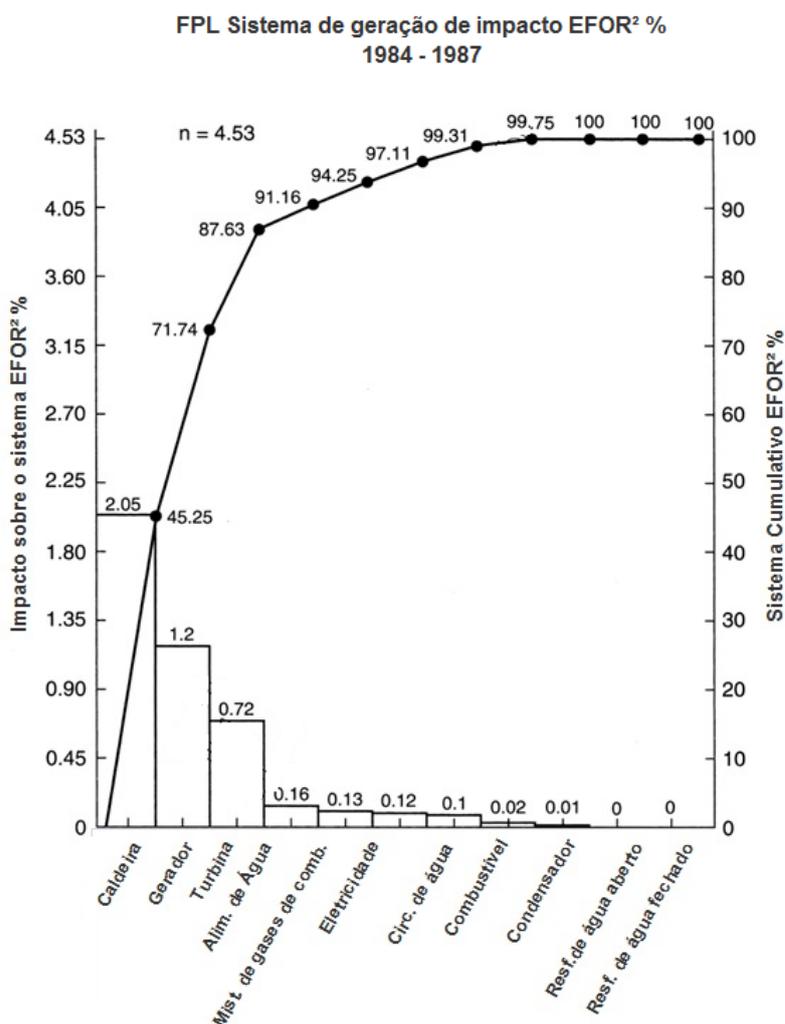


Figura 2.2 - Diagrama típico de Pareto.
Fonte: Adaptado de Smith, 2004

2.4.3 Metodologia Proposta pela IEC 60300-3-11

Segundo a norma IEC 60300-3-11 os métodos utilizados para selecionar e priorizar os sistemas podem ser divididos em:

- Métodos qualitativos baseados no histórico do sistema e na avaliação do grupo de engenharia;
- Métodos quantitativos baseados em um critério quantitativo, tal como classificação crítica, fatores de segurança, probabilidade de falha, taxas de falha, custo do ciclo de operação, entre outros. Esses são usados para avaliar a importância do sistema na degradação ou falha da segurança do

equipamento, desempenho e custos. A implementação disso é facilitada quando um modelo apropriado e uma base de dados existem.

- Combinação dos dois métodos anteriores.

Os resultados da aplicação desses métodos é uma lista com os sistemas classificados pela sua prioridade.

2.4.4 Metodologia Proposta pela ABS

A ABS (*American Bureau of Shipping*, 2004) propõe que é necessário identificar uma ordem de prioridade para a análise dos grupos funcionais, de modo que os recursos podem ser utilizados produtivamente. Em geral, um dos métodos seguintes é usado para seleção de grupos para análise:

- Avaliação do grupo de engenharia: esta abordagem é baseada na experiência não documentada dos especialistas no assunto, para selecionar o grupo. Normalmente, na seleção de um sistema, uma equipe considera subjetivamente os seguintes aspectos: número de falhas que ocorreram, a quantidade de recursos de manutenção, a oportunidade de melhorar o desempenho e os potenciais para reduzir os tempos de parada de manutenção. Uma vez que a seleção e as prioridades são determinadas, a equipe deve documentar a justificativa para sua decisão.
- Abordagens analíticas simples: são ferramentas que fornecem a equipe de seleção uma metodologia estruturada para elencar os diferentes problemas considerados durante o processo de seleção. A análise requer que a equipe colete os dados relacionados a cada critério a ser considerado. Por exemplo, se o número de falhas é importante, a equipe deve analisar os dados de falha para cada grupo e, em seguida, classificar cada grupo com base no número de falhas. E a classificação relativa é o desenvolvimento, pela equipe, de um sistema de pontuação que é utilizado para pontuar cada questão. As pontuações são então tabuladas e avaliadas para classificar os grupos.
- Avaliação de riscos: a abordagem mais abrangente é realizar uma avaliação de risco ou usar alguma já disponível para selecionar e classificar os grupos

funcionais. Se a avaliação de risco é uma análise quantitativa detalhada ou de alto nível de análise de perfil (como usado para gerenciamento de riscos corporativos), os dados de avaliação de risco pode ser usado para identificar os grupos que têm risco inaceitável e aqueles que têm o maior risco. Os dados de risco inaceitável podem ser usados para determinar se ainda uma análise detalhada, como análise da MCC, se justifica. Então, a classificação do grupo de risco pode ser usada para priorizar os grupos para a análise (por exemplo, grupos com maior risco são analisados primeiro). Além disso, a avaliação do risco deve ser revista para determinar se existem falhas nos equipamentos que podem ser afetados por uma melhor manutenção e, se essas falhas são grandes contribuintes para o risco. Por exemplo, na revisão da avaliação de risco para um grupo, pode-se descobrir que o maior contribuinte para o risco são os erros operacionais. Para este grupo, uma análise por MCC pode não ser o melhor método analítico para reduzir o risco. No entanto, os grupos de maior risco - em que falhas de equipamento são as principais contribuintes de risco - são bons candidatos para análise por MCC.

Independentemente da abordagem utilizada para selecionar os grupos, as seguintes considerações devem ser feitas:

- A economia esperada durante a vida útil restante do equipamento deve ser contrabalançada com os custos da análise;
- Os recursos humanos necessários para realizar cada uma das análises devem ser identificados e ter sua disponibilidade ratificada.

2.4.5 Metodologia Proposta pela NASA

Segundo a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), um sistema é qualquer grupo definido pelo usuário dos componentes, equipamentos ou instalações que suportam uma exigência operacional. Esses requisitos operacionais são definidos pela criticidade da missão, por requisitos ambientais, pela saúde, pela segurança, pela qualidade, ou pela regulamentação. A maioria desses sistemas podem ser divididos em sub-sistemas únicos ao longo das fronteiras definidas pelo

usuário. Estes são selecionados como um método de divisão de um sistema em subsistemas, quando a sua complexidade faz com que a análise por outros meios seja complexa. Uma definição de limite ou de relação de sistema contém uma descrição das entradas e das saídas que cruzam cada limite.

2.4.6 Metodologia Proposta pela ATA-MSG3

A seleção para manutenção de itens significativos, segundo esta metodologia, é governada pelo preenchimento de critérios de seleção definidos, cujas análises são estabelecidas ao mais alto nível exeqüível (abordagem “*top-down*”³).

Este processo de identificação de itens significativos na ótica da manutenção é um processo conservador (utiliza uma avaliação do grupo de engenharia), baseado nas consequências da falha funcional.

