



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PONTA GROSSA
DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO - PPGEP

UMA SISTEMÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DA CRITICIDADE DE
EQUIPAMENTOS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS BASEADA NA
ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

KURTT SCHAMNE HELMANN

PONTA GROSSA

2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

KURTT SCHAMNE HELMANN

**UMA SISTEMÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DA CRITICIDADE DE
EQUIPAMENTOS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS BASEADA NA
ABORDAGEM MULTICRITÉRIO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Rui Francisco M. Marçal, D. Sc.

PONTA GROSSA

2008

H478 Helmann, Kurtt Schamne

Uma sistemática para determinação da criticidade de equipamentos em processos industriais baseada na abordagem multicritério. / Kurtt Schamne Helmann. -- Ponta Grossa: [s.n.], 2008.

94 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Rui Francisco M. Marçal

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Ponta Grossa, 2008.

1. Manutenção - Gestão . 2. Equipamentos - Determinação da criticidade. 3. Abordagem multicritério. 4. ELECTRE. 5. PROMETHE. I. Marçal, Rui Francisco M. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. III. Título.

CDD 658.5



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa
Gerência de Pesquisa e Pós-Graduação
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**



TERMO DE APROVAÇÃO

Título de Dissertação Nº 103/2008

**SISTEMÁTICA DE DETERMINAÇÃO DA CRITICIDADE DE EQUIPAMENTOS EM
PROCESSOS INDUSTRIAIS BASEADA NA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO**

por

Kurtt Schamne Helmann

Esta dissertação foi apresentada às **16 horas de 17 de dezembro de 2008** como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, linha de pesquisa em **Gestão da Produção e Manutenção**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof.^ª. Dr.^ª. Caroline Maria Miranda Mota
(UFPE)

Prof. Dr. Vicente Machado Neto
(UTFPR)

Prof. Dr. Luis Mauricio Martins de
Resende (UTFPR)

Prof. Dr. Rui Francisco Martins
(UTFPR) - Orientador

Visto do Coordenador:

Kazuo Hatakeyama (UTFPR)
Coordenador do PPGEP

DEDICATÓRIAS

A minha amada esposa Caroline, que com muito amor e felicidade compartilho todos os momentos desta caminhada.

A minha querida filha Maria Eduarda, anjo de luz que Deus trouxe à minha vida.

Aos meus pais, Donato e Dulce, que com seus exemplos e ensinamentos formaram meu caráter.

Esta conquista é tanto de vocês quanto minha, pois sem o amor e apoio de vocês mais esta etapa não estaria sendo superada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, força suprema e razão da existência. Obrigado pela oportunidade de mais esta encarnação na busca do aprimoramento e evolução do espírito.

Ao professor Marçal, mais que um orientador, um grande amigo que aprendi a respeitar e admirar. Obrigado pela dedicação, paciência e ensinamentos repassados com grande competência ao longo desta pesquisa.

A minha esposa Caroline e a nossa filha Maria Eduarda por fazerem a minha vida tão especial, e com seu amor e carinho tornarem a caminhada mais fácil e agradável. Obrigado querida Caroline por acreditar na minha capacidade e pelo apoio incondicional ao longo de todo este trabalho, pois se não fosse por você não haveria nem um começo. Você é o amor da minha vida. Maria, obrigado pelos sorrisos e afagos ao longo das noites que passei estudando, eles com certeza me fortaleceram para chegar até aqui. Obrigado a vocês duas por reclamarem nas noites que não fui deitar cedo e pelos sábados que fiquei estudando, por cobrarem pela demora no término da dissertação e pela preocupação maior do que a minha por causa deste Mestrado, tudo isso além de estimular-me para chegar ao fim do trabalho, serviu principalmente para mostrar o tamanho do amor de vocês por mim. Obrigado do fundo do meu coração. Esta conquista é nossa.

Aos meus pais Donato e Dulce pela oportunidade da vida. Vocês sempre foram meus exemplos de conduta e caráter. Se cheguei até aqui é porque lá atrás vocês pegaram na minha mão e ensinaram-me o caminho. Com vocês aprendi o valor da família, do estudo e do trabalho. Agradeço a Deus por pais tão especiais como vocês.

Ao meu irmão Donatinho, obrigado por dividirmos a mesma família. Obrigado pelas brincadeiras, pelos risos, pela alegria dos tempos de criança e agora, depois que crescemos, obrigado também pela amizade e confiança.

A todos os colegas e colaboradores do Programa pelas trocas de experiência, pelo apoio nos momentos difíceis e pela amizade demonstrada durante o curso.

Aos professores do PPGEF que direta ou indiretamente contribuíram para o aprendizado. Obrigado por compartilharem seus conhecimentos. Aqui, um agradecimento especial ao professor Pilatti, homem e profissional admirável.

Meus agradecimentos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por oportunizar não somente a mim, mas a comunidade um ensino de qualidade e excelência. Tenho orgulho pelas três passagens por esta instituição, onde pude crescer como pessoa e como profissional.

Obrigado à empresa estudada por permitir a realização desta pesquisa, disponibilizando todos os recursos necessários para a conclusão de mais esta etapa. Obrigado, especialmente a Dayane, André, Sérgio Negrão, Paulo Ferreira, Alisson, Gilson, Juarez e Mário, colegas que com seus conhecimentos e experiências engrandeceram o trabalho.

A todos vocês, que contribuíram de forma particular e especial, os meus sinceros agradecimentos.

“Manutenção, é isto:
Quando tudo vai bem, ninguém lembra que
existe.
Quando vai mal, dizem que não existe.
Quando é para gastar, acha-se que não é
preciso que exista.
Porém quando realmente não existe, todos
concordam que deveria existir.” (A. Suter)

“Se queres progredir não deves repetir a
história, mas fazer uma história nova. Para
construir uma nova história é preciso trilhar
novos caminhos.” (Gandhi)

RESUMO

O presente estudo trata da determinação da criticidade de equipamentos em processos industriais. A determinação dos equipamentos críticos ao processo produtivo, garantindo a melhor utilização dos recursos de manutenção é um desafio para os Gestores, uma vez que deve ser tratada de forma diferenciada a fim de evitar danos humanos, financeiros e ambientais à empresa, aos colaboradores e à sociedade. Na busca de auxiliar os Gestores de Manutenção nesse desafio, esta pesquisa objetiva disponibilizar uma sistemática para a determinação da criticidade de equipamentos em processos industriais. Baseado na abordagem multicritério de decisão são estabelecidas oito etapas para a execução da sistemática, sendo: identificação dos tomadores de decisão; definição das alternativas possíveis; definição dos critérios relevantes para o problema de decisão; avaliação das alternativas em relação aos critérios; determinação da importância relativa dos critérios; determinação da avaliação global de cada alternativa; análise de sensibilidade; e implementação. A sistemática permite a avaliação para cada par de equipamentos em relação aos múltiplos critérios, verificando em qual critério um equipamentos é mais crítico que o outro. Primeiramente, é utilizado o método ELECTRE I (*Elimination et Chix Traduisant la Réalité*) e selecionados os equipamentos de alta criticidade. Em seguida, com o auxílio do método PROMETHEE II (*Preference Ranking Organization Method for Erichment Evaluation*), os equipamentos são ordenados do mais para o menos crítico. Para exemplificação do uso da sistemática proposta, realiza-se um ensaio em um processo industrial de uma indústria de alimentos.

Palavras-chave: Gestão da Manutenção, Determinação da Criticidade de Equipamentos, Abordagem Multicritério, ELECTRE, PROMETHEE.

ABSTRACT

The present study is about the determination of the importance of the equipment in industrial processes. The determination of critical equipment for the productive process, ensuring the best use of the maintenance resources is a challenge for the Managers, because it needs to be treated differently in order to avoid human, financial and environmental damage to the company, the collaborators and to the society. In the search to help the Managers of maintenance in this challenge, this research has as objective to make available a system for the determination of importance of equipment in industrial processes. Based on the multi-criteria approach of decision there are eight steps for the execution of the system, as follows: identification of the decision makers; definition of the possible alternatives, definition of the criteria which are relevant for the decision problem; evaluation of the alternatives in relation to the criteria; determination of a relative importance of the criteria; determination of the global evaluation of each alternative; analysis of sensibility; and implementation. The system allows the evaluation of each pair of equipment in relation to the multiple criteria, verifying in which criteria one equipment is more important than another one. Firstly, using the ELECTRE I method (*Elimination et Chix Traduisant la Réalité*) the equipment is selected in high importance. Then, with the help provided by the PROMETHEE II method (*Preference Ranking Organization Method for Erichment Evaluation*), the equipment is set in order from the least to the most important. One example of the use of the proposed system, is a reheasal experiment in an industrial process of a food industry.

KEYWORDS: Maintenance Managing, Determination of Importance of Equipment, Multi-criteria Approach, ELECTRE, PROMETHEE.

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1	TMEF – Tempo médio entre falhas.....	34
EQUAÇÃO 2	Índice de concordância.....	74
EQUAÇÃO 3	Índice de discordância.....	75

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	A evolução dos tipos de manutenção.....	20
FIGURA 2	Tempo total de operação de um equipamento.....	33
FIGURA 3	Etapas da tomada de decisão.....	36
FIGURA 4	Algoritmo de Criticidade.....	42
FIGURA 5	Matriz de Criticidade.....	45
FIGURA 6	Matriz de Criticidade e Tratamento em Função da Importância Relativa do Equipamento.....	48
FIGURA 7	Recebimento de leite.....	57
FIGURA 8	Silo isotérmico de armazenagem.....	58
FIGURA 9	Processo de centrifugação e vista em corte da centrífuga.....	61
FIGURA 10	Vista geral de uma máquina termoformadora.....	63
FIGURA 11	Detalhe dos potes termoformados.....	64
FIGURA 12	Etapas da sistemática proposta para determinação da criticidade.....	65
FIGURA 13	Grafo das relações de superação entre as alternativas.....	77
FIGURA 14	Matriz de avaliação.....	80
FIGURA 15	Preferências calculadas para cada equipamento.....	80
FIGURA 16	Comparação global dos equipamentos.....	81
FIGURA 17	Ordenação de criticidade dos equipamentos calculada pelo método PROMETHEE II.....	82

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	Aspectos considerados para a determinação da criticidade de um equipamento.....	29
QUADRO 2	Matriz GUT para determinação da criticidade de equipamentos.....	38
QUADRO 3	Avaliação do aspecto segurança e meio-ambiente.....	39
QUADRO 4	Avaliação do aspecto qualidade e produtividade.....	39
QUADRO 5	Avaliação do aspecto taxa de ocupação.....	40
QUADRO 6	Avaliação do aspecto oportunidade de produção.....	40
QUADRO 7	Avaliação do aspecto frequência de quebra.....	40
QUADRO 8	Avaliação do aspecto manutenibilidade.....	41
QUADRO 9	Níveis de Severidade de Risco.....	43
QUADRO 10	Níveis de Frequência de Falha.....	44
QUADRO 11	Níveis de Detectabilidade de Falha.....	44
QUADRO 12	Matriz de Criticidade considerando níveis de aceitabilidade.....	46
QUADRO 13	Matriz de Criticidade e Risco.....	47
QUADRO 14	Problemática em função do tipo de problema.....	52
QUADRO 15	Principais equipamentos do processo de recebimento de leite.....	58
QUADRO 16	Principais equipamentos do processo de padronização e pasteurização.....	59
QUADRO 17	Principais equipamentos da etapa de tratamento térmico e homogeneização.....	60
QUADRO 18	Principais equipamentos que compõe o processo de centrifugação...	61
QUADRO 19	Equipe de tomadores de decisão envolvidos no processo de determinação de criticidade dos equipamentos.....	66
QUADRO 20	Alternativas de decisão.....	66
QUADRO 21	Crítérios relevantes para o problema de decisão.....	68
QUADRO 22	Escala de avaliação para o critério segurança.....	69
QUADRO 23	Explicação da escala verbal utilizada na avaliação qualitativa.....	69

QUADRO 24	Pesos atribuídos aos critérios de decisão.....	72
QUADRO 25	Limiares de concordância e discordância estabelecidos.....	75

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Avaliação dos equipamentos em relação aos critérios.....	70
TABELA 2	Normalização da avaliação dos equipamentos em relação aos critérios e normalização dos pesos dos critérios.....	73
TABELA 3	Matriz C – Índices de concordância em relação às alternativas.....	74
TABELA 4	Matriz D – Índices de discordância em relação às alternativas.....	75
TABELA 5	Matriz S – Relação de superação entre as alternativas.....	76
TABELA 6	Avaliação dos equipamentos em relação aos critérios para os grupos de criticidade A e B.....	79

SUMÁRIO

RESUMO.....	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE EQUAÇÕES	IX
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE QUADROS.....	X
LISTA DE TABELAS	XI
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 <i>Objetivo geral.....</i>	<i>15</i>
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	<i>15</i>
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	16
1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	17
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 CRITICIDADE DE EQUIPAMENTOS	20
2.1 O PROCESSO INDUSTRIAL E A MANUTENÇÃO.....	20
2.2 CRITICIDADE	24
2.3 DETERMINAÇÃO DA CRITICIDADE.....	25
2.4 ASPECTOS CONSIDERADOS NA DETERMINAÇÃO DA CRITICIDADE DE EQUIPAMENTOS	30
2.4.1 <i>Segurança e meio-ambiente.....</i>	<i>31</i>
2.4.2 <i>Produção e qualidade.....</i>	<i>31</i>
2.4.3 <i>Custo da manutenção</i>	<i>32</i>
2.4.4 <i>Regime de operação</i>	<i>33</i>
2.4.5 <i>Frequência da falha.....</i>	<i>33</i>
2.4.6 <i>Número de intervenções (corretivas/preventivas)</i>	<i>34</i>
3 DETERMINANDO A CRITICIDADE DE EQUIPAMENTOS.....	35
3.1 TOMADA DE DECISÃO	35
3.2 MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA CRITICIDADE.....	37
3.2.1 <i>Sistema GUT.....</i>	<i>37</i>
3.2.2 <i>Algoritmo de criticidade.....</i>	<i>39</i>

3.2.3	<i>Matriz de criticidade</i>	43
4	APOIO MULTICRITÉRIO A DECISÃO	49
4.1	ABORDAGEM MULTICRITÉRIO	49
4.2	ATORES DA DECISÃO	52
4.3	ETAPAS DA ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO	53
5	SISTEMÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DA CRITICIDADE	57
5.1	DESCRIÇÃO DO PROCESSO ESTUDADO	57
5.1.1	<i>Recebimento de leite</i>	57
5.1.2	<i>Padronização e pasteurização</i>	59
5.1.3	<i>Tratamento térmico do leite</i>	59
5.1.4	<i>Centrifugação</i>	60
5.1.5	<i>CIP</i>	62
5.1.6	<i>Envase</i>	62
5.2	DETALHAMENTO DA SISTEMÁTICA	64
5.2.1	<i>Etapa 1 – Identificação dos tomadores de decisão</i>	65
5.2.2	<i>Etapa 2 – Definição das alternativas possíveis</i>	66
5.2.3	<i>Etapa 3 – Definição dos critérios relevantes para o problema de decisão</i>	68
5.2.4	<i>Etapa 4 – Avaliação das alternativas em relação aos critérios</i>	68
5.2.5	<i>Etapa 5 – Determinação da importância relativa de cada critério</i>	71
5.2.6	<i>Etapa 6 – Avaliação global de cada alternativa</i>	72
5.2.6.1	Aplicação do método ELECTRE I	72
5.2.6.2	Aplicação do método PROMETHEE II	78
5.2.7	<i>Etapa 7 – Análise de sensibilidade</i>	82
5.2.8	<i>Etapa 8 – Implementação</i>	82
5.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE A SISTEMÁTICA PROPOSTA	83
6	CONCLUSÕES	86
6.1	CONCLUSÕES SOBRE O ESTUDO REALIZADO	86
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	88
6.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
	REFERÊNCIAS	89
	APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	94

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica e gerencial, combinadas com a abertura dos mercados e a concorrência globalizada expõem as organizações a novos desafios, onde um novo posicionamento organizacional é exigido a fim de possibilitar a competitividade e lucratividade. É fundamental para as empresas compreenderem quais são os fatores que diferenciam as empresas líderes, identificando, adequando e aplicando suas melhores práticas na busca do sucesso.

No setor produtivo o bom desempenho dos equipamentos reflete diretamente nos resultados da organização. Evidentemente que as paradas não programadas da linha de produção, quando um equipamento falha, geram a queda na receita, se convertendo em prejuízos significativos. Com a ocorrência de paradas não programadas ocorre a diminuição da produtividade, do lucro e compromete a qualidade dos produtos em processo, elevando o custo da produção.

Há tempos o paradigma de que a manutenção é um mal necessário deixou de ser válido. Esta visão ultrapassada não cabe nas indústrias atuais. Segundo Kardec e Nascif (2005) a manutenção é responsável por garantir a disponibilidade e confiabilidade dos ativos industriais, de modo a atender a um processo de produção com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados, desempenhando um papel estratégico nas organizações, sendo o diferencial das empresas líderes em seus segmentos. Em complemento, Monchy (1989) e Laugeni e Martins (2002) colocam que a manutenção dos equipamentos de produção é fundamental para a produtividade das indústrias, aumentando sua competitividade.

A manutenção contribui de forma direta para a empresa se manter competitiva. Para que a manutenção cumpra com sua missão junto ao processo produtivo é importante seu planejamento e controle, considerando a aplicação dos recursos disponíveis, sejam eles técnicos (metodologias e ferramentas), humanos (mão de obra especializada) ou financeiros. Com frequência estes recursos da manutenção são limitados não sendo suficientes para o atendimento às demandas fabris.

Um grande número de equipamentos exige dos Gestores da Manutenção decisões de como operacionalizar a manutenção, dando prioridade no tratamento dos equipamentos com maior importância e garantindo a confiabilidade do sistema com os recursos disponíveis. Nem

sempre tais decisões se dão de forma simplificada, uma vez que são influenciadas por diferentes fatores. Cada empresa apresenta suas especificidades em relação a estes fatores, sendo possível uma variedade de aspectos influenciarem a decisão do Gestor da Manutenção. Entretanto, aspectos relacionados à segurança humana, do meio-ambiente, das instalações, à produção e qualidade, de custos da manutenção, do regime de operação, da frequência das falhas e do número de intervenções corretivas/preventivas no equipamento são primordiais.

Visto as especificidades apresentadas, percebe-se a necessidade de criar meios para que os Gestores da Manutenção tenham condições de classificar de forma assertiva a criticidade dos equipamentos de uma planta industrial. De acordo com Marçal e Susin (2005), mantenedores, engenheiros, enfim profissionais de manutenção, deparam-se atualmente com as mais diversas tarefas na atividade de manutenção e para se assegurarem de cumprirem corretamente tais tarefas, estes profissionais buscam ferramentas que os auxiliem no processo de tomada de decisões. Sendo assim, a questão que estimulou a realização da presente pesquisa foi: **Como classificar a criticidade dos equipamentos industriais considerando as necessidades e diferentes aspectos relevantes para as empresas, garantindo a melhor aplicação dos recursos disponíveis na manutenção?**

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Propor uma sistemática para determinação da criticidade de equipamentos em processos industriais considerando as necessidades e particularidades das empresas.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral proposto fez-se necessário a realização de algumas etapas, aqui denominadas como objetivos específicos:

- Relacionar as conseqüências das falhas na paralisação de um equipamento crítico;
- Mapear os métodos usuais de determinação da criticidade e suas características;
- Aplicar a metodologia multicritério de decisão para determinar a criticidade;
- Implementar a sistemática em um processo industrial real.

1.2 Justificativa

Pesquisas da Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN, 2005), que demonstra a situação da manutenção no Brasil, revelam que as empresas investem maciçamente na manutenção de suas plantas fabris. Os custos em manutenção representam em média 4,10% do faturamento bruto das organizações e apesar de todos os esforços, a indisponibilidade operacional em função da manutenção cresceu de 4,74% em 1997 para 5,80% em 2005, demonstrando a necessidade de uma melhor aplicação dos recursos.

Gestores da Manutenção devem atender necessidades antagônicas dentro do processo produtivo. De um lado, exige-se da manutenção o aumento da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, de forma a mantê-los em operação pelo maior tempo possível sem apresentarem falhas. Do outro, busca-se o menor custo possível.

A determinação da criticidade dos equipamentos dentro dos processos produtivos é fundamental não só para a otimização e qualidade da manutenção, mas para a competitividade e lucratividade das empresas. Esta determinação permite aos Gestores da Manutenção direcionar os esforços onde realmente se faz necessário.

Sendo assim, a pesquisa mostra-se atual e relevante, pois apresenta uma nova alternativa para o problema de determinação da criticidade de equipamentos, proporcionando aos Gestores de Manutenção o direcionamento necessário para a melhor aplicação dos esforços financeiros, humanos e técnicos, gerando alta confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos no processo. Do ponto de vista acadêmico, a pesquisa está inserida na linha de pesquisa de Gestão da Manutenção do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

1.3 Delimitação da pesquisa

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 de criticidade de equipamentos, que considere múltiplos critérios e que venha a contribuir para a decisão dos gestores na aplicação dos recursos de manutenção disponíveis.

O ensaio da sistemática proposta é realizado com base em um estudo de caso em um processo de fabricação de uma Empresa de Laticínios de grande porte, o que não impede sua

aplicação em outras organizações, de pequeno e médio porte ou de outros segmentos, que necessitem abordar metodicamente a análise de criticidade de equipamentos.

Essa pesquisa se limita a estruturar, ensaiar e propor, mais uma sistemática de apoio à decisão para determinação da criticidade de equipamentos industriais.

1.4 Metodologia da pesquisa

A metodologia de um trabalho científico é onde o pesquisador indica as opções e a leitura operacional que foi realizada da pesquisa, ou seja, são os caminhos utilizados para atingir os objetivos da pesquisa.

A pesquisa é a atividade básica das ciências, na sua indagação e descoberta da realidade. É uma atitude e uma prática teórica de constante busca que define um processo intrinsecamente inacabado e permanente. É uma atividade de aproximação sucessiva da realidade que nunca se esgota, fazendo uma combinação particular entre teoria e dados. A pesquisa pode ser classificada das seguintes formas: do ponto de vista da sua natureza, do ponto de vista da abordagem do problema, do ponto de vista dos seus objetivos e finalmente do ponto de vista dos procedimentos técnicos (LAKATOS E MARCONI, 1990).

A presente pesquisa com relação a sua natureza é classificada, segundo Silva e Menezes (2001) como pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimento para aplicação prática em soluções de problemas específicos.

Do ponto de vista da abordagem do problema, a pesquisa é classificada como qualitativa e quantitativa. Em algumas etapas do modelo são quantificados os resultados, ou seja, traduzido em números as opiniões e informações produzindo indicadores verificáveis através de equações matemáticas. Já em outras etapas a análise é qualitativa, buscando-se a interpretação e a atribuição de significados aos fenômenos.

Quanto aos seus objetivos, o trabalho proposto situa-se na categoria de pesquisa exploratória, pelas suas características em relação a exploração do tema de forma científica. Segundo Gil (1996, p.45), a pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Acrescenta o autor que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de idéias ou a descoberta de intuições. No caso específico desta pesquisa, quem tem como tema a

determinação da criticidade de equipamentos, entende-se como relevante a consideração de multicritérios inerentes as especificidades da empresa.

Por fim, segundo a classificação proposta por Gil (1996, p.48), quanto aos procedimentos técnicos, o trabalho propõe uma pesquisa bibliográfica: que será elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e materiais disponibilizados na internet. Além deste procedimento, se faz uso do estudo de caso, o qual para Gil (1996, p.58) é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento, tarefa praticamente impossível mediante os outros delineamentos considerados. Em complemento, Yin (2005, p.32) coloca que o estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre os fenômenos e o contexto não estão claramente definidos. O estudo de caso será realizado em uma ambiente industrial de uma empresa de grande porte do segmento de alimentos. Através do estudo de caso será possível o ensaio da sistemática proposta, contribuindo desta forma para o atingimento do objetivo principal do trabalho.

1.5 Estrutura do trabalho

A pesquisa está organizada em seis capítulos. No Capítulo 1 são apresentados os objetivos e a justificativa da pesquisa, sua finalidade e a contribuição que o trabalho apresenta na área de apoio à decisão na Gestão da Manutenção.

Nos capítulos 2, 3 e 4 é apresentada a base conceitual da pesquisa. No Capítulo 2 é realizada uma revisão de literatura sob a visão de diversos autores que abordam a relação entre a manutenção e os processos industriais, os conceitos relacionados à criticidade de equipamentos e os aspectos relevantes que afetam e devem ser considerados para um processo de determinação de criticidade de equipamentos. No Capítulo 3 estão os métodos utilizados para determinação da criticidade, suas variações, detalhes e formas de aplicação. No Capítulo 4 é abordado o apoio multicritério a decisão, explorando seus principais conceitos, dentre os quais o surgimento e aplicação, os atores do processo e as etapas de decisão.

No Capítulo 5 é apresentada a estrutura da sistemática proposta para determinação da criticidade, iniciando-se pela descrição do processo estudado e em seguida passando ao detalhamento de cada uma das 8 etapas.

No capítulo 6 estão as conclusões da pesquisa e sugestões de temas para pesquisas futuras na área. Por fim, são listadas as Referências utilizadas para a construção da base conceitual usada durante a pesquisa.

2 CRITICIDADE DE EQUIPAMENTOS

2.1 O processo industrial e a manutenção

Desde o surgimento das primeiras máquinas a vapor no século XVI a manutenção surgiu como forma de manter as máquinas do processo produtivo em bom funcionamento. Inicialmente, o homem que projetava a máquina treinava outros homens para operar, regular e consertar as máquinas. As indústrias foram evoluindo e tornando-se complexas com o surgimento de novas tecnologias fazendo com que o conserto emergencial torna-se dispendioso. Neste ponto houve a necessidade do desdobramento da mão-de-obra para manutenção de máquinas. Assim, o antigo profissional de manutenção viu-se dividido em especialidades, tais como eletricidade, mecânica, funilaria, etc. Primeiro melhorou-se o ferramental e processos de aplicação de corretiva de emergência, e qualificou-se ainda mais o pessoal de manutenção. Os técnicos de manutenção começaram a desenvolver métodos e criar uma ciência nova: a Gestão da Manutenção (SENRA, 1995).

A partir da criação e uso da manutenção nas máquinas e equipamentos do processo produtivo, a manutenção não parou de evoluir. A história da manutenção mostra que, em pouco mais de 100 anos, a mesma evoluiu de sua condição inicial de “socorro” para permitir a continuidade da produção, após uma quebra, para uma necessidade de produção, ou seja, uma ferramenta que confere confiabilidade a um processo produtivo (KMITA, 2003).

Na Figura 1 examina-se as diferenças entre as gerações de manutenção.

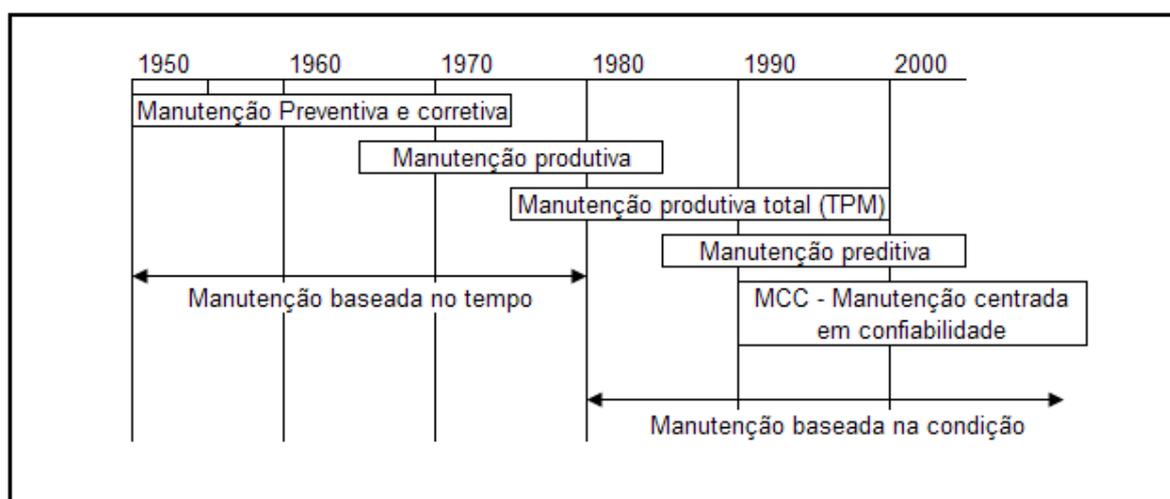


FIGURA 1: A evolução dos tipos de manutenção.

Fonte: KARDEC, Alan; LAFRAIA, João Ricardo; Gestão Estratégica e Confiabilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2002, p. 44.

A primeira geração, denominada corretiva, caracterizava-se pelo conserto após a ocorrência da falha caracterizando como uma manutenção reativa. Segundo Viana (2002) a manutenção corretiva é a intervenção realizada de forma aleatória, no instante em que a falha acontece. É uma intervenção necessária imediatamente, a fim de evitar conseqüências aos equipamentos, a segurança do colaborador ou ao meio-ambiente. Marçal (2000) acrescenta que a manutenção corretiva acontece sobre uma máquina que apresente problemas de funcionamento ou tenha parado repentinamente, em função de alguma falha. Essa máquina sofrerá a intervenção com a finalidade de colocá-la em serviço novamente.

A utilização da manutenção corretiva pode se dar de duas formas: de maneira não planejada ou planejada. É importante analisar, conhecer e distinguir de forma adequada os resultados obtidos com a manutenção corretiva planejada e não planejada. Enquanto na manutenção corretiva planejada as perdas de produção são reduzidas a níveis muito baixos e os custos e tempos de reparos são minimizados, com a manutenção corretiva não planejada ocorre o oposto (KARDEC e NASCIF, 2005).

De acordo com Kardec e Nascif (2005) as razões que levam a manutenção corretiva executada de forma planejada a obter melhores resultados são:

- Compatibilização das necessidades de intervenção com os interesses de produção.
- Planejamento dos serviços mais eficiente.
- Garantia da existência de peças de reposição, equipamentos e ferramental.
- Garantia da existência de mão de obra qualificada e em quantidade suficiente para execução dos serviços.
- Aspectos relacionados com segurança – a antecipação à falha evita situações de risco para as pessoas e instalações.

Apesar de se apresentar como a mais rudimentar das formas de manutenção, a intervenção corretiva se aplica em muitas situações dentro dos processos produtivos em função do custo benefício apresentado.

A partir de 1960, no sentido contrário da política de manutenção corretiva, a manutenção preventiva evita a ocorrência de falhas de forma a proporcionar ao processo produtivo uma maior confiabilidade e disponibilidade.

Segundo Kardec e Nascif (2005, p. 39), a manutenção preventiva é “a manutenção desempenhada para manter um item em condições satisfatórias de operação, através de inspeções sistemáticas (intervalo de tempo fixo), detecção e prevenção de falhas incipientes”.

Marçal (2000) complementa a definição de manutenção preventiva expondo que é “aquela que se efetua retirando a máquina de serviço, obedecendo a um programa de manutenção preestabelecido, com a finalidade de inspeções e trocas de componentes, garantindo seu funcionamento por um determinado período”.

A manutenção preventiva foi utilizada no passado em larga escala sem uma adequada análise de custo benefício. Desta forma, para aplicação da manutenção preventiva se faz necessário uma análise de custo benefício criteriosa, sendo aplicada nos seguintes casos:

- Quando não é possível a preditiva, ou o custo para tal procedimento é demasiado elevado;
- Quando estão envolvidas segurança, tanto pessoal quanto operacional;
- Quando há oportunidades em equipamentos críticos do processo que apresentam difícil liberação;
- Em sistemas complexos de operação contínua;
- Quando existem riscos ao meio ambiente.

Com a evolução rápida da tecnologia, em especial após a criação do programa espacial norte-americano, os programas de manutenção passaram a preocupar-se com o aumento da disponibilidade dos equipamentos através da aplicação de novas técnicas preditivas.

Segundo Kardec e Nascif (2005, p.41), “a manutenção preditiva é a atuação realizada com base em modificações de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática”.

A manutenção preditiva também é conhecida por manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento. Consiste no controle do equipamento em serviço, através de medições com instrumentos específicos, a fim de detectar irregularidades nas condições normais de operação que demandem tarefas de manutenção. É possível descrever como objetivos da manutenção preditiva uma operação confiável, a redução dos danos provocados por falhas e a minimização dos custos de manutenção. Além desses, objetiva-se (MARÇAL, 2000; VIANA, 2002):

- A determinação do momento em que deve ser efetuado um trabalho de manutenção em alguma peça específica de uma máquina em operação;
- A eliminação da desmontagem para inspeção de rotina;
- O aumento do período de disponibilidade da máquina;
- A redução das intervenções de emergência e não planejadas;
- A prevenção do crescimento de danos na máquina e ao sistema;

- O aproveitamento dos componentes durante toda a sua vida útil;
- O aumento da confiabilidade da máquina dentro do processo;
- A programação antecipada de paralisação dos equipamentos.

Diante dos demais tipos de manutenção (a corretiva e a preventiva), a manutenção preditiva apresenta a vantagem de monitorar a condição do equipamento no momento da sua operação, e assim prolongar ao máximo a vida útil do componente avaliado. Isso não significa que a modalidade preditiva seja melhor do que as demais e elimine a necessidade da aplicação de cada uma. Para Marçal (2000, p.6) existem razões técnicas e econômicas suficientes que justificam a adoção de uma dessas três modalidades para cada máquina ou sinalizam para uma mescla das mesmas.

Com o crescimento da complexidade dos equipamentos e sistemas industriais, a evolução da eletrônica e da automação, as técnicas de manutenção baseadas no tempo passaram a não atender as necessidades desses novos projetos. Uma nova filosofia de manutenção passa a ser aplicada, surgindo a geração da manutenção baseada na condição, originada pelo aprimoramento das técnicas preditivas efetivas de acompanhamento das condições dos equipamentos, e pela disseminação dos conceitos da confiabilidade na manutenção (KARDEC E LAFRAIA, 2002)..

A evolução tecnológica dos equipamentos, processos e técnicas de manutenção, a necessidade de controles cada vez mais eficientes e de ferramentas de apoio à decisão, o desenvolvimento de estudos relativos ao desgaste e ao controle e suas conseqüências, a dependência de equipes treinadas e motivadas para enfrentar esses desafios, o desenvolvimento de novas técnicas e, conseqüentemente, os custos de manutenção em termos absolutos e proporcionalmente as despesas globais, transformam as áreas de manutenção em um segmento estratégico para o sucesso empresarial. (NUNES, 2001, p. 11).

De acordo com POSSAMAI (2002), a melhoria nos sistemas de manutenção é cada dia mais importante para o aprimoramento das atividades de uma empresa, tanto na área de produção como em outros setores. Afirma que uma boa sistemática de manutenção colabora para que a empresa cumpra suas funções em relação à confiabilidade, flexibilidade, rapidez, qualidade, mantendo custos competitivos.

Dentro do processo produtivo existe uma infinidade de equipamentos executando suas funções requeridas, sendo que alguns, mesmo apresentando algum tipo de problema não comprometem o resultado do processo. Isso torna evidente que nem todos os equipamentos

deverão receber o mesmo tratamento e atenção dos gestores. Equipamentos de maior criticidade terão maior atenção por parte dos gestores, técnicos e operadores (BELMONTE, 2007, p.10).