2.4.7 Metodologia Proposta por Siqueira

Siqueira (2005) apresenta algumas regras empíricas que auxiliam na identificação dos sistemas:

- Identificação dos circuitos fechados: são meios circulantes, que normalmente identificam componentes que funcionam interligados na forma de um sistema.
- Inclusão de circuitos abertos: são circuitos nos quais o fluido entra e sai da instalação e também identificam componentes que funcionam interligados na forma de um sistema.
- Atenção para não analisar duas vezes o mesmo componente.
- Definição de fronteiras exatas entre os sistemas.
- Fazer agrupamentos por especialidades.

2.5 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os principais conceitos relacionados à MCC e de especial interesse aos objetivos deste trabalho. A partir do procedimento de implantação da MCC, sugerido por Rigoni (2009), foi possível explicitar as principais metodologias utilizadas para aplicar a seleção de sistemas.

O próximo capítulo apresentará conceitos e definições relativas à ferramenta proposta para aplicar as metodologias apresentadas neste capítulo.

3 METODOLOGIA PROPOSTA DE SELEÇÃO DE SISTEMA E COLETA DE INFORMAÇÕES

3.1 INTRODUÇÃO

Um processo de transformação é composto por vários sistemas que executam suas funções requeridas. No entanto, caso ocorra falha de alguns desses o resultado final não é comprometido, pois cada um tem um grau de criticidade dentro do processo (BELMONTE, 2007). Neste trabalho este grau de criticidade do equipamento dentro do processo irá definir a prioridade da implantação de MCC para este equipamento. Assim quanto maior a criticidade do equipamento maior será a sua prioridade frente a outros equipamentos do mesmo processo produtivo.

Este capítulo apresenta critérios, de acordo com o referencial apresentado no capítulo 2, que irão estabelecer a prioridade do equipamento para a etapa 2 dentro do processo de implantação da MCC.

3.1.1 Definição da Prioridade do Equipamento

Com a finalidade de distinguir os sistemas/equipamentos com maior prioridade para implantação da MCC dentro do processo, faz-se necessário a ponderação de critérios para avaliar esta prioridade. Esta prioridade estará relacionada com a importância que um sistema tem no processo de transformação, considerando seu impacto na produção, segurança, qualidade, meio ambiente, ou em outro aspecto específico.

A ponderação dos critérios que definirão a prioridade do sistema/equipamento, deve ser considerada sob vários aspectos a saber: segurança física da instalação e do pessoal envolvido, meio ambiente, disponibilidade da planta e seus fatores de influência (confiabilidade e manutenibilidade), etc.

Os critérios utilizados nesse trabalho são baseados no referencial teórico apresentado no capítulo 2. Deve-se observar que a proposta a ser apresentada é resultado da compilação de todos os critérios adotados pelas metodologias, destacando que aqueles são comuns a todas estudadas. Assim, propõem-se as

seguintes famílias de critérios com seus respectivos quesitos a serem ponderados, os quais influenciam diretamente na determinação da prioridade de um equipamento:

1. Segurança
 - 1.1. Instalações;
 - 1.2. Humana;
 - 1.3. Meio-ambiente.
2. Produção
 - 2.1. Impacto na logística do processo produtivo;
 - 2.2. Impacto na qualidade do produto.
3. Custos de Manutenção
 - 3.1. Custo operacional com insumos;
 - 3.2. Número de intervenções corretivas/preventivas no equipamento;
 - 3.3. Custo com manutenção corretiva;
 - 3.4. Custo com manutenção preventiva.
4. Disponibilidade
 - 4.1. Frequência das falhas (tempo médio entre falhas);
 - 4.2. Taxa de falha;
 - 4.3. Tempo médio para reparo;
 - 4.4. Efeito da falha no processo produtivo;
 - 4.5. Probabilidade de detecção de falha.

3.1.1.1 Segurança

A imagem e a aceitação da empresa na comunidade onde esta se insere está relacionado com aspectos de segurança. Por tal razão passaram a ser uma preocupação constante nas empresas além das razões éticas e econômicas. Sendo assim, os sistemas deverão funcionar dentro de condições rigorosas de operação de forma a cumprir com todas as normas de segurança estabelecidas, oficiais e auto impostas (ASSIS, 2005).

Moubray (2001) afirma que consequências de falhas à segurança são as falhas que podem, de algum modo, ferir, machucar, ou matar alguém (operadores ou

mantenedores), causar algum dano às instalações industriais e ao próprio equipamento ou infringir as legislações ambientais. O gerenciamento da segurança pode ser entendido como um conjunto de atividades e recursos utilizados para controlar as diversas variáveis (principalmente as falhas) que podem levar à ocorrência de acidentes.

Pode-se entender acidente como um evento indesejado e inesperado que pode resultar numa lesão, doença ocupacional, danos à propriedade, interrupção do processo produtivo, afetar a qualidade do produto, causar danos às instalações (ruído elevado, escape de vapor, gotejamento de água ou óleo, dentre muitos outros), ao meio ambiente e à comunidade. Geralmente é o resultado de um contato com substâncias e/ou uma fonte de energia acima do limite de resistência do corpo ou estrutura. Em grande parte dos casos os acidentes estão sempre relacionados com anormalidades originadas nas falhas operacionais e de manutenção. A combinação de fatores mecânicos e/ou ambientais, gerenciais e pessoais pode levar à ocorrência de um acidente. Se um equipamento/sistema gera alto número de acidentes este é um equipamento prioridade para manutenção.

Aspectos como número de quebras acidentais, número de acidentes (morte, ferimentos das pessoas, ou acidentes com as instalações), volume de efluente gerado e volume de efluente reciclado (poluição), justificam que um sistema seja considerado de alta prioridade em determinados contextos. Sistemas cuja falha afete a segurança humana, das instalações ou ao meio-ambiente receberão atenção e tratamento especial por parte dos gestores.

3.1.1.2 Produção

Os aspectos relacionados a produção, incluindo a qualidade do produto, afetam diretamente no resultado financeiro da organização. Daí a sua relevância e influencia na decisão dos gestores da manutenção.

De acordo com Saltorato e Cintra (2008) para determinação da prioridade dos sistemas, analisando todo o processo produtivo, é avaliado se, em caso de falha, o sistema em questão, causa parada de produção ou diminuição da capacidade produtiva, ou ainda se afeta diretamente a qualidade do produto. Continuam os autores colocando que analisando os sistemas individualmente e sua influência no

processo produtivo, é avaliado se, em caso de falha, esta causa diminuição nos índices de produtividade do processo. O sistema que causa uma redução no volume de produção é considerado um sistema crítico e deve ser submetido à manutenção.

Takahashi e Osada (1993) expõem que do ponto de vista da produção o equipamento crítico/prioritário refere-se aquele que apresenta avarias frequentes, equipamento de produção sem substituto ou reserva, equipamento que reduz significativamente a produção intermediária total em caso de avaria, equipamento cuja falha afeta as datas de entrega de produtos, equipamento próximo às fases finais dos processos de produção, equipamento que afeta o sincronismo da produção ou equipamento cuja falha provoca atrasos na produção global, ou seja que gera impacto na logística do processo produtivo. Já do ponto de vista da qualidade o equipamento crítico é o que afeta a qualidade dos produtos ou que provoca variações do nível de qualidade.

A qualidade dos produtos esta diretamente relacionada com as condições dos equipamentos. Nas indústrias de processo, onde a qualidade do produto é obtida por meio do processo, os departamentos de produção devem rever seus sistemas de segurança de qualidade com o objetivo de garantir qualidade através do gerenciamento do equipamento.

O equipamento que não proporciona condições para produção de produtos perfeitos, ou seja, que não está operando sob condições normais (temperatura, pressão, vazão, entre outras) ou que os valores aferidos não estão dentro da faixa especificada de operação, deve ser classificado como prioridade de manutenção pois pode gerar impacto na qualidade do produto final.

3.1.1.3 Custos de Manutenção

De acordo com seu regime de funcionamento os equipamentos do processo têm graus de importância diferenciados. Segundo Saltorato e Cintra (2008) a criticidade do equipamento relacionado ao aspecto regime de operação é avaliada no processo produtivo de acordo com a exigência de funcionamento ininterrupto do equipamento em um determinado espaço de tempo. A configuração do regime de operação pode ser adequada para cada situação específica, considerando-se horas e dias de operação.