2.2 Criticidade

A criticidade é o atributo que expressa a importância que um equipamento tem no processo produtivo, seja em relação à produção, segurança, qualidade, meio ambiente, ou outro aspecto específico. Quanto maior for o impacto de uma determinada falha ocorrida em um equipamento, maior será a criticidade desse equipamento.

Para Siqueira (2005), Simões Filho (2006) e Nunes (2001), a criticidade está diretamente relacionada às conseqüências que as falhas geram para o processo. Falhas críticas são aquelas que produzem condições perigosas ou inseguras de operação, podendo causar danos materiais, econômicos ou ambientais. As falhas não-críticas são aquelas que não provocam estes efeitos. As falhas em equipamentos podem representar grandes perdas econômicas e humanas, apresentando em muitos casos, comprometimentos significativos para a imagem institucional das empresas.

Considerando-se a criticidade dos equipamentos, é importante identificar a maneira como os equipamentos falham e realizar uma priorização explícita baseada em fatores econômicos, operacionais e de segurança para identificação das tarefas de manutenção (FLEMING et. al, 1997, p. 53). É imperiosa uma avaliação detalhada do processo produtivo, visando reconhecer com a maior precisão possível as conseqüências das falhas, ou seja, “a conseqüência da falha funcional determina a prioridade da aplicação dos recursos da manutenção” (NOWLAN e HEAP, 1978, p. 25).

Dentre os recursos da manutenção disponíveis e possíveis de direcionamento, os principais podem ser separados em recursos humanos, técnicos e financeiros. Os recursos humanos são toda a força de trabalho disponível para executar as atividades da manutenção. Técnicos mecânicos, eletricitas, eletrônicos, lubrificadores, engenheiros, supervisores, e outros profissionais de áreas de apoio têm seus esforços direcionados à busca da confiabilidade dos equipamentos e processos (KARDEC e ZEN, 2002). Uma situação comum na área de manutenção, é a demanda de serviços maior do que a mão-de-obra disponível,

gerando um backlog alto. Essa situação por si só justifica a necessidade de identificação das partes críticas do sistema.

Como recursos técnicos, apresentam-se as técnicas de manutenção possíveis de aplicação nos equipamentos e ao processo. Todas as técnicas, métodos e sistemas de manutenção devem ser aplicados de acordo com a criticidade do equipamento no processo. Um equipamento de baixa criticidade, cuja falha não apresente nenhum tipo de conseqüência poderá operar até quebrar, sendo sua função restabelecida através de uma intervenção corretiva. Por outro lado, um equipamento de alta criticidade deverá ser monitorado por meio de técnicas preditivas, ou então passar por manutenções preventivas em períodos pré-estabelecidos. Além da aplicação das técnicas de manutenção, projetos de engenharia para melhorias de equipamentos serão determinados pela sua criticidade.

Para uma melhor manutenção não deve aplicar-se nem mais nem menos recursos, mas sim o necessário para garantir a confiabilidade do sistema, pois como citam Hijes e Cartagena (2006), a criticidade de um equipamento é o que direciona a aplicação dos recursos da manutenção.

2.3 Determinação da Criticidade

A determinação da criticidade de equipamentos industriais é um processo cujos resultados são utilizados para auxiliar na definição das políticas de manutenção mais adequadas a cada equipamento ou sistema, levando em consideração a importância relativa do equipamento. Torna-se ainda elemento fundamental no gerenciamento dos esforços da manutenção para as seguintes ações:

- Focar os esforços de Engenharia de Confiabilidade e a aplicação de suas ferramentas na resolução de problemas de acordo com sua importância relativa;
- Estabelecer e otimizar as políticas de suprimentos, incluindo a elaboração e revisão de recomendações de sobressalentes e definição de níveis de estoque de materiais de manutenção;
- Adequar as políticas de investimentos, direcionando-as àqueles projetos ligados ao aumento de confiabilidade;
- Definir a política de atendimento, focalizando os recursos de manutenção nas áreas

- críticas, de uma maneira lógica e eficiente;
- Priorizar a elaboração, o treinamento e a aplicação de procedimentos operacionais e de manutenção, em atendimento aos requisitos de confiabilidade das Unidades Industriais;
 - Otimizar os custos de manutenção, utilizando-se a seletividade obtida nesta classificação.

Furmann (2002, p. 67) afirma que para priorizar os equipamentos de uma planta industrial deve-se:

“Atribuir qual é a importância de cada equipamento para o processo produtivo. Essa importância pode ser avaliada com base numa análise de risco de falhas, considerando principalmente a gravidade do impacto decorrente dessas falhas para a função que o equipamento exerce e as respectivas indisponibilidades operacionais imprevistas que comprometem a competitividade empresarial”.

Nos processos de seleção ou priorização de equipamentos buscam-se a realização de atividades de manutenção que sejam importantes e necessárias, evitando, assim, desperdício de tempos e recursos, tanto materiais como humanos, em atividades ineficientes (CAPUANO E KORITKO, 1996, p.25). Para Castella (2001, p. 124) é necessário atribuir a cada equipamento o respectivo índice de criticidade em relação ao processo produtivos a fim de se distinguir os de maior prioridade, evitando perder tempo e dinheiro na análise de itens que não trarão um retorno significativo.

Os equipamentos críticos são definidos com base em critérios de criticidade, sendo determinada a estratégia de manutenção adequada a cada equipamento. Para alguns equipamentos mais críticos são desenvolvidos planos de manutenção planejada, procedimentos operacionais e manuais de treinamento. Em seguida, temos a visão de diversos autores em relação aos aspectos que afetam a criticidade do equipamento.

Segundo Smith (1992), a escolha dos sistemas críticos ocorre considerando os seguintes aspectos: equipamentos com elevado volume de tarefas preventivas ou elevados custos de manutenção preventiva; sistemas que sofreram um grande número de intervenções corretivas em um espaço de tempo; sistemas com um elevado custo de manutenções corretivas; sistemas com elevada contribuição nas paradas da produção ao longo dos últimos anos; sistemas que apresentam riscos à segurança humana e ambiental. Para o autor, o cuidado que se deve ter na

análise de criticidade é para não descartar prematuramente itens como não críticos até que se tenha identificado uma perfeita correlação entre as funções e falhas funcionais.

Nascif e Dorigo (2005, p. 5) definem que as seguintes perguntas sejam respondidas para que se mensure a criticidade de um equipamento:

- A falha do equipamento coloca em risco a segurança do pessoal e das instalações?
- A falha do equipamento impacta a continuidade operacional?
- A falha do equipamento impacta a qualidade do produto?
- A falha do equipamento impacta o negócio no aspecto estratégico?

Num sistema confiável, de acordo com Lucatelli e Ojeda (2001, p. 3) busca-se balancear aspectos primordiais, como de segurança e custo, de modo que se garanta a maior segurança com o melhor custo-benefício. A esses aspectos relacionam-se diretamente as conseqüências à segurança física, humana ou ambiental. Em segundo lugar, as conseqüências operacionais, ou seja, aquelas relacionadas diretamente às perdas resultantes das falhas, não envolvem apenas custos de conserto, mas também perdas decorrentes da indisponibilidade do equipamento.

O equipamento crítico no processo segundo Takahashi e Osada (1993, p. 61) é aquele que exige um gerenciamento crítico em relação aos aspectos de produção e qualidade, sendo que o custo da manutenção e a segurança devem ser sempre considerados. Para Srikrishna et. al. (1996), a seleção dos sistemas críticos está associado a análise de perdas de produção, custos de manutenção, tempo médio entre falhas e disponibilidade do equipamento.

Castro et al (2008, p.6), propõe que os equipamentos críticos sejam escolhidos considerando a sua relevância no processo, seu grau de redundância e impacto nos custos de manutenção. Analisando variáveis como custo, risco e prioridade o foco das ações passa a ser concentrado nos pontos reais de melhoria e de performance.

A determinação da criticidade de um equipamento proposta por Saltorato e Cintra (1999, p.8) é obtida a partir da análise de oito critérios de avaliação, os quais analisam e pontuam diferentes aspectos do desempenho do equipamento. Os critérios utilizados para a determinação são: impacto na produção e na qualidade do produto, impacto na produtividade, existência de equipamento *stand-by*, funcionamento contínuo, frequência de falhas, tempo

médio de reparo ou substituição, existência de equipamento reserva, segurança e meio-ambiente.

Hijes e Cartagena (2006, p.448) definem outros critérios determinantes para a determinação da criticidade de equipamentos, que são: efeito da falha em operação; probabilidade de detecção de falha; riscos à segurança humana, do meio ambiente e das instalações; existência de equipamento reserva; regime de operação; impacto na produção; tempo médio para reparo da falha; custo da manutenção; e tempo médio entre falhas.

Já Khanlari et al. (2007, p. 7), baseando-se na opinião de experientes profissionais de manutenção identificaram seis critérios que devem ser considerados para determinar a criticidade de equipamentos. Primeiramente é considerado o impacto na produção, em função do equipamento ser um gargalo na linha de fabricação. Em seguida o tempo médio para reparo da falha, o tempo médio entre falhas e a disponibilidades de peças para reparo são levados em conta. Finalmente, considera-se a disponibilidade de mão de obra para realizar a manutenção do equipamento e a ocupação do equipamento.

A análise de criticidade se dá de forma qualitativa, com a avaliação dos eventos de falha de equipamentos e sistemas e a classificação desses eventos de acordo com o seu impacto nos objetivos do negócio da empresa, considerando-se os aspectos de segurança, saúde e meio ambiente, regime operacional, impacto na produção, qualidade do produto, segurança alimentar, custo da manutenção e a frequência da falha (BATÁVIA, 2008).

Como apresentado, os diversos autores apontam diferentes aspectos que são afetados pela criticidade de um equipamento em relação ao processo. Dependendo dos critérios utilizados para a decisão, um mesmo equipamento pode ter uma criticidade diferente em contextos específicos, considerando-se a preferência dos decisores. O quadro 1, apresentado a seguir, traz um resumo dos aspectos que são afetados pela criticidade dos equipamentos segundo cada autor.

AUTOR(ES)	ASPECTOS
Smith	Volume de atividades preventivas e/ou corretivas; custo da manutenção; impacto na produção; segurança humana; segurança ambiental.
Nascif e Dorigo	Segurança humana; segurança das instalações; perdas de produção; qualidade do produto; aspecto estratégico.
Lucatelli e Ojeda	Segurança humana; segurança das instalações; segurança ambiental; perdas de produção; custo da manutenção; disponibilidade.
Zaions	Impacto na produção; qualidade do produto; segurança humana; segurança das instalações; segurança ambiental; custo da manutenção.
Srikrishna et al	Impacto na produção; custo da manutenção; tempo médio entre falhas; disponibilidade operacional.
Castro et al	Impacto na produção; qualidade do produto; custo da manutenção; segurança humana; segurança ambiental.
Takahashi e Osada	Impacto na produção; grau de redundância; custo da manutenção.
Saltorato e Cintra	Impacto na produção; qualidade do produto; grau de redundância; tempo médio entre falhas; tempo médio para reparo; existência de equipamento reserva; segurança humana; segurança ambiental.
Hijes e Cartagena	Efeito da falha em operação; probabilidade de detecção de falha; riscos à segurança humana, do meio ambiente e das instalações; existência de equipamento reserva; regime de operação; impacto na produção; tempo médio para reparo da falha; custo da manutenção; tempo médio entre falhas.
Khanlari et al	Impacto na produção; tempo médio para reparo da falha; tempo médio entre falhas; disponibilidades de peças para reparo; disponibilidade de mão de obra para manutenção; ocupação do equipamento.
Batávia	Impacto na produção; regime operacional; qualidade do produto; tempo médio entre falhas; custo da manutenção; segurança humana; segurança ambiental.

QUADRO 1: Aspectos considerados para a determinação da criticidade de um equipamento.

Fonte: O autor (2008).

A criticidade dos equipamentos tem impacto direto, mais ou menos nos aspectos apresentados. Não existe uma regra para escolha dos critérios que devem ser utilizados para auxiliar o gestor na determinação da criticidade dos equipamentos. Os critérios para decisão são determinados de acordo com as preferências dos decisores, as características do processo produtivo, legislações específicas, entre outros. No tópico a seguir são apresentados os principais aspectos que serão considerados neste trabalho para a decisão em relação a criticidade dos equipamentos.

2.4 Aspectos considerados na determinação da criticidade de equipamentos

O gerenciamento da criticidade dos equipamentos é fator de preocupação e desafio para a indústria nas últimas décadas. Isto tem sido motivado tanto pela melhoria das exigências impostas pela sociedade com relação à segurança das pessoas envolvidas e do patrimônio e à preservação do meio ambiente como pela melhoria de eficiência, produtividade e competitividade na indústria (SIMÕES FILHO, 2006).

De acordo com Furmann (2002, p. 68), vários são os aspectos que devem ser considerados para determinar a criticidade de um equipamento. Para avaliar o impacto que um critério tem, deve-se considerar se influenciará na segurança física do empreendimento e do pessoal envolvido, na disponibilidade (manutenção da função operativa) ou na confiabilidade (qualidade do produto).

Na definição dos critérios de decisão é importante identificar que resultados são esperados da manutenção. Compete aos gestores da organização estabelecer estes objetivos (SIQUEIRA, 2005, p. 237). Os critérios discutidos nesta pesquisa são baseados nas propostas realizadas pelos autores, conforme apresentado no quadro 1. Assim, determinam-se os seguintes critérios que influenciam diretamente na determinação da criticidade de um equipamento: a segurança das instalações, humana e do meio-ambiente, a produção e a qualidade, os custos da manutenção, o regime de operação, frequência das falhas e o número de intervenções corretivas/preventivas no equipamento.

2.4.1 Segurança e meio-ambiente

A segurança das pessoas e o ambiente passaram a ser uma preocupação constante nas empresas não só por razões éticas e econômicas, mas também uma dimensão importante da imagem e da aceitação da empresa na comunidade onde se insere. Esta dimensão, em última instância, reflete-se direta ou indiretamente nas vendas. Desta forma, cada equipamento deverá funcionar dentro de condições rigorosas de operação de forma a cumprir com todas as normas de segurança estabelecidas, oficiais e auto impostas (ASSIS, 2005, p. 5).

De acordo com Moubray (1997), conseqüências 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. Corroboram Saltorato e Cintra (1999, p.8) expondo que é analisado se, em caso de falha do equipamento, esta traz conseqüências que possam afetar a integridade física do operador, prejudicar as instalações ou afetar o meio-ambiente.

Os aspectos segurança e meio-ambiente, por si só, justificam que um equipamento seja considerado de alta criticidade em determinados contextos. Equipamentos cuja falha afetem a segurança humana, das instalações ou ao meio-ambiente receberão atenção e tratamento especial por parte dos gestores.

2.4.2 Produção e qualidade

Nas plantas industriais, para avaliação da criticidade fatores que têm grande relevância e influenciam fortemente a decisão dos gestores da manutenção são os aspectos produção e qualidade. Isso se deve ao fato de que estes dois aspectos afetam diretamente no resultado financeiro da organização.

De acordo com Saltorato e Cintra (1999, p.8) para determinação da criticidade dos equipamentos, analisando todo o processo produtivo, é avaliado se, em caso de falha, o equipamento em questão, causa parada de produção ou diminuição da capacidade produtiva, ou ainda se afeta diretamente a qualidade do produto. Aqui, entende-se qualidade como o atendimento à especificação técnica do produto. Continuam os autores colocando que analisando os equipamentos individualmente e sua influência no processo produtivo, é avaliado se, em caso de falha, esta causa diminuição nos índices de produtividade do processo.

Takahashi e Osada (1993, p. 61) expõem que do ponto de vista da produção o equipamento crítico refere-se aquele que apresenta avarias freqüentes, 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. Já do ponto de vista da qualidade o equipamento crítico é o que afeta enormemente a qualidade dos produtos e que provoca variações do nível de qualidade.

2.4.3 Custo da manutenção

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

De acordo com Kardec e Nascif (2001), para fins de controle, podemos classificar os custos de manutenção em três grandes famílias a saber:

- 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.
- Custos de perda de produção: São os custos originados da perda de produção, causados pelas falhas dos equipamentos do processo produtivo.
- Custos Indiretos: São os custos administrativos da manutenção, como os custos de gerenciamento, supervisão, desenvolvimento de projetos, entre outros.

Devido ao impacto que incorrem os custos de manutenção ao processo produtivo, é importante montar-se uma estrutura operacional para que se possa continuamente apropriar e controlar os custos. Uma necessidade paralela em todo o contexto onde se pretende implementar uma engenharia de decisão é a existência de um sistema de apoio à decisão sustentado por um sistema de informações gerenciais (SOUZA, 2002).

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, 2001).

2.4.4 Regime de operação

Os equipamentos do processo têm graus de importância diferenciados de acordo com seu regime de funcionamento. De acordo com Saltorato e Cintra (1999, p. 8) 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, onde um equipamento que opera vinte e quatro horas em sete dias na semana deverá ter sua classificação de criticidade diferenciada de um equipamento com operação ocasional.

2.4.5 Frequência da falha

Segundo Saltorato e Cintra (1999, p.8) 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*).

Ao longo do tempo total de operação do equipamento teremos tempos disponíveis para produção (T) e tempos em que o equipamento está em manutenção (t), estando assim indisponível para produção. O gráfico 1 representa o tempo total de operação de um equipamento.

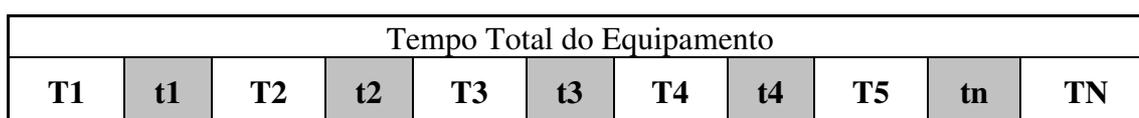


FIGURA 2: Tempo total de operação de um equipamento.

Fonte: KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio; Manutenção: Função Estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark: 2005, p. 102.

Desta forma, para o período analisado, matematicamente o tempo médio entre falhas é definido como a divisão da soma das horas disponíveis do equipamento para operação pelo período total (PT) (VIANA, 2002, p. 142). A equação 1 apresenta o cálculo do TMEF.

$$\text{TMEF ou MTBF} = \frac{T1 + T2 + T3 + T4 + \dots + TN}{PT} \quad (1)$$

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.

2.4.6 Número de intervenções (corretivas/preventivas)

São os números totais de intervenções em um equipamento dentro de um determinado espaço de tempo. São consideradas para análise as intervenções corretivas e preventivas. Equipamentos com um alto número de intervenções, sejam elas 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.

Todos os aspectos apresentados não são únicos podendo e devendo ser adaptados para a realidade de cada unidade industrial. Além disso, não devem deixar de ser explorados aspectos relacionados a especificidade do negócio. O processo de análise de criticidade deve ser realizado periodicamente, pois a criticidade de um equipamento 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 equipamentos afetados pelas mesmas, tendo sempre à mão os dados das análises anteriores, agilizando o processo e garantindo maior consistência na tomada de decisão.

3 DETERMINANDO A CRITICIDADE DE EQUIPAMENTOS

3.1 Tomada de decisão

A tomada de decisão é um fato do dia a dia, presente em todas as atividades desenvolvidas pelo homem. Naturalmente as pessoas enfrentam situações que lhes exigem algum tipo de decisão. Nestas situações apresentam-se vários caminhos ou alternativas de ações possíveis e dentre estas se deve optar por aquela que melhor satisfaz os objetivos em causa. O processo de tomada de decisão pode ser percebido nas mais simples tarefas enfrentadas pelo ser humano. A compra de bens de consumo, até a escolha de uma instituição de ensino, são problemas enfrentados diariamente pelas pessoas. A solução para muitos desses tipos de problemas baseia-se exclusivamente em um único parâmetro de decisão – por exemplo, o custo.

Entretanto, muitos problemas complexos são submetidos à decisão das pessoas. Os problemas complexos caracterizam-se por apresentar ao menos dois parâmetros, em geral conflitantes, que afetam a decisão. Para Gomes et al (2002), a tomada de decisões complexas é uma das mais difíceis tarefas enfrentadas individualmente ou por grupos, pois invariavelmente, tais decisões devem atender múltiplos objetivos e seus impactos não podem ser claramente identificados.

Para um melhor entendimento do processo de tomada de decisões é possível fazer a análise sob um ponto de vista ideal, sobre o qual o processo decisório acontece nas seguintes etapas de forma racional. Harrison e Pelletier (2000, p. 463) apresentam as etapas do processo decisório na Figura 03:

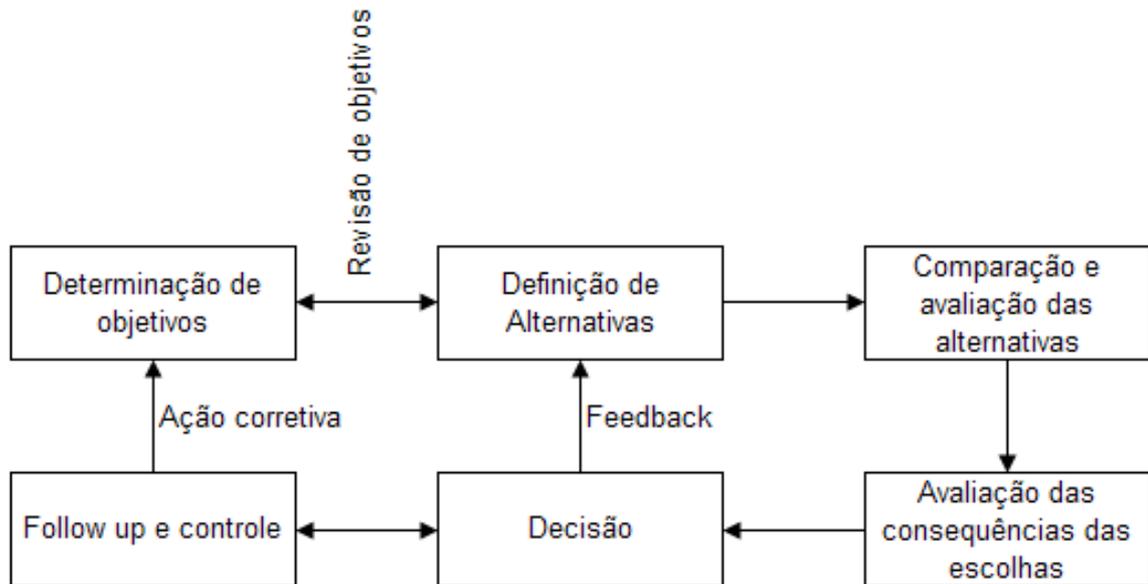


FIGURA 3: Etapas da tomada de decisão.

Fonte: HARRISON, E. Frank; PELLETIER, Monique A. The essence of management decision. **Management Decision**. p.462-469, 2000.

A racionalidade da decisão está na escolha da estratégia mais adequada para o atingimento dos objetivos, a fim de obter o melhor resultado. Dessa forma as decisões geralmente envolvem: racionalidade limitada, multicritério, multidecisor e incerteza (MARINS E COZENDEY, 2005).

Souza (2002) afirma que uma boa decisão é uma consequência lógica daquilo que se quer, daquilo que se sabe e daquilo que se pode fazer:

- O que se quer refere-se às preferências que se têm pelas diversas consequências das decisões. Tais consequências podem ser incertas ou distribuídas ao longo do tempo.
- O que se sabe é o conhecimento em relação às grandezas envolvidas no processo e das relações entre elas; a informação advinda do processo de decisão; a percepção das circunstâncias e das leis que a afetam.
- O que se pode fazer são as alternativas disponíveis e possíveis de ação.

Diante de problemas complexos, o decisor está envolvido no processo decisório com o objetivo de elencar uma ação que proporcionará as consequências mais favoráveis para determinada questão em análise. É importante ressaltar que o processo de tomada de decisão não é único, possuindo suas especificidades para cada caso. Nas diversas áreas, o gestor deve

estar ciente das etapas de um processo decisório com o objetivo de buscar subsídios para uma decisão inteligente, pautada em critérios consistentes.

3.2 Métodos para determinação da criticidade

A determinação da criticidade em muitas empresas é realizada de maneira simplista e não metodológica, o que é chamado por alguns autores de classificação direta. Letras, números, palavras ou a combinação destas são utilizadas para classificar empiricamente o equipamento no momento do tagging.

Pode ser citada a classificação por números, onde os equipamentos são classificados em níveis de 1 a 3, dependendo do impacto trazido à produção. Geralmente equipamentos únicos e que sua parada interrompe toda a linha de produção por várias horas são classificados como nível 1. Na sequência equipamentos com menor impacto são classificados como 2 e por fim, equipamentos sem relevância são classificados no nível 3. O sistema de classificação com letras adota o mesmo critério da classificação com números, designando níveis que podem ir de A até E (mais ou menos dependendo do contexto).

Apesar de servir de referência para as ações e direcionamento dos recursos de manutenção, tais classificações são incompletas e levam a decisões incorretas dos gestores. Por isso, é importante a aplicação de métodos sistemáticos, que dêem suporte com segurança aos gestores na tomada de decisão e contemplem diferentes aspectos. A seguir são apresentados métodos utilizados para determinação da criticidade de equipamentos.

3.2.1 Sistema GUT

O sistema GUT, é uma ferramenta de qualidade a qual originalmente foi desenvolvida para se estabelecer a prioridade no tratamento de problemas e que pode ser usada para determinação da criticidade de equipamentos. A sigla GUT apresenta o seguinte significado:

- **Gravidade**, fator que está relacionado aos efeitos possíveis de surgirem no médio e/ou longo prazo no caso da ocorrência de uma falha e qual o impacto sobre coisas, pessoas e resultados.
- **Urgência**, a qual está relacionada diretamente ao tempo disponível para solução de uma falha.

- **Tendência**, que é relacionada a possibilidade de um problema agravar-se ou diminuir.

Segundo Paris (2003, p. 51), a técnica GUT foi desenvolvida com o objetivo de orientar decisões mais complexas, que envolvem muitas questões. O grande número de variáveis gera confusão e nesse caso é preciso analisar individualmente cada conjunto envolvido. Após isso, é necessário determinar qual a prioridade será dada em cada caso, a partir de três perguntas fundamentais:

- Qual a gravidade gerada pelo desvio?
- Qual a urgência de se eliminar o problema?
- Qual a tendência do desvio e do seu potencial de crescimento?

O nível de criticidade do equipamento é obtido através da multiplicação dos fatores gravidade, urgência e tendência, os quais são classificados qualitativamente com pesos de 1 a 5. No quadro 2 a seguir é apresentado o sistema GUT para determinação da criticidade de equipamentos.

Peso	<u>G</u>ravidade As conseqüências das falhas são?	<u>U</u>rgência São necessárias ações?	<u>T</u>endência Se nada for feito a falha irá evoluir?	Classificação máxima G x U x T
5	Extremamente graves	Imediatas	Rapidamente	125
4	Muito grave	Com alguma urgência	Em pouco tempo	64
3	Grave	O mais cedo possível	Piorará em médio prazo	27
2	Pouco grave	Pode aguardar um pouco	Piorará em longo prazo	8
1	Sem gravidade	Não existe pressa	Não irá piorar	1

QUADRO 2: Matriz GUT para determinação da criticidade de equipamentos.

Fonte: Adaptado de Grimaldi e Mancuso (1994).

Percebe-se que no uso do sistema GUT não é direcionado nenhum aspecto, avaliando-se de forma genérica o impacto provocado pela falha. Cabe então ao avaliador a definição do aspecto a ser considerado, seja ele produção, segurança, meio-ambiente ou qualquer outro. Os pesos para classificação do nível de criticidade de um equipamento são determinados de forma qualitativa, conforme o juízo de valor de um analista ou de um grupo criado para esta finalidade.

3.2.2 Algoritmo de criticidade

O algoritmo de criticidade é uma metodologia de determinação da criticidade e direcionamento de ações de manutenção que tem seu princípio baseado no impacto que uma falha repentina de um equipamento irá provocar. De acordo com Seixas (2005), a seguinte pergunta deve ser respondida aos aspectos segurança e meio-ambiente, qualidade e produtividade, taxa de ocupação, oportunidade de produção, frequência de quebra e manutenibilidade: a parada repentina do equipamento provoca?

Para cada aspecto a pergunta deve ser respondida com uma classificação A, B ou C onde essa classificação determina o caminho a ser seguido no algoritmo. A seguir são apresentados os aspectos avaliados no algoritmo de criticidade:

Em relação ao aspecto segurança e meio-ambiente (SA), a parada repentina do equipamento provoca?

RESPOSTA	CLASSIFICAÇÃO
Ocorrência de acidentes pessoais ou danos ao meio-ambiente ou danos materiais	A
Possibilidade de exposição das pessoas ou meio-ambiente ou equipamentos a riscos	B
Nenhum risco	C

QUADRO 3: Avaliação do aspecto segurança e meio-ambiente.

Fonte: Adaptado de Seixas (2005) e Belmonte (2007).

Em relação ao aspecto qualidade e produtividade (QP), a parada repentina do equipamento provoca?

RESPOSTA	CLASSIFICAÇÃO
Produtos fora do padrão ou diminuição de ritmo de produção	A
Variações de qualidade ou produtividade	B
Não afeta	C

QUADRO 4: Avaliação do aspecto qualidade e produtividade.

Fonte: Adaptado de Seixas (2005) e Belmonte (2007).

Em relação ao aspecto taxa de ocupação (TO), a parada repentina do equipamento provoca?

RESPOSTA	CLASSIFICAÇÃO
24 horas dia	A
16 horas	B
Ocasionalmente ou não compõe o processo produtivo	C

QUADRO 5: Avaliação do aspecto taxa de ocupação.

Fonte: Adaptado de Seixas (2005) e Belmonte (2007).

Em relação ao aspecto oportunidade de produção (OP), a parada repentina do equipamento provoca?

RESPOSTA	CLASSIFICAÇÃO
Interrompe todo o processo	A
Interrompe parte do processo	B
Não afeta	C

QUADRO 6: Avaliação do aspecto oportunidade de produção.

Fonte: Adaptado de Seixas (2005) e Belmonte (2007).

Em relação ao aspecto freqüência de quebra (FQ), a parada repentina do equipamento provoca?

RESPOSTA	CLASSIFICAÇÃO
Intervalo menor que 1 semana	A
Intervalo entre 1 semana e 1 mês	B
Intervalo maior que 1 mês	C

QUADRO 7: Avaliação do aspecto freqüência de quebra.

Fonte: Adaptado de Seixas (2005) e Belmonte (2007).

Em relação ao aspecto manutenabilidade (MT), a parada repentina do equipamento provoca?

RESPOSTA	CLASSIFICAÇÃO
O reparo é muito complexo e de alto custo	A
O reparo é pouco complexo e os custos aceitáveis	B
O reparo é simples e os custos irrelevantes	C

QUADRO 8: Avaliação do aspecto manutenibilidade.

Fonte: Adaptado de Seixas (2005) e Belmonte (2007).

A avaliação de cada aspecto é representada em um fluxo, onde são apresentados em cada nível os elementos e suas respectivas classificações (A, B e C) realizadas pelo avaliador. Através desta estrutura de decisão, montam-se os caminhos a serem seguidos depois da resposta para cada elemento, permitindo que seja determinado a criticidade que o equipamento apresenta. Na figura 4 é representado o algoritmo de criticidade.

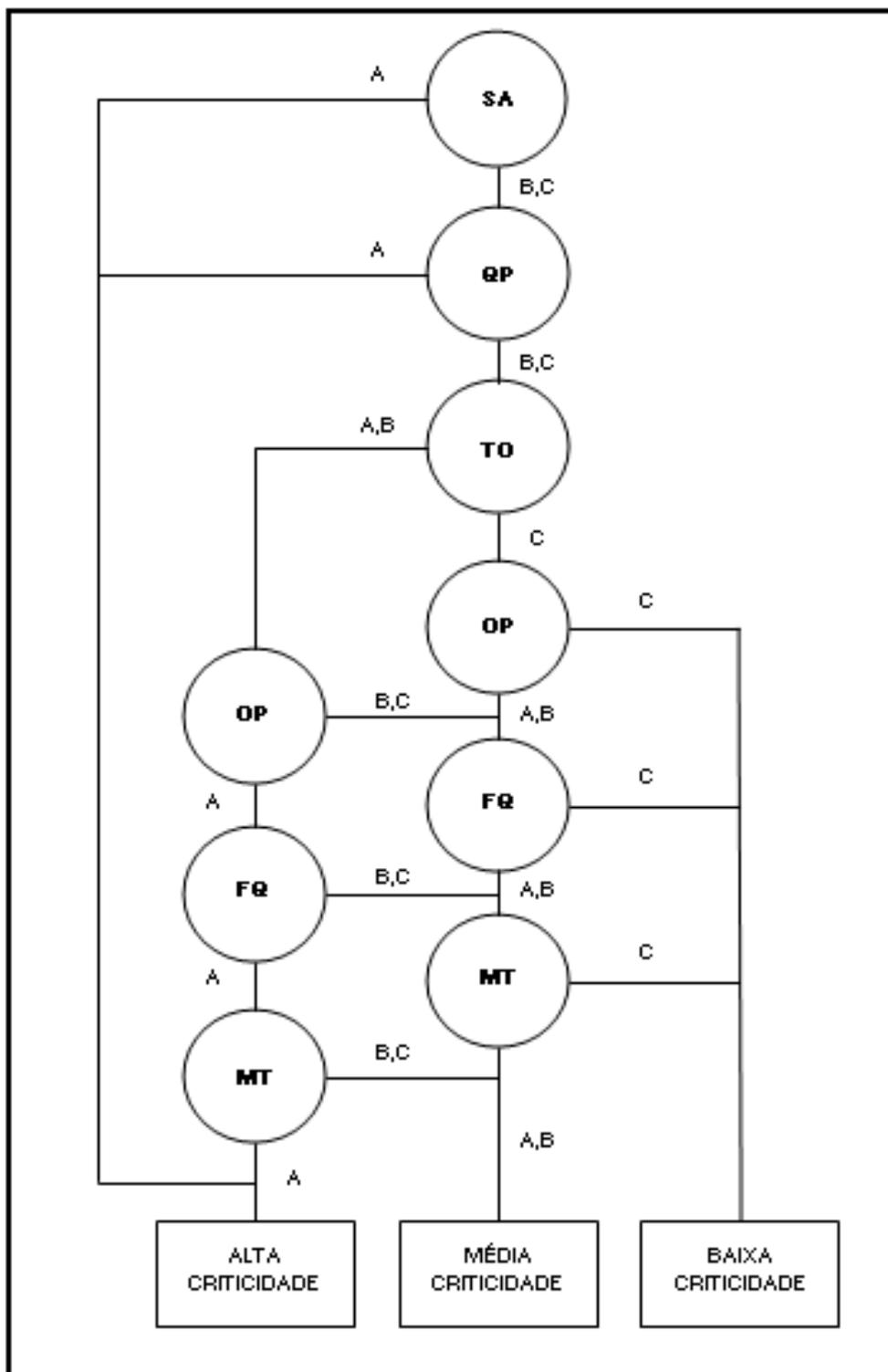


FIGURA 4: Algoritmo de Criticidade.

Fonte: Adaptado de SEIXAS, Eduardo. **Análise de Falhas**. Rio de Janeiro. Qualytek,2005.

As disposições dos aspectos dentro do algoritmo podem variar, revelando um peso maior ou menor em relação à criticidade. Pelo fato desta sistemática basear-se em um sistema de perguntas e respostas, é de fácil e rápida aplicação, sendo amplamente utilizada pelos

gestores da manutenção. Sua aplicação deve ser realizada individualmente, ou seja, aplicada para cada equipamento que se deseja determinar a criticidade dentro do processo. Imaginando um processo complexo com muitos equipamentos a determinação da criticidade através do algoritmo da criticidade acaba sendo altamente trabalhosa, sendo necessário repetir o processo de perguntas e respostas para cada equipamento.