Na manutenção, a análise e consideração dos custos envolvidos são requisitos para a definição de qualquer curso de ação. Isso implica na necessidade de uma clara explicitação da estrutura de custos, além da apropriação correta desses na estrutura do processo fabril (SOUZA, 2002).

Os custos de manutenção são classificados em diretos, de perda de produção e indiretos. Kardec e Nascif (2005) expõem:

- a. Custos Diretos: São todos os custos necessários para manter os equipamentos em operação. São incluídos como custos diretos os custos com manutenções preventivas (inspeções, lubrificações, etc.), manutenções preditivas, custos de reparos e revisões e manutenção corretiva de uma maneira geral.
- b. Custos de perda de produção: São os custos originados da perda de produção, causados pelas falhas dos equipamentos do processo produtivo.
- c. Custos Indiretos: São os custos administrativos da manutenção, como os custos de gerenciamento, supervisão, desenvolvimento de projetos, entre outros.

Detalhando os componentes do custo direto (custo operacional com insumos) de manutenção apresenta-se:

- i. Custos de Mão de Obra: mão de obra própria – número de horas alocadas ao serviço x salário médio mensal, incluindo encargos sociais;
- ii. Custos de Materiais: custo de sobressalentes (custo da peça aplicada que pode ser dado pela nota fiscal, se a compra for para aplicação imediata) e custo de materiais de consumo (óleo, graxa, produtos químicos, lixa e similares);
- iii. Custos de Serviços de Terceiros: são serviços comprados externamente e realizados por terceiros.

Os custos da manutenção crescem de modo inverso aos custos de parada da produção, desde que se espera que com esse aumento dos custos se consiga uma redução das paradas de emergência. No limite máximo (manutenção em excesso), pode-se imaginar uma manutenção em que em intervalos muito pequeno de tempo

esteja realizando intervenções e trocas de componentes desnecessários. No outro extremo, a falta de manutenção provoca paradas longas com perdas de produção mais acentuadas (KARDEC e NASCIF, 2005).

Nas paradas de emergências é aplicada a manutenção corretiva, que é a manutenção atuando no momento da falha do equipamento. Esse tipo de manutenção é mais barata do que prevenir falhas nos equipamentos, porém pode causar grandes perdas por interrupção da produção, afirma Xenos (1998). Por isso um equipamento que gera custos de manutenção corretiva deve ser considerado para aplicação da MCC, pois além de impedir o fluxo da produção requer gastos com os recursos necessários – peças de reposição, mão de obra e ferramental para agir rapidamente.

A manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou quebra no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo, afirma Pinto & Xavier (2001). O custo da manutenção preventiva é elevado, tendo em vista que peças e componentes dos equipamentos podem ser substituídos antes de atingirem seus limites de vida útil. Fatores como: impossibilidade da adoção de manutenção preditiva, aspectos de segurança pessoal ou da instalação, equipamentos críticos de difícil liberação operacional, riscos de agressão ao meio ambiente, sistemas complexos ou de operação contínua; devem ser considerados para adoção dessa política de manutenção. Portanto na determinação do equipamento prioridade a ser submetido à manutenção devem ser considerados todos os aspectos que a manutenção preventiva envolve.

Para analisar qual equipamento é mais crítico, através do número de intervenções, são consideradas intervenções corretivas e preventivas. Equipamentos com um alto número de intervenções, preventivas ou corretivas, são classificados como críticos em função da necessidade constante da aplicação de recursos de manutenção. O alto número de intervenções justifica o direcionamento de estudos de melhoria, mudanças de projeto e aplicação de novos investimentos.

3.1.1.4 Disponibilidade

Esse indicador representa a probabilidade de em um dado momento um equipamento estar disponível.

A frequência de falhas é a estimativa das falhas mais comuns de cada equipamento considerando seu regime normal de trabalho ou o intervalo de tempo que elas ocorrem (TMEF – tempo médio entre falhas ou MTBF – *mean time between failures*) (SALTORATO E CINTRA, 2008).

Esse indicador que representa o tempo médio entre a ocorrência de uma falha e a próxima, como também o tempo de funcionamento da máquina ou equipamento diante das necessidades de produção até a próxima falha. É utilizada para itens que são reparados após a ocorrência de falha.

$$TMEF = \frac{NOIT \cdot HROP}{NTMC}$$

Equação 3.1

Na qual:

TMEF - Tempo Médio Entre Falhas;

NOIT - Número de Itens;

HROP - Horas de Operação;

NTMC - Número Total de Manutenção Corretiva;

A tabela 3.1 apresenta sugestões de critérios com seus respectivos Índices para avaliar a ocorrência das causas da falha (SAE J1739, 2002).

| Critérios avaliar a Probabilidade de Ocorrência (O) da Causa da Falha Obs.: Utilizar 1 dos 3 Critérios. | | | Classificação |
|--|--|---|---------------|
| Número de Falhas em função do Tempo em Operação (horas) | Número de Falhas em função do Ciclo Operacional (ciclos) | Confiabilidade baseada no Tempo Requerido pelo Usuário [C(t) %] | |
| 1 em 1 | 1 em 90 | C(t) < 1% → MTBF ≅ 10% do tempo em operação | 10 |
| 1 em 8 | 1 em 900 | C(t) = 5% → MTBF ≅ 30% do tempo em operação | 9 |
| 1 em 24 | 1 em 36.000 | C(t) = 19% → MTBF ≅ 60% do tempo em operação | 8 |
| 1 em 80 | 1 em 90.000 | C(t) = 37% → MTBF igual ao tempo em operação | 7 |
| 1 em 350 | 1 em 180.000 | C(t) = 61% → MTBF 2 vezes maior do que o tempo em operação | 6 |
| 1 em 1.000 | 1 em 270.000 | C(t) = 78% → MTBF 4 vezes maior do que o tempo em operação | 5 |
| 1 em 2.500 | 1 em 360.000 | C(t) = 85% → MTBF 6 vezes maior do que o tempo em operação | 4 |
| 1 em 5.000 | 1 em 540.000 | C(t) = 90% → MTBF 10 vezes maior do que o tempo em operação | 3 |
| 1 em 10.000 | 1 em 900.000 | C(t) = 95% → MTBF 20 vezes maior do que o tempo em operação | 2 |
| 1 em 25.000 | 1 em mais de 900.000 | C(t) = 98% → MTBF 50 vezes maior do que o tempo em operação | 1 |

Tabela 3.1 – Sugestão de critérios para avaliar a ocorrência da causa da falha.
Fonte: SAE J1739, 2002 – Tabela 8, Pg. 34

A taxa de falha é definida pela relação entre o número total de itens com falha, e o tempo total acumulado durante o qual este conjunto foi observado. Esta associada, a intervalos de tempo e condições particulares e especificados e, o tempo total acumulado, deverá ser a soma de todos os intervalos de tempo os quais o item individualmente ficou sujeito às condições específicas de funcionamento.

$$TXFO = \frac{NTMC}{\Sigma HROP}$$

Equação 3.2

Na qual:

TXFO - Taxa de Falha Observada

NTMC – Número Total de Manutenção Corretiva;

HROP – Horas de Operação.

Baseados na experiência dos técnicos de manutenção e principalmente no banco de dados do equipamento são definidos as faixas que melhor representam as frequências de falhas dos equipamentos.

A tabela 3.2 apresenta sugestões de critérios com seus respectivos Índices para avaliar a ocorrência das causas da falha (SAE J1739, 2002).

| Probabilidade de Ocorrência (O) da Causa da Falha | Taxa de Falha (λ) Provável ao Longo do Ciclo de Vida | Classificação |
|---|--|---------------|
| Muito Alta: Falhas Persistentes | ≥ 100 por mil itens | 10 |
| | 50 por mil itens | 9 |
| Alta: Falhas Frequentes | 20 por mil itens | 8 |
| | 10 por mil itens | 7 |
| Moderada: Falhas Ocasionais | 5 por mil itens | 6 |
| | 2 por mil itens | 5 |
| | 1 por mil itens | 4 |
| Baixa: Relativamente Poucas Falhas | 0,5 por mil itens | 3 |
| | 0,1 por mil itens | 2 |
| Remota: Falha Improvável | $\leq 0,01$ por mil itens | 1 |

Tabela 3.2 – Sugestões de critérios para avaliar a ocorrência da causa da falha.