3.2.3 Matriz de criticidade

De acordo com Seixas (2005), a determinação da criticidade de um equipamento pode ser realizada por meio da avaliação do risco que este representa no caso da ocorrência da falha, considerando-se a severidade e a frequência. Siqueira (2005, p.99) acrescenta para a avaliação do risco a detectabilidade. Então temos que o risco pode ser expresso como segue:

$$\text{Risco} = \text{Severidade} \times \text{Frequência} \times \text{Detectabilidade} \quad (2)$$

Muitas escalas de severidade são possíveis, dependendo dos recursos disponíveis para avaliação. Conforme exposto por Siqueira (2005, p. 100), uma escala de quatro ou no máximo cinco categorias de severidade é suficiente para uma classificação efetiva. Estas categorias derivam da norma militar MIL-STD-882D, conforme apresentado no quadro 9, relacionando-as aos possíveis danos ambientais, pessoais ou econômicos da falha.

Categoria	Severidade	Valor	Dano		
			Ambiental	Pessoal	Econômico
I	Catastrófico	5	Grande	Mortal	Total
II	Crítico	4	Significante	Grave	Parcial
III	Marginal	3	Leve	Leve	Leve
IV	Mínimo	2	Aceitável	Insignificante	Aceitável
V	Insignificante	1	Inexistente	Inexistente	Inexistente

QUADRO 9: Níveis de Severidade de Risco.

Fonte: Siqueira (2005).

Para os níveis de frequência das ocorrências de falhas de um equipamento podemos ter diversas escalas, como a proposta por Seixas (2005), que classifica as falhas em: muito alta ou frequente, alta ou razoavelmente provável, moderada ou ocasional, baixa ou remota, muito baixa ou extremamente improvável.

Siqueira (2005), também propõe uma classificação, na qual a frequência de ocorrência pode ser medida numa escala de seis níveis, conforme definido no quadro 10.

Frequência	Descrição
Frequente	Esperado ocorrer frequentemente Falha ocorrerá continuamente
Provável	Ocorrerão várias vezes Falha ocorrerá com frequência
Ocasional	Possível ocorrer várias vezes Falha esperada ocorrer ocasionalmente
Remoto	Esperada ocorrer algumas vezes Falha razoavelmente esperada
Improvável	Possível de ocorrer, mas improvável Falha ocorrerá excepcionalmente
Inacreditável	Essencialmente inesperada ocorrer Falha praticamente não ocorrerá

QUADRO 10: Níveis de Frequência de Falha.

Fonte: Siqueira (2005).

Finalmente temos a análise da detectabilidade de uma falha, ou seja, o quão difícil é a detecção de um evento de risco. Normalmente pode ser avaliada através de uma escala de cinco níveis, onde o nível de detectabilidade está associado à atividade necessária para a detecção da falha. O quadro 11 representa os níveis de detectabilidade de falha.

Nível	Detectabilidade	Descrição
1	Fácil	Falha detectável por procedimento operacional
2	Razoável	Falha detectável por inspeção operacional
3	Difícil	Falha detectável por ensaio funcional
4	Muito difícil	Falha detectável apenas por desligamento
5	Impossível	Falha totalmente oculta

QUADRO 11: Níveis de Detectabilidade de Falha.

Fonte: Siqueira (2005).

Um equipamento cuja falha é de difícil detectabilidade é considerado crítico, uma vez que representa risco eminente de paradas no processo, riscos a vida, meio-ambiente e instalações. Já com a combinação dos níveis de frequência da ocorrência das falhas com os níveis de severidade monta-se uma matriz para determinação da criticidade dos equipamentos, como apresentado na figura 5.

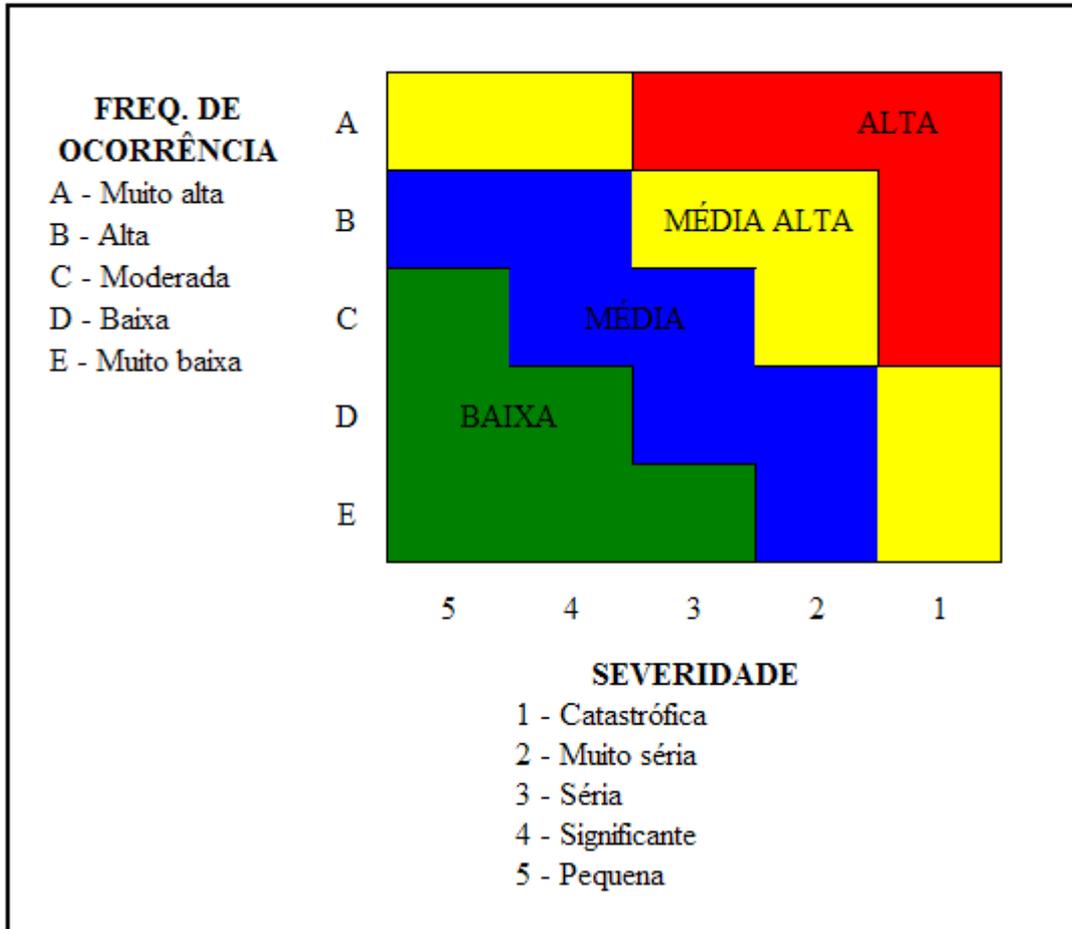


FIGURA 5: Matriz de Criticidade.

Fonte: Adaptado de SEIXAS, Eduardo. *Análise de Falhas*. Rio de Janeiro. Qualytek, 2005.

A criticidade do equipamento é obtida na matriz através do cruzamento da classificação da frequência da falha e da severidade provocada por ela, variando de baixa até alta criticidade.

Uma outra maneira de elaborar e apresentar a matriz de criticidade é considerando a aceitabilidade ao risco. No caso do efeito de uma falha não envolver riscos ao ser humano, é possível a associação de cada nível de severidade a uma escala numérica, que pode medir, por exemplo, a perda financeira para a organização.

A aceitabilidade do risco é um fator determinado pela organização, mais especificamente dos seus gestores. Comumente as classes de aceitabilidade variam de intolerável, indesejável, tolerável até desprezível. Considerando-se a aceitabilidade aos riscos faz-se uma nova matriz para determinação da criticidade, exposta no quadro 12.

Severidade Frequência	Insignificante	Mínima	Marginal	Crítica	Catastrófica
Frequente	Indesejável	Indesejável	Intolerável	Intolerável	Intolerável
Provável	Tolerável	Indesejável	Indesejável	Intolerável	Intolerável
Ocasional	Tolerável	Tolerável	Indesejável	Indesejável	Intolerável
Remoto	Desprezível	Desprezível	Tolerável	Indesejável	Indesejável
Improável	Desprezível	Desprezível	Desprezível	Tolerável	Tolerável
Inacreditável	Desprezível	Desprezível	Desprezível	Desprezível	Desprezível

QUADRO 12: Matriz de Criticidade considerando níveis de aceitabilidade.

Fonte: Siqueira (2005).

Verifica-se que na matriz apresentada no quadro 12, para cada par de valores de severidade e frequência, é produzido um nível de aceitabilidade de risco, classificando as ações definidas *a priori* pela organização. É possível quantificar-se a severidade, por exemplo, em relação a aspectos econômicos e a frequência em uma escala numérica como frequência mensal, anual, etc., sendo possível então atribuir uma escala numérica ao risco de cada falha. Neste caso, a avaliação de criticidade acontecerá por meio de uma comparação numérica com uma escala de aceitabilidade.

O quadro 13 representa uma matriz de criticidade com escala numérica, relacionando criticidade e risco. Com base no procedimento de classificação de criticidade de equipamentos a combinação destes impactos, em conjunto com a probabilidade ou frequência de ocorrência da falha funcional analisada, resultam na geração de um binômio “Risco – Criticidade”. O Risco é um índice numérico adimensional, que varia de forma discreta no intervalo entre 1 e 1.180. Já a Criticidade é categorizada em 5 níveis de importância (A/B/C/D/E).

De acordo com faixas pré-definidas de risco (1 à 1.180) e de criticidade (A/B/C/D/E), cada equipamento passa a ser enquadrado dentro de uma escala de abordagem - nível de abordagem NA-1 à NA-5 – que definem um conjunto de ações e recomendações, variando desde um tratamento mais rigoroso e abrangente (Nível NA-1) para equipamentos de alta Criticidade e Risco, até um tratamento mais simplificado (Nível NA-5), aplicável àqueles equipamentos cuja falha funcional tem impacto reduzido ou desprezível para o negócio da empresa.

					FAIXA DE RISCO			
CRITICIDADE	Aspectos	Impacto em SSMA, Produção, e Imagem da Empresa	Frequência de Ocorrência	Abordagem da Estratégia de Manutenção	501 - 1.180	101 - 500	41 - 100	0 - 40
					Alto	Médio	Baixo	Muito Baixo
A		Impacto catastrófico.	Pode ser alta, média ou baixa.	Máxima confiabilidade e disponibilidade.	NA-1	NA-1	NA-2	NA-2
B		Impacto severo.	Pode ser alta, média ou baixa.	Máxima confiabilidade ou máxima disponibilidade.		NA-2	NA-3	NA-3
C		Impacto considerável.	Pode ser média ou baixa.	Máxima disponibilidade.			NA-3	NA-4
D		Pode ter algum impacto.	Normalmente baixa.	Máxima disponibilidade ou obtenção de custo mínimo.				NA-4
E		Não tem impacto.	Normalmente baixa ou muito baixa.	Obtenção de custo mínimo.				NA-5

QUADRO 13: Matriz de Criticidade e Risco.

Fonte: Batávia (2008).

Na figura 6 temos outro exemplo de elaboração de uma matriz de criticidade. Nesta matriz considera-se que a criticidade afeta mais aspectos do que apenas segurança e produtividade. São levados em conta os riscos que a natureza dos serviços representam também nos aspectos de qualidade e conservação do equipamento. O equipamento também é classificado dentro de uma classe entre A e D, considerando se é vital ao processo e se possui equipamento substituto. Esta relação determina a importância relativa ao processo, ou seja, a criticidade que representa e conseqüentemente a forma que vai ser tratado pela área de manutenção, que neste caso está relacionada ao atendimento: emergência, urgência, programável com 48 horas, programável com 72 horas e serviço de rotina.

		NATUREZA DO SERVIÇO							
		Risco de Morte	Risco ao Meio Ambiente	Qualidade do Produto	Volume de Produção	Risco de Perda do Produto	Conservação do Equipamento	Melhorias	Serviços Rotineiros
CLASSE		1	2	3	4	5	6	7	8
Vital e Único	A	1	2	4	7	11	15	19	23
Vital e Não Único	B	3	5	8	12	16	20	24	27
Não Vital e Único	C	6	9	13	17	21	25	28	30
Não Vital e Não Único	D	10	14	18	22	26	29	31	32

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	IMPORTÂNCIA RELATIVA
EMER	EMERGÊNCIA	1 À 6
URGE	URGÊNCIA	7 À 14
PR48	PROGRAMÁVEL COM 48 HORAS	15 À 22
PR72	PROGRAMÁVEL COM 72 HORAS	23 À 29
ROTI	SERVIÇOS DE ROTINA	30 À 32

FIGURA 6: Matriz de Criticidade e Tratamento em Função da Importância Relativa do Equipamento.

Fonte: O autor (2008).

No presente capítulo foi apresentado algumas das formas utilizadas para determinar a criticidade dos equipamentos. Alguns aspectos são considerados nas decisões, concentrando-se basicamente nas questões de produtividade, segurança e meio-ambiente. Outra característica das metodologias expostas é que a avaliação da criticidade é realizada de forma individual, não havendo correlação no julgamento entre os equipamentos. Buscando apresentar uma alternativa de auxílio a decisão para determinar a criticidade dos equipamentos, que possibilite a análise simultânea de vários equipamentos e considerando diversos aspectos, é apresentado nos capítulos seguintes a proposta de utilização da abordagem multicritério.

4 APOIO MULTICRITÉRIO A DECISÃO

4.1 Abordagem multicritério

Os problemas complexos de tomada de decisão são comuns nas diversas áreas. Assim como em outras áreas, na manutenção desde tempos mais remotos o homem tenta resolvê-los, apoiando-se em abstrações, heurísticas e raciocínios dedutivos, com o objetivo de orientar e validar as suas escolhas (GOMES et al, 2004).

De modo geral, problemas complexos de tomada de decisão, de acordo com Gomes et al (2004, p. 1) apresentam pelo menos uma das características a seguir:

- Os critérios para resolução do problema são conflitantes entre si.
- Tanto os critérios como as alternativas não estão claramente definidas, e as conseqüências da escolha de uma alternativa em relação a pelo menos um critério, não são devidamente compreendidas.
- Os critérios e as alternativas podem estar interligados, de forma que um critério pode refletir nos demais.
- A solução dos problemas depende de um conjunto de pessoas, cada uma com pontos de vistas próprios, em geral conflitantes.
- As restrições dos problemas não estão bem definidas, podendo existir dúvidas em relação ao que é critério e ao que é restrição.
- Existem critérios quantificáveis, e outros somente o são por meio de juízos de valor efetuados sobre uma escala.
- A escala para um critério pode ser cardinal, verbal ou ordinal, dependendo da disponibilidade de dados e da natureza dos critérios.

Até a primeira metade do século XX, utilizava-se apenas a esperança matemática para a tomada de decisões em condições aleatórias. Porém em muitas situações, observa-se que o risco associado a tal procedimento não era aceitável. Somente a partir do final da Segunda Guerra Mundial, com a experiência adquirida pelas tropas aliadas em relação à solução de problemas logísticos militares, é que um grande número de instituições de pesquisa

dedicaram-se à análise e à preparação de decisões, utilizando-se da Pesquisa Operacional. (GOMES et al, 2004).

De acordo com Ackoff e Sasieni (1975) a Pesquisa Operacional faz uso de instrumentos científicos para a modelagem de um problema, de modo a proporcionar, aos que controlam o sistema decisões ótimas. A Pesquisa Operacional faz parte de um processo de aperfeiçoamento matemático para solução de problemas de decisões complexos, onde o agente da decisão faz uso de múltiplos critérios para auxiliá-lo no processo decisório.

As técnicas de análise multicritério tiveram seu surgimento nas décadas de 70 e 80, em substituição aos modelos ortodoxos de pesquisa operacional, que surgiram na década de 50 para a resolução de problemas logísticos-militares nas forças armadas durante a 2ª Guerra Mundial, que buscavam soluções para problemas gerenciais complexos (MARINS e COZENDEY, 2005).

Desde o seu surgimento, o estudo de problemas de decisão que estão inseridos em um ambiente complexo tem sido objeto de preocupação de pesquisadores sobre o assunto. São destacados a existência de alguns métodos aplicados aos problemas de decisão com múltiplos critérios, dentro da área de Pesquisa Operacional, de onde surgiu o campo de estudo: Apoio Multicritério a Decisão.

A abordagem multicritério de apoio à decisão é caracterizada como um conjunto de métodos que buscam tornar claro um problema, no qual as alternativas são avaliadas por múltiplos e conflitantes critérios, auxiliando as pessoas e organizações nas decisões. (VINCKE, 1992). A abordagem multicritério não apresenta uma solução ideal para os problemas, mas entre todas as alternativas possíveis de decisão a mais coerente.

Os métodos de apoio multicritério à decisão têm um lado científico, mas ao mesmo tempo, subjetivo, apresentando consigo a capacidade de agregar todas as características consideradas importantes, inclusive as não quantitativas, com o objetivo de permitir a transparência e a sistematização do processo referente aos problemas de tomada de decisões (GOMES et al, 2004).

Esses métodos multicritérios fazem um enfoque diferenciado sobre os problemas e passam a atuar sobre a forma de auxílio à decisão, apresentando segundo Gomes et al (2004, p.3) algumas características bem definidas em relação à sua metodologia:

- A análise do processo de decisão, em que essa metodologia é aplicada, tem sempre o objetivo de identificar informações/regiões críticas.
- A existência de uma melhor compreensão acerca das dimensões do problema.
- A possibilidade de haver diferentes formulações válidas para um único problema.
- A aceitação de que, em problemas complexos, as situações nem sempre se ajustam a um perfeito formalismo e, em particular, de que estruturas que representam de forma parcial a compatibilidade entre as alternativas podem ser relevantes no processo de auxílio à decisão.
- O uso de representações explícitas de uma estrutura de preferências, em vez de representações numéricas definidas artificialmente, muitas vezes pode ser mais apropriado a um problema específico de tomada de decisões.