Fonte: SAE J1739, 2002 – Tabela 5, Pg. 23. (FMECA de Processo).

O Tmpr (Tempo médio para reparo ou MTTR - *mean time to repair*) é um indicador que aponta o tempo que a equipe de manutenção demanda para reparar e disponibilizar a máquina ou equipamento para o sistema produtivo. Nesse período estão todas as ações envolvidas no reparo, sejam elas da equipe de compras, de laboratório ou qualquer outra equipe de trabalho. É utilizado para itens para os quais o tempo de reparo ou substituição é significativo em relação ao tempo de operação.

$$Tmpr = \frac{TTMC}{NTMC} \quad \text{Equação 3.3}$$

Na qual:

Tmpr – Tempo Médio Para Reparo;

NTMC – Número Total de Manutenção Corretiva;

TTMC – Tempo Total de Manutenção Corretiva.

Os efeitos do modo de falha são os resultados para o sistema decorrentes da ocorrência de um modo de falha. Uma descrição típica de efeito do modo de falha deve conter informações suficientes para avaliar os seguintes aspectos:

- Evidência da Falha → Como é observado o efeito.
- Impacto na Segurança → Que risco apresenta para as pessoas.
- Impacto Ambiental → Que danos traz ao meio ambiente.
- Reflexo Operacional → Como afeta a produção.
- Resultado Econômico → Qual seu impacto financeiro.
- Forma de Reparo → Como retornar a função ao normal após a falha.
- Características Compensatórias → Quais as características projetadas para reduzir o efeito.

A tabela 3.3 apresenta sugestões de critérios com seus respectivos Índices para avaliar a Severidade dos Efeitos do modo de falha (SAE J1739, 2002).

| Severidade (S) do Efeito do Modo de Falha | Impacto na Função devido à Severidade dos Efeitos do Modo de Falha | Classificação |
|--|---|----------------------|
| Perigoso Sem Aviso | Impacto na segurança, saúde ou meio ambiente. A falha ocorrerá sem aviso. | 10 |
| Perigoso Com Aviso | Impacto na segurança, saúde ou meio ambiente. A falha ocorrerá com aviso. | 9 |
| Muito Alto | Impacto muito alto. A Função é perdida e é necessário um longo período de tempo para restauração da normalidade. | 8 |
| Alto | Impacto alto. Parte da Função é perdida e é necessário um longo período de tempo até a restauração da normalidade. | 7 |
| Moderado | Impacto moderado. Parte da Função é perdida e é necessário um período de tempo moderado até a restauração da normalidade. | 6 |
| Baixo | Impacto baixo. A Função é prejudicada necessitando ser verificada. | 5 |
| Muito Baixo | Impacto moderado. Parte da função é prejudicada necessitando ser verificada. | 4 |
| Pequeno | Impacto reduzido. A falha demora algum tempo para ser reparada, mas não afeta a função. | 3 |
| Muito Pequeno | Impacto insignificante. A falha pode ser reparada rapidamente. | 2 |
| Nenhum | Não se verificam efeitos na segurança, saúde ou meio ambiente. | 1 |

Tabela 3.3 – Sugestões de critérios para avaliar a severidade dos efeitos do modo de falha. Fonte: SAE J1739, 2002 – Tabela 8, Pg. 34. (FMECA de Máquinas).

A detecção da falha refere-se à probabilidade de que as características de projeto e os procedimentos de verificação irão detectar as causas do modo de falha a tempo de prevenir uma falha funcional. Expressa o quão difícil é detectar os eventos da cadeia causal que resultam nos efeitos do modo de falha (RIGONI, 2009).

Quando esta análise está orientada para o processo, refere-se à probabilidade de que um conjunto de controles de processo tenha condições de detectar e isolar uma falha antes que esta se transfira para o processo subsequente ou para o cliente/consumidor final.

A tabela 3.4 apresenta sugestões de critérios com seus respectivos Índices para avaliar a probabilidade de detecção das causas da falha (SAE J1739, 2002 – Tabela 9, Pg. 35).

| Chances de Detecção (D) | Critério para avaliar a Probabilidade de Detecção (D) da Causa da Falha | Classificação |
|--------------------------------|--|----------------------|
| Quase Impossível | Os dispositivos de controle existentes não irão detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha. Ou não existe um dispositivo de controle relacionado com esta causa/mecanismo. | 10 |
| Muito Remota | A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é muito remota. | 9 |
| Remota | A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é remota. | 8 |
| Muito Baixa | A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é muito baixa. | 7 |
| Baixa | A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é baixa. | 6 |
| Média | A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é moderada. | 5 |
| Moderadamente Alta | A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é moderadamente alta. | 4 |
| Alta | A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é alta. | 3 |
| Muito Alta | A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é muito alta. | 2 |
| Quase Certa | A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é quase certa. | 1 |

Tabela 3.4 – Sugestões de critérios para avaliar a detecção da causa da falha.

Fonte: SAE J1739, 2002 – Tabela 9, Pg. 35. (FMECA de Máquinas).

Se o equipamento/sistema possuir um baixo tempo médio entre falhas (MTBF), alto tempo médio para reparo (MTTR) e baixa disponibilidade operacional do sistema deve ser necessariamente submetido à manutenção.

3.2 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram elencados os critérios para determinação do sistema mais adequado a ser submetido à implantação da MCC.

Importante é ressaltar que todos os aspectos apresentados não são únicos, portanto devem ser adaptados para a realidade de cada processo de transformação, adequando tais critérios à realidade de cada sistema. Além disso, os aspectos relacionados à especificidade do negócio também devem ser explorados.

O processo de análise da prioridade de cada equipamento deve ser realizado a cada expansão do programa de MCC, pois a prioridade de um sistema pode mudar em função do histórico de manutenção, ou em função de mudanças no contexto do negócio da empresa. É necessário repetir o processo caso ocorram alterações nas condições operacionais e/ou modificações de projeto, para os sistemas afetados pelas mesmas, tendo sempre disponíveis os dados das análises anteriores para agilizar o processo e garantir maior consistência na tomada de decisão.

O próximo capítulo apresentará a metodologia para aplicação dos critérios apontados, e consequente definição do sistema.

4 DEFINIÇÃO DO SISTEMA

4.1 MAPEAMENTO DOS CRITÉRIOS

Objetivo do presente capítulo é mapear os critérios e seus respectivos quesitos por grau de importância para auxiliar o gestor da manutenção no processo decisório. Tal mapeamento é feito através da elaboração de uma escala de valores definindo-se a relevância dos critérios e dos respectivos quesitos de ponderação.

4.1.1 Avaliação dos critérios

Existem basicamente dois tipos de avaliação: avaliação qualitativa e quantitativa. Na avaliação qualitativa existe a necessidade de uma comparação com o senso-comum, ou ainda uma comparação com um referencial de base. Enquanto a avaliação quantitativa baseia-se na formulação de valores específicos, sem, necessariamente, expressar considerações dos méritos dos valores obtidos.

É possível separar a avaliação dos critérios em dois grupos: qualitativo e quantitativo. Em termos qualitativos a avaliação é realizada de forma subjetiva através da experiência do grupo de decisão. Em termos quantitativos são utilizadas informações dos bancos de dados da manutenção para a avaliação das alternativas.

Em princípio, toda avaliação tem por objetivo o estabelecimento de um julgamento qualitativo sobre o sistema avaliado. No entanto, toda avaliação científica é feita sobre resultados quantitativos. Tais resultados devem ser objetivamente apresentados ao usuário final, de forma que este possa tomar decisões acerca de seu sistema.