Almeida e Costa (2003) colocam que o apoio multicritério tem como princípio, no processo de decisão, buscar o estabelecimento de uma relação de preferências entre as alternativas que estão sendo avaliadas sob a influência de vários critérios. Complementa Gomes et al (2004), que o estudo de problemas de decisões, a partir do enfoque multicritério, não objetiva apresentar ao decisor uma solução específica para o problema, mas sim, apoiar o processo de decisão ao recomendar ações ou cursos de ação a quem vai tomar a decisão.

Existem vários métodos desenvolvidos para a abordagem e tratamento de problemas com múltiplos critérios. Destacam-se dois grupos representativos de escolas citados na literatura (ALMEIDA E COSTA, 2003; GOMES et al 2004):

- Escola americana: destaca-se a teoria multiatributo (MAUT).
- Escola européia: destacam-se os métodos de sobreclassificação, em especial os da família ELECTRE e família PROMETHEE.

Outras abordagens ou métodos são apresentados na literatura: programação matemática multiobjetivo, SMART, AHP, MACHBETH, TODIM (ALMEIDA E COSTA, 2003).

A escolha do método vai depender de vários fatores destacando-se as características: do problema analisado, do contexto considerado, da estrutura de preferências do decisor e da problemática em si (ALMEIDA e COSTA, 2003).

As soluções dos problemas de decisão variam em função do resultado pretendido. Segundo Roy (1996) uma das seguintes problemáticas é abordada, conforme exposto no quadro 14:

Tipo do Problema	Problemática abordada
Tipo α ($P\alpha$) – Escolha / Seleção	Selecionar a “melhor” alternativa ou as melhores alternativas.
Tipo β ($P\beta$) – Classificação	Aceitar alternativas que parecem “boas” e descartar as que parecem “ruins”, ou seja, realizar uma classificação das alternativas.
Tipo γ ($P\gamma$) – Ordenação	Gerar uma ordenação das alternativas.
Tipo σ ($P\sigma$) – Descrição	Realizar uma descrição das alternativas.

QUADRO 14: Problemática em função do tipo de problema.

Fonte: Adaptado de Roy (1996).

A aplicação de qualquer método de análise multicritério pressupõe a necessidade de se estabelecer quais objetivos o decisor pretende alcançar, estabelecendo a representação destes múltiplos objetivos através do uso de múltiplos critérios. Aspectos ligados às preferências do decisor são geralmente considerados para a escolha de um método de apoio à decisão. Em determinadas circunstâncias, simplicidade e facilidade de operacionalização podem ser fatores cruciais para solucionar o problema. Muitas vezes, a falta de intimidade com outras metodologias implica ao decisor a escolha de um determinado método, o qual nem sempre é o mais apropriado para a situação.

4.2 Atores da decisão

O processo decisório em qualquer área acontece com o auxílio de pelo menos três atores ou grupos de atores distintos: o decisor, o facilitador e o analista.

Para Gomes et al (2002) o decisor é definido como aquele a quem o processo decisório destina-se, e que tem o poder e a responsabilidade de ratificar uma decisão e assumir suas conseqüências. O decisor, sujeito da decisão, agente de decisão, ou tomador de decisão é aquele indivíduo ou grupo de indivíduos que, direta ou indiretamente, proporcionam o juízo de valor final que poderá ser usado no momento de avaliar as alternativas disponíveis, com o objetivo de identificar a melhor escolha. Apesar de parecer uma trivialidade, a definição do juízo de valor é fundamental na decisão multicritério, uma vez que a alternativa selecionada

dependerá da informação introduzida pelo decisor no processo. Essa informação é fundamentalmente subjetiva e obedece à estrutura interna de preferências do decisor (GOMES et al, 2004).

Para Roy apud Gomes et al (2002), o facilitador é um ator particular, cujo grau de ingerência na atividade de apoio à decisão deveria ser contínuo, adotando uma postura empática. É um líder experiente que focaliza sua atenção na resolução do problema, esclarecendo e modelando o processo de avaliação e negociação conducente a tomada de decisão. Funciona como um intermediador no processo decisório, devendo agir de forma imparcial, a fim de não influenciar a decisão final.

O analista é a pessoa (ou equipe) encarregada de modelar o problema e, eventualmente, fazer as recomendações relativas a seleção final. Tem papel fundamental, recebendo as opiniões do decisor tratando-as de forma objetiva e convertendo-as ao modelo a ser utilizado (GOMES et al, 2004). Nas palavras de Gomes et al (2002), o analista é a pessoa que auxilia o decisor e o facilitador na estruturação do problema e identificação dos fatores que influenciam na evolução, configuração e solução do problema.

O trabalho conjunto desses três atores resulta no atingimento do objetivo principal de qualquer processo decisório, que é a escolha da melhor ou mais apropriada decisão, de forma que atenda às necessidades dos decisores.

4.3 Etapas da análise de decisão multicritério

Tomando como referência Gomes et al (2004), Gomes et al (2002) e Almeida e Bohoris (1995), enumera-se as principais etapas propostas para a análise de decisão envolvendo múltiplos critérios. Este processo divide-se em nove etapas, sendo detalhadas a seguir.

ETAPA 01 – Identificar os tomadores de decisão – De acordo com o tipo de problema enfrentado, as pessoas que estão interligadas diretamente a esse processo devem ser claramente identificadas com o objetivo de participarem e colaborarem com a decisão.

ETAPA 02 – Definir as alternativas possíveis – Não existe um limite pré-estabelecido de alternativas para solucionar um determinado problema. Em alguns casos as alternativas são de fácil identificação, em outros é preciso enumerá-las e em outros ainda, talvez seja necessário reduzir o número de alternativas, eliminando as que não atenderem a algum

critério estabelecido previamente. Deve-se gerar alternativas possíveis que poderiam ter sucesso na solução do problema.

ETAPA 03 – Definir os critérios relevantes para o problema de decisão – Aqui o decisor está determinando o que é relevante à tomada de decisão. Este passo introduz no processo os interesses, os valores e as preferências pessoais do tomador de decisão. A definição de alternativas e critérios é um processo totalmente interativo. No decorrer do levantamento de alternativas podem surgir novos critérios ou vice-versa. Não há uma regra exata para a formulação dos critérios de decisão. Quando trata-se de um problema complexo, invariavelmente se tem necessidade de estruturar os critérios em uma hierarquia. A hierarquia mais comum tem a forma de uma árvore, ou seja, os critérios mais relevantes se encontram no topo, e se decompõe em subcritérios nas escalas mais baixas. Após a construção de uma árvore de critérios, pode-se representar se essa representação tem utilidade ao decisor utilizando-se cinco fatores ou critérios sugeridos por Keeney e Raiffa apud Gomes et al (2004, p.26):

- **Compleitude** – se a árvore está completa, todos os critérios que interessam de alguma forma ao tomador de decisão estarão incluídos nela.
- **Operacionalidade** – esse critério é atingido quando todos os critérios do nível mais baixo da árvore são suficientemente específicos para que o tomador de decisão possa avaliá-los e compará-los entre as diferentes alternativas disponíveis.
- **Decomponibilidade** – esse critério requer que o desempenho de uma alternativa em relação a um critério possa ser avaliado, independentemente de seu desempenho em relação aos demais critérios.
- **Ausência de redundância** – se dois critérios representam a mesma coisa, então um deles é claramente redundante. Uma forma de avaliar a redundância de um critério é eliminá-lo da árvore e verificar então se isso afeta a decisão da melhor alternativa. Se isso ocorrer, não há necessidade de incluir o critério na análise.
- **Tamanho mínimo** – se a árvore for muito grande, qualquer análise significativa tornar-se-á impossível. Para assegurar que isso não aconteça, os critérios não deverão ser divididos além do nível em que podem ser avaliados. Muitas vezes a árvore pode ser reduzida, eliminando os critérios que não contribuem para a decisão.

ETAPA 04 – Avaliar as alternativas em relação aos critérios – Essa etapa do processo pode ser denominada de pontuação ou *scoring*. Uma vez gerada as alternativas, o tomador de

decisão deve analisar e avaliar criteriosamente cada uma delas. Devem-se analisar as vantagens e desvantagens de cada alternativa de solução mediante os critérios estabelecidos. A escala de valor não é necessariamente uma função linear ou uma função monotônica de escala em que o critério é naturalmente medido. Entretanto, em muitos casos não existe uma escala de medida natural para medir um critério, podendo se fazer uso então de uma escala de medida *proxy* ou uma escala subjetiva.

ETAPA 05 – Determinar a importância relativa dos critérios – Os critérios identificados raramente possuem a mesma importância, dessa forma essa etapa do processo consiste em atribuir pesos aos critérios, com o objetivo de mostrar a importância de um critério para o tomador de decisão. Os pesos são os valores de *trade-off* ou taxas marginais de substituição. Eles determinam quanto de um critério está disposto a ceder com a finalidade de melhorar o desempenho de outro.

ETAPA 06 – Determinar a avaliação global de cada alternativa – Usando uma função de valor multiatributo ou um método de sobreclassificação, determina-se o valor ou pontuação global de cada alternativa.

ETAPA 07 – Análise de sensibilidade – É importante realizar uma análise de sensibilidade, especialmente nos pesos dos critérios, a fim de perceber a resistência dos valores das alternativas a possíveis mudanças nas preferências do tomador de decisão. Em termos gerais, a análise de sensibilidade investiga a robustez da solução e resulta no seguinte:

- Se variações significantes nas preferências do decisor não geram alterações na solução ótima obtida. Nesse caso o sistema é visto como robusto e a decisão obtida confiável.
- Se pequenas variações nas preferências do decisor alteram de forma considerável a solução ótima obtida. Caso isso ocorra, a sugestão é revisar cuidadosamente os pesos atribuídos aos critérios de decisão.

ETAPA 08 – Implementação – A análise realizada deve ser considerada junto com as informações relevantes para o processo de tomada de decisões, com o intuito de se fazer uma recomendação final. Apesar de ser a última etapa da análise, essa deve ser considerada desde o começo do processo. Os decisores devem estar cientes, durante todo o processo de análise, dos fatores que afetam a implementação das alternativas, os quais deveriam inclusive ser

considerados como critérios do processo. Na verdade a etapa que mais consome tempo não é a tomada de decisão e sim a sua colocação em prática.

5 SISTEMÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DA CRITICIDADE

5.1 Descrição do processo estudado

Para avaliação da sistemática de determinação da criticidade proposta, é utilizada como objeto de estudo um processo de fabricação de queijo *Petit Suisse* de uma indústria de laticínios. Na seqüência serão apresentadas as fases deste processo e feito o detalhamento dos equipamentos que o compõe.

5.1.1 Recebimento de leite

O leite *in natura* é recebido em caminhões isotérmicos oriundos de diversos produtores e descarregado na recepção de leite da empresa. Com o objetivo de garantir a qualidade do leite desde a ordenha até a sua industrialização. Na Usina de beneficiamento o leite é bombeado passando por um trocador de calor a placas sendo resfriado a 5°C e armazenado em silos isotérmicos verticais, que dificultam a troca térmica com o ambiente externo. A figura 7 representa o fluxo do processo de recebimento do leite até seu armazenamento no silo (figura 8).

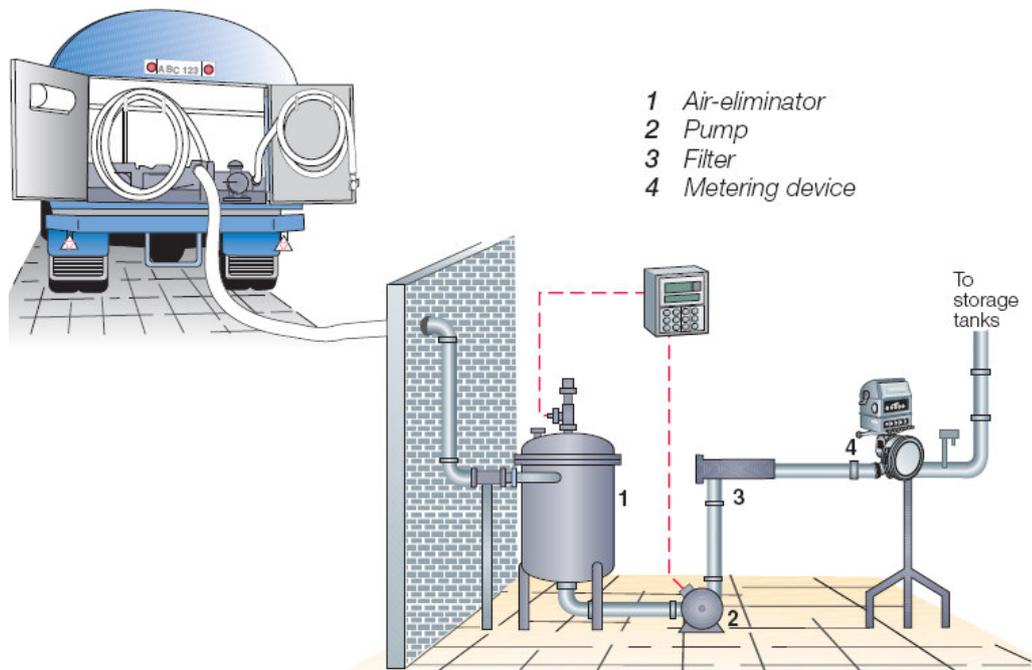


FIGURA 7: Recebimento de leite.

Fonte: TETRA PAK. Dairy processing handbook. Sweden, 2003.

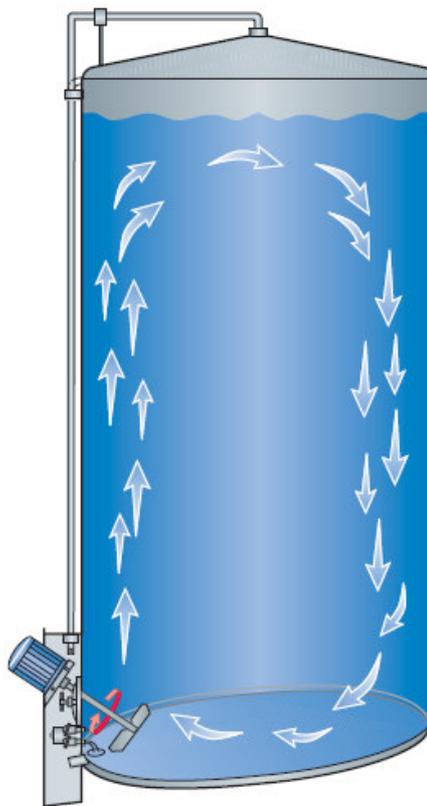


FIGURA 8: Silo isotérmico de armazenagem.

Fonte: TETRA PAK. Dairy processing handbook. Sweden, 2003.

Fazem parte desta etapa do processo e serão avaliados quanto à sua criticidade os principais equipamentos listados no quadro 15:

Item	Equipamento	Tag
1	Bomba de descarga plataforma 1	01BB01
2	Resfriador a placas APV linha 1	01RF01
3	Silo de leite cru 16	01SL16
4	Agitador do silo de leite cru 16	01AG16

QUADRO 15: Principais equipamentos do processo de recebimento de leite.

Fonte: O autor (2008).

5.1.2 Padronização e pasteurização

O leite resfriado é bombeado do silo de estocagem para um tanque de equilíbrio para pré-aquecimento a 63°- 65°C na seção de regeneração do pasteurizador. O pré-aquecimento tem a finalidade de aumentar a eficiência da etapa de centrifugação do leite na centrífuga.

A centrífuga separa a gordura devido à diferença de densidade, ao mesmo tempo clarificando o leite, já que os particulados (sujeiras) são muito mais pesados e sedimentam no fundo do equipamento. Através de descargas que ocorrem a cada 30 minutos as partículas mais densas são expelidas para fora do equipamento. Em seguida o leite é padronizado no percentual necessário em equipamento de padronização automático.

O leite então retorna ao pasteurizador onde é aquecido a 75°C em um trocador a placas e mantido por 15 segundos através de um retardador e em seguida resfriado a 5°C por meio da troca térmica com o leite que está entrando e água gelada. A fim de garantir a pasteurização um sistema de controle de temperatura aciona uma válvula de desvio de fluxo no caso da temperatura baixar de 75°C recirculando o produto pelo pasteurizador. O processo de pasteurização tem a função de eliminar microorganismos patogênicos do leite.

Depois de pasteurizado o leite resfriado é novamente armazenado em tanques isotérmicos aguardando a industrialização. No quadro 16 são apresentados os principais equipamentos que compõe esta etapa.

Item	Equipamento	Tag
1	Bomba de leite pasteurizador 30.000	03BB01
2	Bomba de água quente pasteurizador 30.000	03BB08
3	Centrífuga Alfa Laval – pasteurizador 30.000	03CN01
4	Pasteurizador 30.000 Alfa Laval	03PS01
5	Tanque de equilíbrio pasteurizador 30.000	03TQ01
6	Tanque de estocagem leite pasteurizado	51TQ01

QUADRO 16: Principais equipamentos do processo de padronização e pasteurização.

Fonte: O autor (2008).

5.1.3 Tratamento térmico do leite

Após a pasteurização o leite sofre novo tratamento térmico em trocador de calor tubular sendo aquecido a 92°C por 5 minutos e resfriado em seguida a 28/30°C.

Da saída do pasteurizador o leite passa para os tanques de fermentação, onde permanece por aproximadamente 13 horas até atingir a acidez desejada. Quando é atingida a acidez a massa branca é quebrada por meio de agitação entre 20 e 30 minutos.

No quadro 17 são listados os principais equipamentos que fazem a composição desta etapa do processo.