A tabela 4.1 lista os critérios com seus respectivos quesitos, bem como sua característica de avaliação, aqui abordada de maneira qualitativa para adequação à metodologia proposta. Os critérios de segurança possuem como quesitos a serem ponderados questões relacionadas com a segurança das instalações, humana e do meio-ambiente. Os critérios de produção com os quesitos: impacto na logística do processo produtivo e impacto na qualidade do produto. Na sequência, com uma visão técnica, são considerados os aspectos de custos operacionais (custo

operacional com insumos, manutenção corretiva, manutenção preventiva e número de intervenções corretivas/preventivas no equipamento), e a disponibilidade (frequência das falhas (tempo médio entre falhas), taxa de falha, tempo médio para reparo, efeito da falha no processo produtivo, probabilidade de detecção de falha)

| Crítérios | Quesitos |
|-----------------------------|--|
| Segurança | Instalações |
| | Humana |
| | Meio-ambiente |
| Produção | Impacto na logística do processo produtivo |
| | Impacto na qualidade do produto |
| Custos de Manutenção | Custo operacional com insumos |
| | Número de intervenções corretivas/preventivas no equipamento |
| | Custo com manutenção corretiva |
| | Custo com manutenção preventiva |
| Disponibilidade | Frequência das falhas (tempo médio entre falhas) |
| | Taxa de Falha |
| | Tempo médio para reparo |
| | Efeito da falha no processo produtivo |
| | Probabilidade de detecção de falha |

Tabela 4.1 - Critérios relevantes para o problema de decisão.
Fonte: A autora, 2012.

Richardson e Wanderley (1985) apresentam escalas de medição de atitudes desenvolvidas por Likert, Thurstone e Guttman, que se constituem de métodos para medir as atitudes através das respostas dos indivíduos, ou seja, das opiniões e avaliações que os sujeitos efetuam através de uma determinada situação. Neste âmbito, propõe-se ao entrevistado uma série de proposições padronizadas e solicita-se o grau de acordo com cada uma delas. O conjunto de respostas obtidas indicará a direção e a intensidade da atitude. Portanto, conclui-se que o uso de escalas para pontuação representando a visão do pesquisador ou examinador faz-se necessário para que no julgamento se possa atribuir valor ou unidade de medida.

Para avaliar cada um dos quesitos associados aos respectivos critérios, é proposta uma escala numérica subjetiva que permite o estabelecimento de valores para os cálculos que irão determinar qual sistema é prioritário (tabela 4.2). Tal escala de valores está relacionada a importância de cada quesito na avaliação da prioridade do equipamento/sistema.

| | | | | |
|----------------|---------|--------------|------|------------|
| Insignificante | Pequena | Considerável | Alta | Muito Alta |
| 1 | 3 | 5 | 8 | 10 |

Tabela 4.2 – Escala de avaliação para os critérios estabelecidos.

Fonte: A autora, 2012.

Os seguintes esclarecimentos são apresentados a fim de orientar o grupo de decisão em relação à escala qualitativa utilizada para a avaliação dos quesitos de cada critério:

- 1 - Insignificante: O quesito não tem importância para o equipamento/sistema em questão, ou seja, tal quesito não tem impacto na definição do equipamento/sistema como prioritário para implantação da MCC ou o quesito não impacta o processo produtivo sob análise;
- 3 - Pequena: O quesito tem pequena importância para o equipamento/sistema em questão, ou seja, tem pequeno impacto na definição do equipamento/sistema como prioritário para implantação da MCC ou o quesito tem pequeno impacto para o processo produtivo sob análise;
- 5 - Considerável: O quesito sob análise tem importância considerável para o equipamento/sistema ou processo produtivo e impacta na definição do equipamento/sistema como prioritário para implantação da MCC;
- 8 - Alta: O quesito sob análise tem importância alta para o equipamento/sistema ou processo produtivo e impacta fortemente na definição do equipamento/sistema como prioritário para implantação da MCC;
- 10 - Muito Alta: O quesito sob análise tem importância muito alta para o equipamento/sistema ou processo produtivo e impacta objetivamente ou diretamente na definição do equipamento/sistema como prioritário para implantação da MCC.

Quando a análise quantitativa for aplicável, as informações para a avaliação dos quesitos relacionados aos custos de manutenção, frequência de ocorrência de falhas e número de intervenções corretivas/preventivas são retiradas do banco de dados da manutenção.

4.1.2 Determinação da importância relativa de cada critério

A importância de cada critério e seus respectivos quesitos está relacionada com o seu impacto na definição da prioridade do equipamento/sistema ou no processo produtivo e, por isso, nessa etapa do modelo de decisão são atribuídos pesos, com o objetivo de mostrar a importância de cada critério para o tomador de decisão. Os pesos determinam quanto um critério e seus respectivos quesitos contribuem para a escolha de um equipamento/sistema ou outro, levando-se em consideração as especificidades do processo produtivo em questão.

| Cr terios | Quesitos | Peso (%) |
|----------------------------|---|-----------------|
| Seguran a | | 40 |
| | Instala es | 20 |
| | Humana | 50 |
| | Meio-ambiente | 30 |
| Produ o | | 20 |
| | Impacto na log stica do processo produtivo | 60 |
| | Impacto na qualidade do produto | 40 |
| Custos de Manuten o | | 10 |
| | Custo operacional com insumos | 30 |
| | N mero de interven es corretivas/preventivas no equipamento | 30 |
| | Custos com manuten o corretiva | 20 |
| | Custos com manuten o preventiva | 20 |
| Disponibilidade | | 30 |
| | Frequ ncia das falhas (tempo m dio entre falhas) | 20 |
| | Taxa de Falha | 10 |
| | Tempo m dio para reparo | 20 |
| | Efeito da falha no processo produtivo | 10 |
| | Probabilidade de detec o de falha | 40 |

Tabela 4.3 – Pesos atribuídos aos critérios de decis o

Fonte: A autora, 2012.

4.1.3 Avalia o global de cada sistema

Para determinar qual sistema   mais cr tico, nesta etapa de avalia o global das alternativas, s o efetuados c culos a partir dos valores atribuídos para cada crit rio e quesitos.

Inicialmente é determinada a avaliação do quesito (AQ). Esta é obtida a partir da multiplicação da nota atribuída àquele quesito, pelo respectivo peso (este em valores percentuais).

$$\text{Avaliação Quesito (AQ)} = \text{nota atribuída} \times \text{peso quesito} \quad \text{Equação 4.1}$$

A avaliação do critério é resultado da soma das m AQ multiplicada pelo peso (em valores percentuais) do respectivo critério.

$$\text{Avaliação critério (AC)} = \left[\sum_{i=1}^m AQ_i \right] \times \text{peso.critério} \quad \text{Equação 4.2}$$

Na qual m é o número de quesitos.

E por fim prioridade (sistema mais adequado a implantação da MCC) é determinada pela soma das n AC.

$$\text{Prioridade} = \left[\sum_{i=1}^n AC_i \right] \quad \text{Equação 4.3}$$

Na qual n é o número de critérios.

Esse processo deve ser repetido para todos os equipamentos/sistemas a serem ponderados no processo de manutenção. Aquele que obtiver maior pontuação no item prioridade será o sistema selecionado. A tabela 4.4 apresenta um exemplo aplicando a metodologia de cálculo adotada.

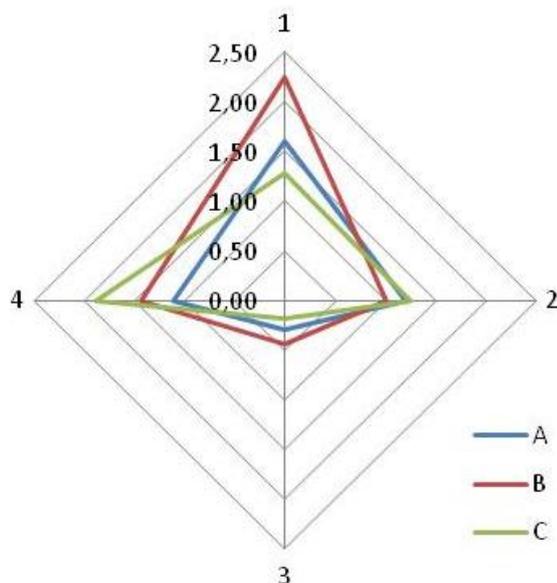


Figura 4.1 - Diagrama Radar - Critérios.
Fonte: Autora, 2012

O diagrama radar, mostrado na Figura 4.2, é composto de 14 eixos, que representam os quesitos apresentados na tabela 4.4. Cada eixo tem uma escala de 0 a 10 e a posição do quesito é definida nessa escala por um ponto, totalizando 14 pontos dispostos em círculo, que serão unidos por linhas, formando um polígono fechado de 14 lados e 14 vértices.

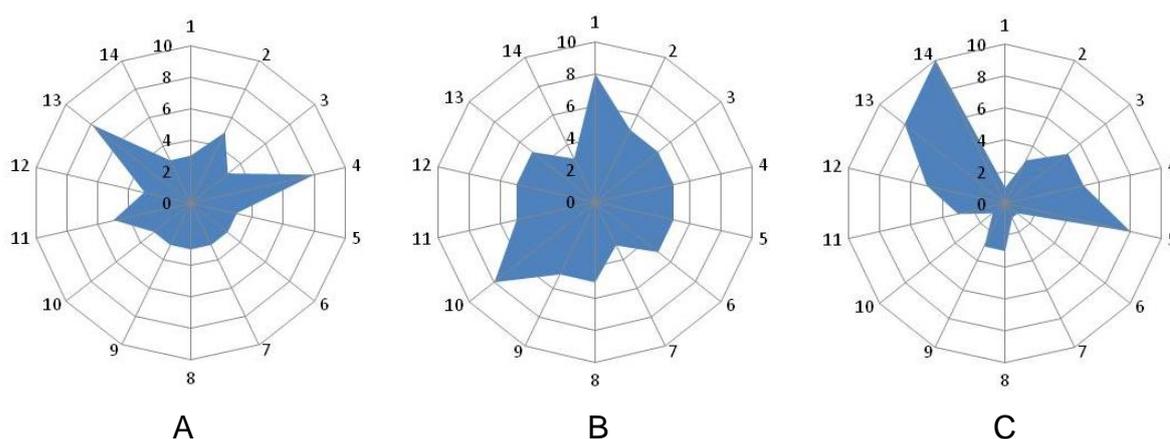


Figura 4.2 - Diagrama Radar - Quesitos.
Fonte: Autora, 2012

4.2 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os critérios para seleção dos sistemas a serem submetidos ao processo de implantação da MCC. Os critérios foram expostos

sob uma visão qualitativa, destacando a sua importância relativa no processo (atribuição de peso para cada critério/quesito).

Também foi definida uma escala subjetiva para avaliação de cada critério. Isso se fez necessário para o alcance do resultado esperado na metodologia de cálculo. A qual utiliza os valores atribuídos para os critérios e quesitos, multiplicado pelos seus respectivos pesos, para compor a nota de cada sistema. Sendo o sistema alvo aquele que possuir maior pontuação.

No próximo capítulo será apresentada a validação da metodologia, bem como seus resultados.

5 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA.

A definição da metodologia de pesquisa a ser adotada se constitui como peça fundamental do trabalho científico, mas a construção estruturada e a aplicação do instrumento de coleta de dados é um dos principais responsáveis pela eficácia dos resultados obtidos. Sobre esse aspecto, Chizzotti (2003) observa que um questionário, como instrumento de pesquisa científica, deve ter um conjunto de questões pré-elaboradas, sistemática e sequencialmente dispostas em itens que constituem o tema da pesquisa, com o objetivo de suscitar dos informantes respostas sobre o assunto.

Considerando a forma de tratamento de dados, tem-se a pesquisa qualitativa aplicada neste trabalho, que analisa “cada situação a partir de dados descritivos, buscando identificar relações, causas, efeitos, consequências, opiniões, significados, categorias e outros aspectos considerados necessários à compreensão da realidade estudada e que, geralmente, envolve múltiplos aspectos.” (VIANNA, 2001).

5.1 INSTRUMENTO DE VALIDAÇÃO

No presente estudo foram entrevistados especialistas da área de manutenção de cinco empresas. Esses profissionais contribuíram para o processo de validação do método desenvolvido no presente trabalho. Um questionário de avaliação do método multicritérios para definição do sistema mais adequado para implantação da manutenção centrada na confiabilidade foi elaborado para tal validação. Esta ferramenta permitiu que cada especialista ponderasse a coerência e veracidade dos itens da metodologia proposta.

A ferramenta de pesquisa foi enviada por email para consolidação das informações apresentados no presente estudo. Foi encaminhado também o corpo do trabalho para leitura e posterior avaliação, foi ressaltada para que a atenção maior da leitura fosse dada aos capítulos 3, 4 e 5 por tratarem da metodologia em si. O questionário aplicado aos especialistas da área de manutenção tem o formato apresentado no apêndice A.

A validação do método apresentado foi concretizada através da coleta de opiniões fornecidas por especialistas da área.

A pesquisa foi realizada com especialistas no segmento de manutenção industrial, especialistas de manutenção das empresas do ramo de petróleo, automobilístico, de automação, que estão ligadas à Associação Brasileira de Manutenção - ABRAMAN, entidade conceituada que tem como objetivo congrega profissionais da área. Foi aplicado um questionário a diferentes gestores de manutenção de diferentes plantas das empresas envolvidas, sendo estas localizadas em grandes centros industriais do país.

O grau de formação e a experiência dos especialistas foram fatores decisivos para a obtenção dos resultados satisfatórios observados na pesquisa de validação, permitindo o consenso da metodologia com a realidade observada em campo.

5.2 RESULTADOS DO PROCESSO DE VALIDAÇÃO

O desenvolvimento da pesquisa se iniciou com o envio por correio eletrônico (e-mail) do questionário, elaborado para a validação da metodologia para seleção de sistemas, para os especialistas selecionados.

A literatura não fornece parâmetros para o estabelecimento de um número mínimo ou máximo de especialistas. Nesta pesquisa foram selecionados doze especialistas conforme critério estabelecido na metodologia apresentada. A tabela 5.1 foi elaborada com um resumo das características gerais dos especialistas que contribuíram para a avaliação e validação da metodologia.

| Especialista | Empresa | Cargo |
|---------------------|----------------------|---|
| Especialista 01 | Ramo de petróleo | Gerente de Engenharia - Refino |
| Especialista 02 | Ramo de petróleo | Coordenador de Processos - Distribuição |
| Especialista 03 | Ramo de petróleo | Gerente de Manutenção - Refino |
| Especialista 04 | Ramo de petróleo | Supervisor de Engenharia de processos - Distribuição |
| Especialista 05 | Ramo de petróleo | Supervisor de Engenharia - Refino |
| Especialista 06 | Ramo automobilístico | Coordenador Manutenção Fábrica de Motores |
| Especialista 07 | Ramo automobilístico | Engenheiro de Produção |
| Especialista 08 | Ramo automobilístico | Coordenador de Manutenção |
| Especialista 09 | Ramo automobilístico | Supervisor de Manutenção |
| Especialista 10 | Ramo automobilístico | Supervisor de Manutenção |
| Especialista 11 | Ramo automação | Diretor |
| Especialista 12 | Ramo automação | Especialista em Gestão da Manutenção |

Tabela 5.1 – Características Gerais dos Especialistas Colaboradores

Fonte: A autora , 2012.