Item	Equipamento	Tag
1	Pasteurizador a placas	51PS02
2	Retardador tubular	51RE02
3	Bomba centrífuga sanitária	51BB13
4	Bomba de água gelada	51BB14
5	Bomba de água quente	51BB15
6	Tanque de equilíbrio	51TQ17

QUADRO 17: Principais equipamentos da etapa de tratamento térmico e homogeneização.

Fonte: O autor (2008).

5.1.4 Centrifugação

A base branca passa pelo trocador de calor a placas (63°-64° C) por 30 segundos, circula pelo retardador por 10 - 15 minutos e resfria no mesmo trocador para 45°C. Este processo é chamado de termização e tem por objetivo facilitar a centrifugação.

No processo de centrifugação a base é separada do soro através do uso da centrífuga. O soro é descartado e a base-quark é utilizada para a fabricação do *Petit Suisse*. O processo de centrifugação tem seu princípio baseado na separação dos sólidos do leite por meio da força centrípeta gerada pela alta rotação de operação da centrífuga. A figura 9 mostra em detalhe o princípio de funcionamento da centrifugação e a centrífuga em corte.

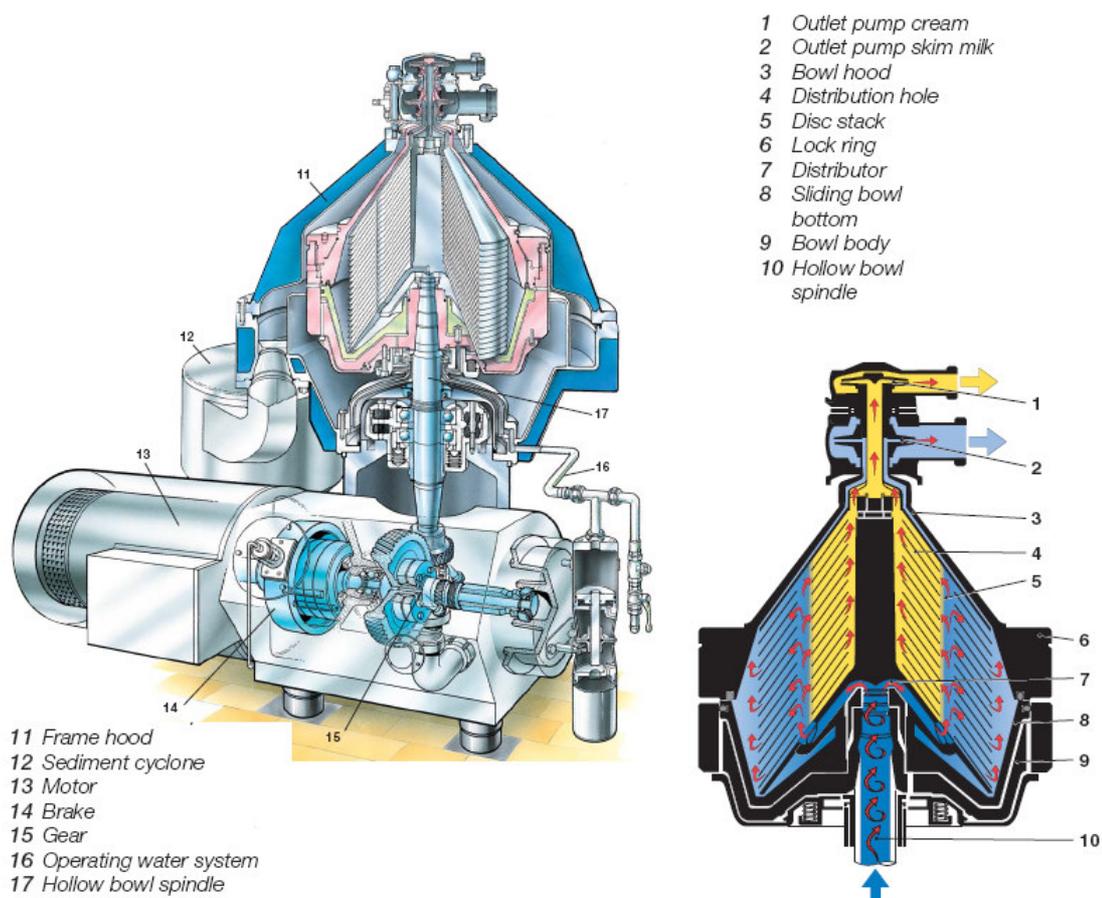


FIGURA 9: Processo de centrifugação e vista em corte da centrífuga.

Fonte: TETRA PAK. Dairy processing handbook. Sweden, 2003.

Após a centrifugação é adicionado em linha ao quark, o creme de leite doce e o preparado de frutas. O quark misturado com o creme doce é resfriado à 10°C e estocado em tanque intermediário. Já o preparado de frutas é armazenado em containers, sendo adicionado em linha ao quark com creme no momento do envio para a máquina de envase, obtendo-se então o produto final: *Petit Suisse*.

No quadro 18 são listados os principais equipamentos que farão parte do processo de determinação da criticidade.

Item	Equipamento	Tag
1	Bomba centrífuga sanitária	67BB01
2	Tanque de maturação massa branca	67TQ02
3	Termização – trocador de calor	67PS01
4	Retardador tubular	67RE01
5	Tanque de soro	67TQ09
6	Tanque de equilíbrio	67TQ10
7	Tanque de maturação	67TQ02

8	Bomba positiva entrada centrífuga	68BB01
9	Bomba positiva adição creme doce	68BB02
10	Bomba de água quente	68BB03
11	Bomba de água gelada	68BB04
12	Centrífuga Westfália	68CN01
13	Resfriador tubular Westfália	68RF01
14	Tanque de preparo creme doce	68TQ01
15	Tanque de estocagem de geléia	68TQ04
16	Silo de armazenagem de quark	68TQ06
17	Bomba positiva linha 1 saída silo quark	68BB06
18	Bomba positiva linha 2 saída silo quark	68BB08
19	Bomba adição de preparado de frutas linha 1	68BB13
20	Bomba adição de preparado de frutas linha 2	68BB14

QUADRO 18: Principais equipamentos que compõe o processo de centrifugação.

Fonte: O autor (2008).

5.1.5 CIP

Em uma planta de alimentos a garantia de higienização é parte essencial do processo. Todos os equipamentos que entram diretamente em contato com o produto devem, em períodos pré-determinados, passar por um processo de limpeza, o qual chamamos de C.I.P – do inglês, *cleaning in place*. Para a avaliação de criticidade consideraremos o sistema de limpeza como um só conjunto, considerando bombas, tanques e instrumentação de controle.

5.1.6 Envase

O produto final é envasado em máquina termoformadora, a qual forma potes de polietileno em bandejas de 360g ou 500g (seis potes por conjunto). Na avaliação de criticidade dos equipamentos do processo de fabricação de *Petit Suisse*, por tratar-se de um equipamento complexo, a máquina termoformadora é dividida em subconjuntos, como segue:

- Desbobinador: sistema responsável por desenrolar a bobina da chapa de polietileno;
- Placas de aquecimento: sistema responsável pelo aquecimento da chapa nas áreas de formação do pote;

- Molde de formação: conjunto que através da ação mecânica e injeção de ar comprimido faz a formação dos potes conforme desenhado no molde;
- Dosador: área da máquina onde os potes formados são enchidos com o produto;
- Cobertura e selagem: sobre as bandejas contendo produto, um alumínio de cobertura é selado através de um conjunto aquecido de eletrodo e contra-eletrodo. No momento do desbobinamento do alumínio é realizada a datagem de fabricação, lote e validade;
- Ferramenta de corte: é um conjunto de matriz que tem a função de realizar a separação dos conjuntos, o corte da lateral e as áreas entre os potes. Neste momento é realizada a vincagem entre os potes permitindo a separação em potes individuais no momento do consumo;
- Esteira de saída: é através dela que os conjuntos saem da máquina para serem encaixotados e paletizados manualmente.

Na figura 10 é apresentada a vista geral de uma máquina termoformadora utilizada no processo de envase do *Petit Suisse* e na figura 11 o detalhe de um conjunto de potes termoformados.



FIGURA 10: Vista geral de uma máquina termoformadora.

Fonte: Batávia S.A. (2008).



FIGURA 11: Detalhe dos potes termoformados.

Fonte: Batávia S.A. (2008).

5.2 Detalhamento da sistemática

A sistemática proposta foi elaborada baseada em Gomes et al (2004), Gomes et al (2002) e Almeida e Bohoris (1995), e seguem um padrão então especificado conforme detalhado no tópico 4.3. A fim de ilustrar a sistemática de decisão proposta para apoio a decisão na determinação da criticidade de equipamentos industriais é apresentado o fluxo com as etapas na figura 12. Em seguida são detalhadas as ações realizadas em cada etapa.

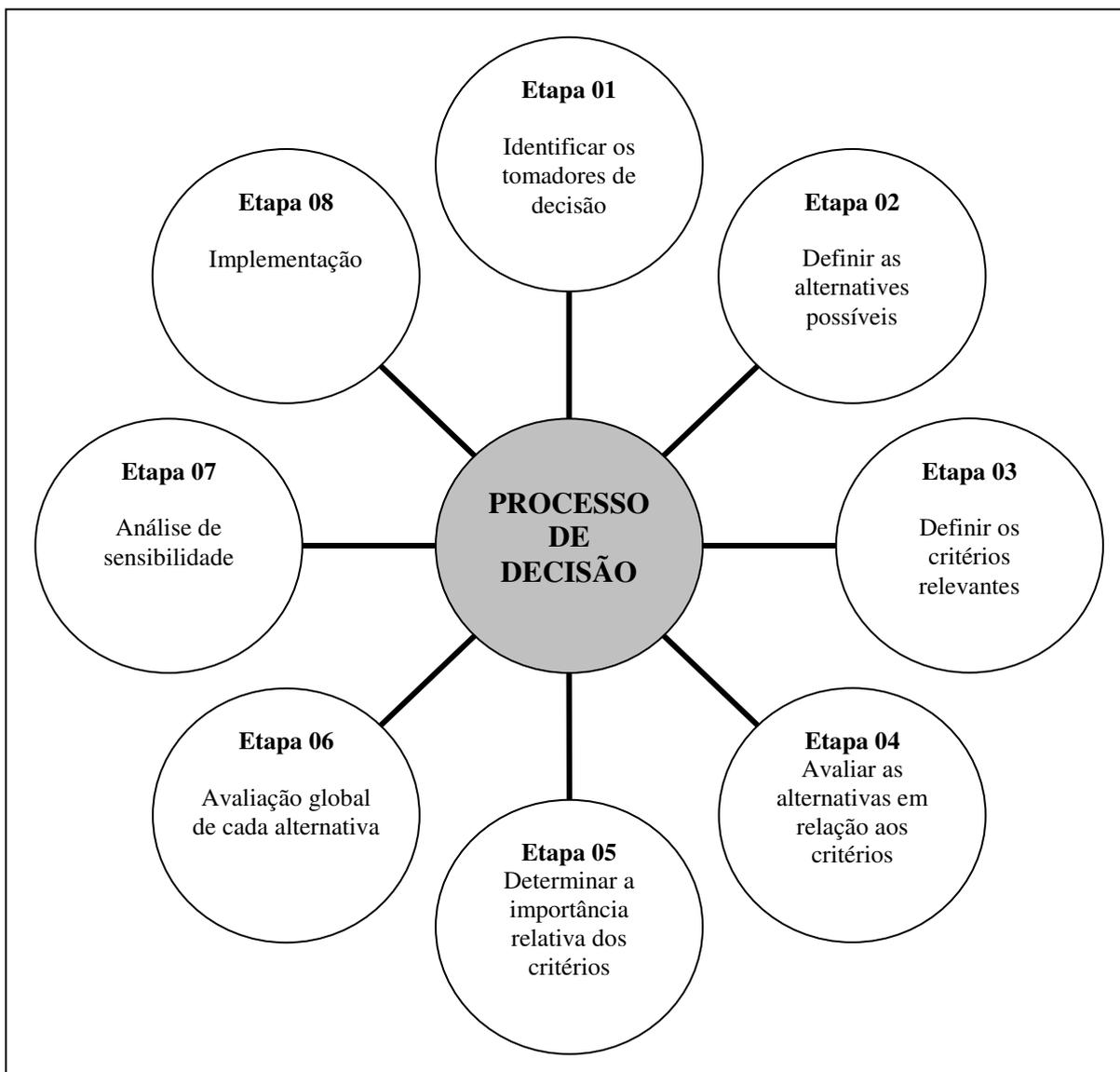


FIGURA 12: Etapas da sistemática proposta para determinação da criticidade.

Fonte: O autor (2008).

5.2.1 Etapa 1 – Identificação dos tomadores de decisão

A determinação da criticidade dos equipamentos envolve toda a empresa, incluindo principalmente as áreas de produção, manutenção e qualidade. Buscando estabelecer um processo decisório assertivo e confiável foram selecionadas pessoas dessas áreas que estão interligadas diretamente e possuem sólidos conhecimentos do processo de fabricação do *Petit Suisse* e dos equipamentos que o compõe.

No quadro abaixo são relacionados os colaboradores que colaboraram com o processo decisório.

Setor	Função	Nº Pessoas envolvidas
Manutenção	Supervisor de Manutenção Mecânica	2
Manutenção	Supervisor de Manutenção Elétrica	1
Manutenção	Analista de Planejamento e Controle de Manutenção	1
Manutenção	Técnico Mecânico	1
Manutenção	Técnico Eletrônico	1
Produção	Coordenador de Produção	2
Produção	Supervisor de Produção	2
Produção	Operador de Máquina	1
Qualidade	Coordenador de Qualidade	1
Qualidade	Analista de Qualidade	1

QUADRO 19: Equipe de tomadores de decisão envolvidos no processo de determinação de criticidade dos equipamentos.

Fonte: O autor (2008).

Cada um dos atores envolvidos no processo decisório participam ativamente nas etapas subsequentes da sistemática contribuindo com seus conhecimentos específicos em relação ao processo e aos equipamentos. Como participam atores de três áreas da organização – produção, qualidade e manutenção – podem surgir conflitos os quais são tratados adequadamente de forma imparcial pelo facilitador do processo de decisão.

5.2.2 Etapa 2 – Definição das alternativas possíveis

As alternativas em questão para solução do problema de determinação de criticidade são os equipamentos envolvidos no processo de fabricação do *Petit Suisse*. Cada equipamento representará uma alternativa mais ou menos crítica em relação aos critérios estabelecidos conforme a avaliação dos decisores. No quadro 20 estão listados todos os equipamentos envolvidos no processo e que representam as alternativas possíveis de decisão.

Alternativa	Equipamento	Tag
1	Bomba de descarga plataforma 1	01BB01
2	Resfriador a placas APV linha 1	01RF01
3	Silo de leite cru 16	01SL16

4	Agitador silo de leite cru 16	01AG16
5	Bomba de leite pasteurizador 30.000	03BB01
6	Bomba de água quente pasteurizador 30.000	03BB08
7	Centrífuga Alfa Laval – pasteurizador 30.000	03CN01
8	Pasteurizador 30.000 Alfa Laval	03PS01
9	Tanque de equilíbrio pasteurizador 30.000	03TQ01
10	Tanque de estocagem leite pasteurizado	51TQ01
11	Pasteurizador a placas	51PS02
12	Retardador tubular	51RE02
13	Bomba centrífuga sanitária	51BB13
14	Bomba de água gelada	51BB14
15	Bomba de água quente	51BB15
16	Tanque de equilíbrio	51TQ17
17	Homogeneizador	51HM02
18	Bomba centrífuga sanitária	67BB01
19	Tanque de maturação massa branca	67TQ02
20	Termização – trocador de calor	67PS01
21	Retardador tubular	67RE01
22	Tanque de soro	67TQ09
23	Tanque de equilíbrio	67TQ10
24	Tanque de maturação	67TQ02
25	Bomba positiva entrada centrífuga	68BB01
26	Bomba positiva adição creme doce	68BB02
27	Bomba de água quente	68BB03
28	Bomba de água gelada	68BB04
29	Centrífuga Westfalia	68CN01
30	Resfriador tubular Westfalia	68RF01
31	Tanque de preparo creme doce	68TQ01
32	Tanque de estocagem de geléia	68TQ04
33	Silo de armazenagem de quark	68TQ06
34	Bomba positiva linha 1 saída silo quark	68BB06
35	Bomba positiva linha 2 saída silo quark	68BB08
36	Bomba adição de preparado de frutas linha 1	68BB13
37	Bomba adição de preparado de frutas linha 2	68BB14
38	Sistema C.I.P.	-
39	Máquina Termoformadora	-

QUADRO 20: Alternativas de decisão.

Fonte: O autor (2008).

5.2.3 Etapa 3 – Definição dos critérios relevantes para o problema de decisão

Os critérios possíveis de serem utilizados no processo de decisão para determinar a criticidade de um equipamento foram apresentados anteriormente no tópico 2.3 deste trabalho, conforme a visão de diferentes autores. No tópico 2.4 os critérios relevantes para o problema de decisão em questão foram definidos e apresentados atendendo à visão, missão e valores da empresa estudada, além do bom senso e experiência da equipe de decisão.

A avaliação dos critérios é separada em dois grupos: qualitativo e quantitativo. No grupo qualitativo a avaliação é realizada de forma subjetiva através da experiência do grupo decisor. Já para o grupo quantitativo são utilizadas informações do bancos de dados da manutenção para a avaliação das alternativas.

Em primeiro lugar foram definidos os critérios de segurança – humana, meio-ambiente e instalações, pois são altamente considerados pela organização. Em seguida os critérios de produção e qualidade. Na seqüência, com uma visão técnica, são considerados os aspectos de custos de manutenção, frequência de ocorrência de falhas e número de intervenções corretivas/preventivas. Por fim, tratando-se de um processo de produção de alimentos é definido o critério de segurança alimentar.

No quadro 21 são enumerados os critérios relevantes para o problema de decisão.