Após o envio dos questionários foram recebidas por e-mail as respostas dos especialistas. Essas respostas foram compiladas e os resultados estão apresentados na tabela 5.2.

| Consolidação da Pesquisa de Validação por Especialistas | | | |
|---|------------|------------|---------------------|
| Avaliação | Sim | Não | Parcialmente |
| 1. Você entendeu o objetivo da metodologia? | 12 | 0 | 0 |
| 2. Você acha que a metodologia apresentada será fácil de ser implementada? | 8 | 0 | 4 |
| 3. Os aspectos considerados refletem o comportamento da sua empresa? | 2 | 0 | 10 |
| 4. Tais aspectos são suficientes para cobrir o universo da manutenção? | 7 | 0 | 5 |
| 5. A metodologia abrange os aspectos mais importantes para apoiar a seleção de um equipamento/sistema? | 11 | 0 | 1 |
| 6. Em sua opinião, os pesos atribuídos aos critérios e quesitos condizem com a realidade da planta industrial? | 8 | 0 | 4 |
| 7. Você acha que esta metodologia pode ajudar a definir, mais adequadamente, o gerenciamento da manutenção centrada em confiabilidade em sua empresa? | 5 | 0 | 7 |
| 8. Você acha que a ponderação final dos valores são adequados para orientar a escolha de um sistema a ser implantado a manutenção centrada em confiabilidade? | 12 | 0 | 0 |
| 9. Você tem interesse em aplicar esta sistemática de seleção de concepção de manutenção em sua empresa? | 6 | 0 | 6 |

Tabela 5.2 - Resultados da pesquisa com os especialistas
Fonte: Autora, 2012

A análise dos dados referentes à pesquisa permitiu constatar um consenso satisfatório com média de total aprovação de 66% e de parcial aprovação de 34%, estando o desvio padrão em torno de 5,0. Nenhum dos entrevistados apontou que a metodologia não reflete a realidade da planta da empresa.

O gráfico da figura 5.2 permite visualizar melhor o resultado da aprovação de cada requisito validado, bem como sua média, conforme os resultados consolidados na tabela 5.2.

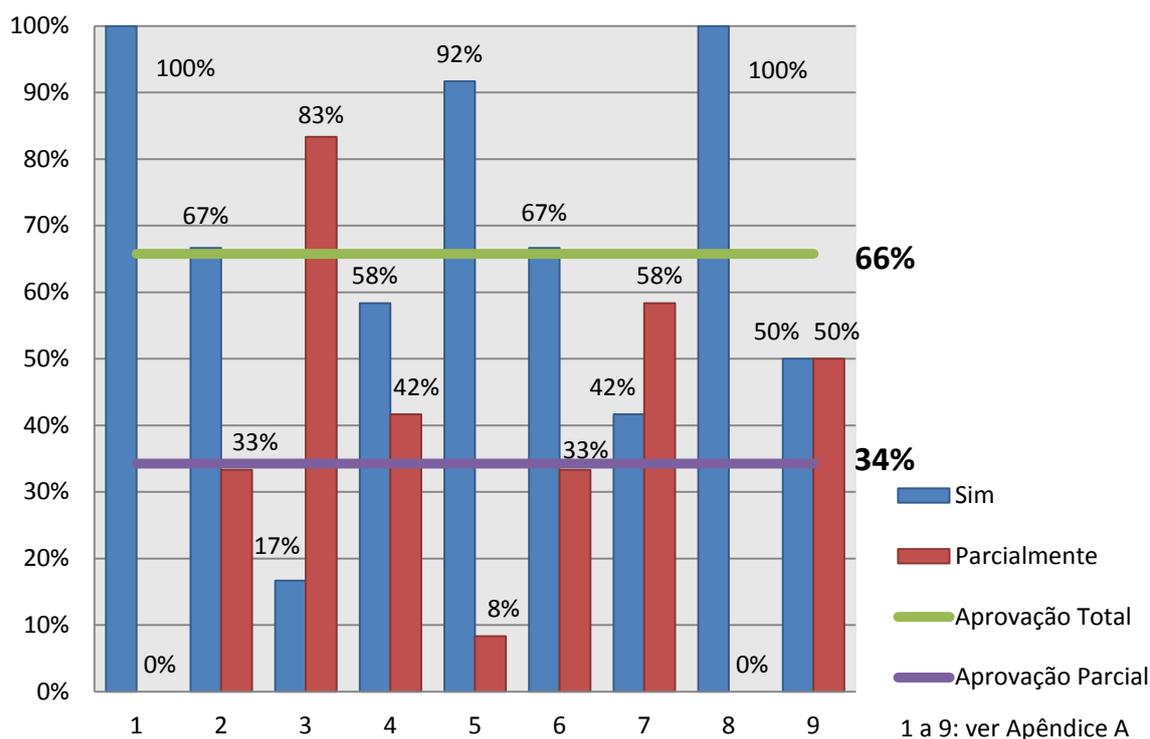


Figura 5.1 - Gráfico estatístico da pesquisa com os especialistas
 Fonte: Autora, 2012

5.3 CONCLUSÕES E SÍNTESE

Os resultados da pesquisa neste trabalho permitiram observar a importância da utilização do método para análise e definição do sistema mais adequado para implantação da MCC. Como uma ferramenta que utiliza conhecimento e experiência de especialistas, tal abordagem proporciona maior segurança para a implementação da metodologia proposta.

Para a determinação do momento da intervenção da MCC em equipamentos e processos, considerando os critérios tidos como relevantes e prioritários e objetivando a maximização da confiabilidade do processo, se mostra necessário uma análise cuidadosa por parte do gestor da manutenção, onde se faz presente fatores não só de caráter técnico, mas fatores tais como: a meta da empresa, os cuidados que esta releva no tocante às seguranças pessoal, patrimonial e do meio ambiente e do perfil do gestor maior.

Com base nessa pesquisa realizada com gestores de manutenção, foi possível destacar que para produtos com alta margem ou com tempos elevados de

parada do processo produtivo diante de uma anomalia, o peso do critério "Produção" deve ser mais elevado do que o proposto. Também permitiu acrescentar a natureza do processo produtivo (contínuo, batelada) para a decisão da determinação dos critérios para a realização etapa 2 da MCC. Além da constatação que a sistemática desenvolvida é um evento eficaz para auxiliar o Gestor da Manutenção nas decisões do seu dia-a-dia e aplicação dos recursos disponíveis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 INTRODUÇÃO

A manutenção desempenha um papel estratégico nas organizações competitivas, proporcionando a confiabilidade e a disponibilidade dos processos produtivos, evitando a deterioração e as falhas através da preservação dos equipamentos.

Quando se trata de determinar os sistemas/equipamentos a serem submetidos às intervenções da MCC, os gerentes de manutenção muitas vezes estão inseridos em um ambiente insensato, onde a decisão é pessoal e sem método programado. Apesar da grande quantidade de modelos que tratam do problema exposto, quando se deseja observar o comportamento de mais de um aspecto ao se estabelecer o sistema mais adequado, os modelos fornecem resultados poucos satisfatórios.

A tomada de decisão é um processo complexo em qualquer campo de atuação, assim como se mostra nas áreas de manutenção das empresas. A complexidade aumenta à medida que os critérios envolvidos são conflitantes.

Em resposta à dificuldade constatada, que foi de encontrar uma metodologia que reunisse todos os critérios relevantes a se observar em um programa de manutenção, o trabalho propõe a elaboração de uma metodologia para determinar qual sistema/equipamento deve ser submetido à etapa 2 da MCC, tendo em vista que tal etapa deve ser vista como parte do sistema de gerenciamento da manutenção da empresa, sendo realizada de maneira sistemática e não tratada apenas empiricamente.

Um ponto importante a ressaltar é a que a dificuldade de tal processo reside na validação das informações. Não existem documentos com métodos exatos de como chegar a uma resposta de qual é o melhor sistema a ser atacado pela manutenção, o presente estudo contribui para que a aplicação da manutenção centrada em confiabilidade seja fundamentada em dados, e não apenas em informações soltas do sistema.

6.2 SOBRE OS OBJETIVOS PROPOSTOS

Os quesitos propostos como objetivos gerais e objetivos específicos no capítulo 1 deste trabalho foram atingidos com êxito.

São evidenciados a seguir cada objetivo específico cumprido ao longo do desenvolvimento do trabalho:

- Estudo, investigação e compreensão das principais estratégias inerentes à aplicação do processo da MCC, principalmente no que diz respeito às etapas de tomada de decisão e seus diagramas. Entre outras metodologias estudadas, destacam-se: US Army (1999), Smith e Hinchcliffe (2004), IEC 60300 (1999), ABS (2004), NASA (1996), ATA MSG-3 (2003) e Siqueira (2005).
- Através do estudo e compreensão das metodologias e normas citadas no item anterior foram sintetizados critérios contendo parâmetros a serem considerados etapa de seleção de sistema e coleta de informações;
- Foi elaborada uma metodologia que considera a pontuação estabelecida para os critérios determinados para definir o sistema alvo da MCC;
- A validação da metodologia se deu através da opinião de especialistas da área de manutenção.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A conclusão deste trabalho, fundamentada nos resultados obtidos, permite vislumbrar novas pesquisas visando a continuidade e concretização do que foi realizado até o momento. Destacam-se, neste sentido, as seguintes sugestões:

- Ajustar e aplicar a Metodologia, aqui desenvolvida, em processos industriais;
- Estudo para aplicação dessa metodologia na etapa 1 da Teoria de Restrições;
- Realizar um estudo comparativo entre esta metodologia e os outros métodos usualmente utilizados para determinação dos sistemas;

REFERÊNCIAS

- ABS – American Bureau of Shipping. **Guidance Notes on Reliability Centered Maintenance**. USA, 2004.
- ANTUNES JR., J. A. V. **Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da Teoria das Restrições e da teoria que sustenta a construção dos Sistemas de Produção com Estoque Zero**. Porto Alegre, UFRGS, 1998.
- ASSIS, Rui. **Análise multicritério do desempenho de equipamentos**. In: 4º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica. Lisboa - Portugal, 2005.
- ATA MSG-3. **Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development**. Air Transport Association of America, Inc. Revisão 2003.
- BARDOSSY, A.& DUCKSTEIN,L. **Fuzzy Rule-Based Modeling with applications to Geophysical, Biological an Enginnering Systems**. CRC Press. USA, 1995.
- BELMONTE, Danillo Leal. **Modelo de um framework para o estabelecimento da criticidade**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEPP, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Ponta Grossa, 2007.
- BLOOM, Neil B. **Reliability Centered Maintenance: implementation made simple**. Editora McGraw-Hill Inc., 2006.
- CAMPOS, VICENTE FALCONI. **Controle da Qualidade Total (No Estilo Japonês)**. Edição: várias. Belo Horizonte: DG Editors, 1999.
- CHIZZOTTI, Antonio. **Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais**. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2003.
- IEC-60300-3-11. **Dependability Management – Part 3-11: Application Guide – Reliability Centred Maintenance**. Primeira Edição, IEC – International Electrotechnical Commission, 1999.
- JIA, X.; CHRISTER, A. H. **A prototype cost Model of Functional Check Decisions in Reliability-centred Maintenance**, Journal of the Operational Research Society, 2002, no. 12, v.152, p.1380-1384.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- MOUBRAY, J. **Reliability Centered Maintenance**. New York, Editora Industrial Press, Revisão da 2ª Edição, 2001.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration. **Reliability Centered Maintenance: guide for facilities and collateral equipment**. NASA, 2000.
- NAVAIR 00-25-403. **Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process**. US Navy's Naval Air Systems Command (NAVAIR), 2005.

PINTO, Alan K., XAVIER, Júlio A. N. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro, Qualitymarck Ed., 2001.

RICHARDSON, Roberto Jarry, WANDERLEY, José Carlos Vieira. **Medição de Atitudes nas Ciências da Conduta**. João Pessoa: Ed. da Universidade Federal da Paraíba, 1985.

RIGONI, Emerson. **Metodologia para implantação da manutenção centrada na confiabilidade: uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em Conhecimento e Lógica Fuzzy**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia, Florianópolis, 2009.

SAE - JA1011. **Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance (RCM) processes**. Society of Automotive Engineers, 1999.

SAE - JA1012. **A Guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) Standard**. Society of Automotive Engineers, 2002.

SALTORATO, Patrícia; CINTRA, Caio Tellini. **Implantação de um programa de manutenção produtiva total em uma indústria calçadista em Franca**. 2008. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br>>. Acesso em: 12 de abril, 2012.

SIQUEIRA, Iony Patriota de., **Manutenção Centrada na Confiabilidade - Manual de Implementação**. Rio de Janeiro, 1ªed., Editora Qualitymark Ltda., 2005.

SIQUEIRA, Iony Patriota de., **Measuring the Impacts of an RCM Program on Power System Performance**. IEEE/Power Engineering General Meeting, San Francisco, 2005a.

SMITH, A. M. **Reliability Centered Maintenance**. Boston Editora McGraw Hill, 1993.

SMITH, A. M., HINCHCLIFFE, G. R. **RCM – Gateway to World Class Maintenance**. Editora Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

SOUZA, Fernando. M. C. de. **Decisões racionais em situações de incerteza**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2002.

SUZUKI, Tokutaro. **TPM in process industries**. Portland: Productivity Press, 1994.

TAKAHASHI, Yoshikazu; TAKASHI, Osada. **Manutenção produtiva total**. São Paulo: IMAM, 1993.

VIANA, Herbert R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

VIANNA, Ilca Oliveira de Almeida. **Metodologia do Trabalho Científico: um enfoque didático da produção científica**. São Paulo: E.P.U., 2001.

XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: editora de desenvolvimento gerência 1998.

APÊNDICE A - Questionário de avaliação da metodologia para análise e definição do sistema mais adequado para implantação da manutenção centrada na confiabilidade.

Avaliador: _____ Data: __/__/__

Empresa: _____

Cargo: _____

Orientações:

O presente questionário foi elaborado para validar a metodologia desenvolvida no presente trabalho.

Com base no conteúdo apresentado e no seu conhecimento da área de manutenção pede-se a seguinte avaliação:

1. Você entendeu o objetivo da metodologia?

Sim Não Parcialmente

2. Você acha que a metodologia apresentada será fácil de ser implementada?

Sim Não Parcialmente

3. Os aspectos considerados refletem o comportamento da sua empresa?

Sim Não Parcialmente

4. Tais aspectos são suficientes para cobrir o universo da manutenção?

Sim Não Parcialmente

5. A metodologia abrange os aspectos mais importantes para apoiar a seleção de um equipamento/sistema?

Sim Não Parcialmente

6. Em sua opinião, os pesos atribuídos aos critérios e quesitos condizem com a realidade da planta industrial?

Sim Não Parcialmente

7. Você acha que esta metodologia pode ajudar a definir, mais adequadamente, o gerenciamento da manutenção centrada em confiabilidade em sua empresa?

| | | | | | |
|-----|--------------------------|-----|--------------------------|--------------|--------------------------|
| Sim | <input type="checkbox"/> | Não | <input type="checkbox"/> | Parcialmente | <input type="checkbox"/> |
|-----|--------------------------|-----|--------------------------|--------------|--------------------------|

8. Você acha que a ponderação final dos valores são adequados para orientar a escolha de um sistema a ser implantado a manutenção centrada em confiabilidade?

| | | | | | |
|-----|--------------------------|-----|--------------------------|--------------|--------------------------|
| Sim | <input type="checkbox"/> | Não | <input type="checkbox"/> | Parcialmente | <input type="checkbox"/> |
|-----|--------------------------|-----|--------------------------|--------------|--------------------------|

9. Você tem interesse em aplicar esta sistemática de seleção de concepção de manutenção em sua empresa?

| | | | | | |
|-----|--------------------------|-----|--------------------------|--------------|--------------------------|
| Sim | <input type="checkbox"/> | Não | <input type="checkbox"/> | Parcialmente | <input type="checkbox"/> |
|-----|--------------------------|-----|--------------------------|--------------|--------------------------|

10. Em sua opinião, quais critérios deveriam ser apresentados para uma seleção de sistema mais precisa?

| |
|--|
| |
| |
| |
| |