Item	Critério	Característica da avaliação
1	Segurança	Qualitativo
2	Produção	Qualitativo
3	Qualidade	Qualitativo
4	Custo da Manutenção	Quantitativo
5	Frequência de Ocorrência de Falhas	Quantitativo
6	Número de Intervenções	Quantitativo
7	Segurança alimentar	Qualitativo

QUADRO 21: Critérios relevantes para o problema de decisão.

Fonte: O autor (2008).

5.2.4 Etapa 4 – Avaliação das alternativas em relação aos critérios

Geradas as alternativas, o tomador de decisão faz a análise e avaliação de forma criteriosa. São analisadas as vantagens e desvantagens de cada alternativa de solução em

relação aos critérios estabelecidos. Como exposto no tópico anterior dois tipos de avaliação são utilizadas em relação aos critérios, a quantitativa e a qualitativa.

Para os critérios de avaliação qualitativos é estabelecida uma escala subjetiva de avaliação. Para esta escala subjetiva existe uma conversão para uma escala de avaliação numérica, permitindo o estabelecimento de valores para os cálculos que irão determinar a criticidade. O quadro 22 apresenta a escala estabelecida para os critérios segurança, produção, qualidade e segurança alimentar respectivamente.

Insignificantes		Pequenas		Consideráveis		Altas		Muito altas	
0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

QUADRO 22: Escala de avaliação para os critérios segurança, produção, qualidade e segurança alimentar.

Fonte: O autor (2008).

A fim de orientar o grupo de decisão em relação à escala verbal utilizada para a avaliação qualitativa, fez-se necessário os seguintes esclarecimentos conforme quadro a seguir:

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicação
0,1 à 0,2	Insignificantes	Uma falha do equipamento não terá nenhum tipo de impacto em relação aos aspectos avaliados
0,3 à 0,4	Pequenas	Uma falha do equipamento terá impacto pequeno em relação aos aspectos avaliados, quase desprezível
0,5 à 0,6	Consideráveis	Uma falha do equipamento terá impacto em relação aos aspectos avaliados que deverá ser considerado com mais atenção
0,7 à 0,8	Altas	Uma falha do equipamento terá impacto muito sério em relação aos aspectos avaliados
0,9 à 1,0	Muito Altas	Uma falha do equipamento terá impacto catastrófico em relação aos aspectos avaliados

QUADRO 23: Explicação da escala verbal utilizada na avaliação qualitativa.

Fonte: O autor (2008).

A partir destas escalas é montado um formulário de avaliação (APÊNDICE 1), o qual é respondido por cada indivíduo do grupo decisor. Todos os atores respondem a todas as questões para cada equipamento, sendo as respostas de avaliação de cada decisor para cada alternativa (equipamento) são agrupadas, descartadas a menor e a maior avaliação e então calculadas a média aritmética simples, cujo resultado será a avaliação final do equipamento para o critério específico.

No caso dos critérios quantitativos, as informações para a avaliação em relação aos custos de manutenção, frequência de ocorrência de falhas e número de intervenções corretivas/preventivas são retiradas do banco de dados da manutenção (módulo de manutenção do SAP/R3).

Na tabela seguinte é apresentada a avaliação final realizada pelo grupo decisor para cada equipamento em relação aos critérios estabelecidos. A partir desta avaliação é realizado o cálculo para a determinação de criticidade de cada equipamento.

TABELA 1: Avaliação dos equipamentos em relação aos critérios.

Alternativa / Equipamento	Critérios de Avaliação						
	Segurança	Produção	Qualidade	Seg. Alimentar	Custos de Manut. (R\$/mês)	Freq. de Falhas (TMEF)	Nº intervenções / mês
1	0,268	0,500	0,378	0,322	30,47	1.723,25	0,45
2	0,322	0,650	0,650	0,563	0	0	0
3	0,333	0,500	0,567	0,478	60,38	5.756,50	0,13
4	0,222	0,422	0,488	0,333	192,07	520,18	1,38
5	0,322	0,633	0,533	0,311	19,99	2.878,75	0,25
6	0,267	0,622	0,511	0,378	43,26	2.876,25	0,25
7	0,533	0,689	0,589	0,500	3.109,14	708,62	2,87
8	0,389	0,700	0,667	0,644	46,07	819,26	0,88
9	0,178	0,389	0,333	0,244	0	0	0
10	0,329	0,471	0,543	0,400	10,85	1.919,00	0,38
11	0,386	0,686	0,700	0,486	1.819,72	474,95	1,50
12	0,243	0,414	0,514	0,429	0	0	0
13	0,217	0,533	0,533	0,283	0	0	0
14	0,229	0,457	0,357	0,286	0	0	0
15	0,343	0,557	0,486	0,300	30,39	5.756,00	0,13
16	0,171	0,443	0,386	0,186	0	0	0
17	0,500	0,567	0,667	0,417	910,19	210,80	3,37
18	0,243	0,543	0,529	0,114	0	1.437,80	0,50

19	0,314	0,543	0,529	0,343	0	0	0
20	0,300	0,600	0,571	0,400	17,56	2.875,25	0,25
21	0,329	0,429	0,443	0,371	0	0	0
22	0,314	0,257	0,243	0,186	0	0	0
23	0,214	0,443	0,400	0,243	0	0	0
24	0,367	0,529	0,633	0,433	0	0	0
25	0,257	0,629	0,729	0,329	0	2.878,09	0,25
26	0,286	0,586	0,629	0,371	59,43	2.878,75	0,25
27	0,343	0,571	0,514	0,343	0	0	0
28	0,400	0,571	0,529	0,443	18,73	572,40	1,25
29	0,614	0,800	0,729	0,529	1.647,46	149,70	4,75
30	0,271	0,529	0,614	0,471	0	0	0
31	0,300	0,543	0,471	0,529	3,44	2.878,90	0,25
32	0,200	0,386	0,500	0,429	0	0	0
33	0,300	0,529	0,514	0,586	0	0	0
34	0,271	0,500	0,457	0,300	0	0	0
35	0,271	0,500	0,457	0,300	0	0	0
36	0,271	0,500	0,500	0,328	0	0	0
37	0,271	0,500	0,500	0,328	0	0	0
38	0,683	0,683	0,700	0,700	5.546,20	39,19	16,75
39	0,550	0,767	0,700	0,683	7.258,16	22,70	28,88

Fonte: Elaboração do autor a partir de dados da pesquisa (2008).

5.2.5 Etapa 5 – Determinação da importância relativa de cada critério

Os critérios raramente possuem a mesma importância, 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 está disposto a ceder com a finalidade de melhorar o desempenho de outro.

Para os critérios estabelecidos neste estudo, levando em consideração a missão, visão e valores da empresa, são atribuídos os seguintes pesos:

Critérios de Avaliação - Pesos individuais						
Segurança	Produção	Qualidade	Seg. Alimentar	Custos de Manut.	Freq. de Falhas	Nº intervenções
5	3	3	3	2	2	2

QUADRO 24: Pesos atribuídos aos critérios de decisão.

Fonte: O autor (2008).

5.2.6 Etapa 6 – Avaliação global de cada alternativa

Para determinar a criticidade dos equipamentos, nesta etapa de avaliação global das alternativas, são utilizados dois métodos multicritérios distintos: o PROMETHE e o ELECTRE. Com o método ELECTRE I é possível em um conjunto de equipamentos selecionar os de alta criticidade. Por sua vez, aplicando o método PROMETHEE II para um grupo de equipamentos, os equipamentos são ordenados por grau de criticidade, do mais crítico para o menos crítico. Nos dois tópicos seguintes são detalhados a aplicação dos dois métodos.

5.2.6.1 Aplicação do método ELECTRE I

Segundo Gomes et al (2004), o método ELECTRE I procura esclarecer a decisão por intermédio da escolha de um subconjunto que seja restrito o máximo possível e que contenha as melhores alternativas. O método ELECTRE I constrói as relações de sobreclassificação a partir de índices de concordância e discordância, mediante comparações entre pares de equipamentos (ALMEIDA e COSTA, 2003).

A criticidade é avaliada para os equipamentos do quadro 20, sendo os critérios analisados para a tomada de decisão os apresentados no quadro 21. A tabela 1 apresenta a avaliação realizada pelo grupo decisor para cada alternativa em relação a cada critério e o quadro 26 os pesos para cada critério. Os valores de avaliação e pesos de cada critério para cada alternativa são normalizados. Toma-se como método de normalização o quociente entre o elemento a ser normalizado e a soma total, obtendo-se a tabela 2:

TABELA 2: Normalização da avaliação dos equipamentos em relação aos critérios e normalização dos pesos dos critérios.

Alternativa / Equipamento	Critérios de Avaliação						
	Segurança	Produção	Qualidade	Seg. Alimentar	Custos de Manut. (R\$/mês)	Freq. de Falhas (TMEF)	Nº intervenções / mês
1	0,0212	0,0236	0,0182	0,0210	0,0015	0,0461	0,0070
2	0,0255	0,0307	0,0313	0,0368	0,0000	sem falhas	0,0000
3	0,0264	0,0236	0,0273	0,0312	0,0029	0,1540	0,0020
4	0,0176	0,0199	0,0235	0,0217	0,0092	0,0139	0,0213
5	0,0255	0,0299	0,0256	0,0203	0,0010	0,0770	0,0039
6	0,0212	0,0294	0,0246	0,0247	0,0021	0,0770	0,0039
7	0,0422	0,0325	0,0283	0,0326	0,1493	0,0190	0,0443
8	0,0308	0,0331	0,0321	0,0420	0,0022	0,0219	0,0136
9	0,0141	0,0184	0,0160	0,0159	0,0000	sem falhas	0,0000
10	0,0261	0,0222	0,0261	0,0261	0,0005	0,0513	0,0059
11	0,0306	0,0324	0,0337	0,0317	0,0874	0,0127	0,0232
12	0,0193	0,0196	0,0247	0,0280	0,0000	sem falhas	0,0000
13	0,0172	0,0252	0,0256	0,0185	0,0000	sem falhas	0,0000
14	0,0181	0,0216	0,0172	0,0187	0,0000	sem falhas	0,0000
15	0,0272	0,0263	0,0234	0,0196	0,0015	0,1540	0,0020
16	0,0135	0,0209	0,0186	0,0121	0,0000	sem falhas	0,0000
17	0,0396	0,0268	0,0321	0,0272	0,0437	0,0056	0,0521
18	0,0193	0,0256	0,0254	0,0074	0,0000	0,0385	0,0077
19	0,0249	0,0256	0,0254	0,0224	0,0000	sem falhas	0,0000
20	0,0238	0,0283	0,0275	0,0261	0,0008	0,0769	0,0039
21	0,0261	0,0203	0,0213	0,0242	0,0000	sem falhas	0,0000
22	0,0249	0,0121	0,0117	0,0121	0,0000	sem falhas	0,0000
23	0,0170	0,0209	0,0192	0,0159	0,0000	sem falhas	0,0000
24	0,0291	0,0250	0,0304	0,0283	0,0000	sem falhas	0,0000
25	0,0204	0,0297	0,0351	0,0215	0,0000	0,0770	0,0039
26	0,0227	0,0277	0,0303	0,0242	0,0029	0,0770	0,0039
27	0,0272	0,0270	0,0247	0,0224	0,0000	sem falhas	0,0000
28	0,0317	0,0270	0,0254	0,0289	0,0009	0,0153	0,0193
29	0,0486	0,0378	0,0351	0,0345	0,0791	0,0040	0,0734
30	0,0215	0,0250	0,0295	0,0307	0,0000	sem falhas	0,0000
31	0,0238	0,0256	0,0227	0,0345	0,0002	0,0770	0,0039
32	0,0158	0,0182	0,0240	0,0280	0,0000	sem falhas	0,0000
33	0,0238	0,0250	0,0247	0,0383	0,0000	sem falhas	0,0000
34	0,0215	0,0236	0,0220	0,0196	0,0000	sem falhas	0,0000

35	0,0215	0,0236	0,0220	0,0196	0,0000	sem falhas	0,0000
36	0,0215	0,0236	0,0240	0,0214	0,0000	sem falhas	0,0000
37	0,0215	0,0236	0,0240	0,0214	0,0000	sem falhas	0,0000
38	0,0541	0,0323	0,0337	0,0457	0,2663	0,0010	0,2588
39	0,0436	0,0362	0,0337	0,0446	0,3486	0,0006	0,4462
Pesos	0,25	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10

Fonte: Elaboração do autor a partir de dados da pesquisa (2008).

Após a normalização dos critérios e pesos são calculados os índices de concordância com a equação 2:

$$c_{i,k} = \frac{\sum_{j \in c(x_i, x_k)} w_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (2)$$

Onde $w_j > 0$ representa o peso normalizado do critério j (dividindo pela soma total dos pesos), de maneira que $\sum_{j=1}^n w_j = 1$

Para a avaliação é necessário estabelecer que os critérios segurança, produção qualidade, segurança alimentar, custos de manutenção e número de falhas devem ser maximizados (quanto maior mais crítico). Por sua vez o critério frequência de falhas (TMEF) deve ser minimizado (quanto menor mais crítico).

Para exemplificar o cálculo dos índices de concordância, realizam-se os cálculos para os pares de alternativas de 10 equipamentos – equipamentos 7, 8, 9, 11, 12, 19, 25, 35, 38 e 39 respectivamente – escolhidos aleatoriamente dentre os 39 que compõe o processo e obtém-se então a matriz C, que agrupa os índices de concordância. A tabela 3 apresenta a matriz C.

TABELA 3: Matriz C – Índices de concordância em relação às alternativas.

	0,55	1,00	0,75	1,00	1,00	0,85	1,00	0,15	0,00
0,45		1,00	0,65	1,00	1,00	0,85	1,00	0,15	0,00
0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,35	0,45	1,00		1,00	1,00	0,85	1,00	0,15	0,15
0,00	1,00	0,00	0,00		0,45	0,25	0,60	0,00	0,00
0,00	0,00	1,00	0,00	0,85		0,45	1,00	0,00	0,00
0,15	0,15	1,00	0,15	0,85	0,60		0,75	0,15	0,15
0,00	0,00	1,00	0,00	0,70	0,30	0,35		0,00	0,00
0,85	0,85	1,00	0,75	1,00	1,00	0,85	0,00		0,55
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	0,00	0,65	

Fonte: Elaboração do autor a partir de dados da pesquisa (2008).

Em seguida são calculados também os índices de discordância, utilizando a equação 3:

$$d_{i,k} = (1/d) \text{máx. } (u_j(x_i) - u_j(x_k)) \quad (3)$$

Onde $d = \text{máx. } \text{máx}_{j \in (x_j, x_k) \in A} (u_j(x_k) - u_j(x_i))$, para $j = 1, \dots, n$.

Efetuada os cálculos para os pares de alternativas selecionadas para exemplo, obtém-se a matriz D expressa na tabela 4, que apresenta os índices de discordância para as alternativas.

TABELA 4: Matriz D – Índices de discordância em relação às alternativas.

	0,0094	0,0000	0,0054	0,0000	0,0000	0,0068	0,0000	0,2146	0,4021
0,1472		0,0000	0,0085	0,0000	0,0000	0,0030	0,0000	0,2657	0,4329
1,0000	0,0000		0,9878	0,0121	0,0108	0,9236	0,0074	0,9996	1,0000
0,0619	0,0103	0,0000		0,0000	0,0000	0,0014	0,0000	0,2357	0,4233
0,9816	0,9787	0,0000	0,9879		0,0007	0,9236	0,0040	0,9996	1,0000
0,9816	0,9787	0,0000	0,9873	0,0056		0,9236	0,0000	0,9996	1,0000
0,1494	0,0551	0,0000	0,0875	0,0065	0,9236		0,0011	0,2665	0,3488
0,9816	0,9787	0,0000	0,9879	0,0084	0,0034	0,9236		0,9990	1,0000
0,0004	0,0008	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0014	0,0000		0,1875
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014	0,0000	0,0110	

Fonte: Elaboração do autor a partir de dados da pesquisa (2008).

Uma vez obtida as matrizes de concordância e discordância a equipe de decisão estabelece os limiares de concordância e discordância de acordo com as preferências que melhor atendam a necessidade da empresa. Para este estudo os valores definidos foram os seguintes:

Concordância (c)	Discordância (d)	Nível de Criticidade
0,80	0,20	Equipamentos com criticidade alta

QUADRO 25: Limiares de concordância e discordância estabelecidos.

Fonte: O autor (2008).

A melhor ou melhores alternativas (equipamentos de maior criticidade) são as que atendem que $c_{i,k} > c$ e $d_{i,k} < d$. Realizando as comparações para cada par de alternativas obtém-se a matriz de superação, em que 1 significa $x_i S x_k$ e 0, não $x_i S x_k$.

TABELA 5: Matriz S – Relação de superação entre as alternativas.

	0	1	0	1	1	1	1	0	0
0		1	0	1	1	0	1	0	0
0	0		0	0	0	0	0	0	0
0	0	1		1	1	0	1	0	0
0	0	0	0		0	0	0	0	0
0	0	1	0	1		0	1	0	0
0	0	1	0	1	0		0	0	0
0	0	1	0	0	0	0		0	0
1	1	1	0	1	1	1	0		0
1	1	1	1	1	1	1	0	0	

Fonte: Elaboração do autor a partir de dados da pesquisa (2008).

Tendo como referência a matriz de superação, por meio do auxílio da Teoria dos Grafos é realizada a análise das relações de superação entre as alternativas, conforme representado na figura 13.

De acordo com Gomes et al (2004, p.105) um grafo representa uma relação de superação, de forma que os vértices são as alternativas e os arcos a relação de superação, ou seja, (x_i, x_k) será um arco da rede somente se $x_i S x_k$. Procura-se identificar um subconjunto N, onde toda a alternativa que não pertence ao subconjunto N é superada ao menos por uma alternativa de N, e todas as alternativas de N não são comparáveis entre si. Na Teoria dos Grafos um conjunto com estas características é denominado núcleo de um grafo, e indicam no modelo proposto de determinação de criticidade os equipamentos com criticidade alta.

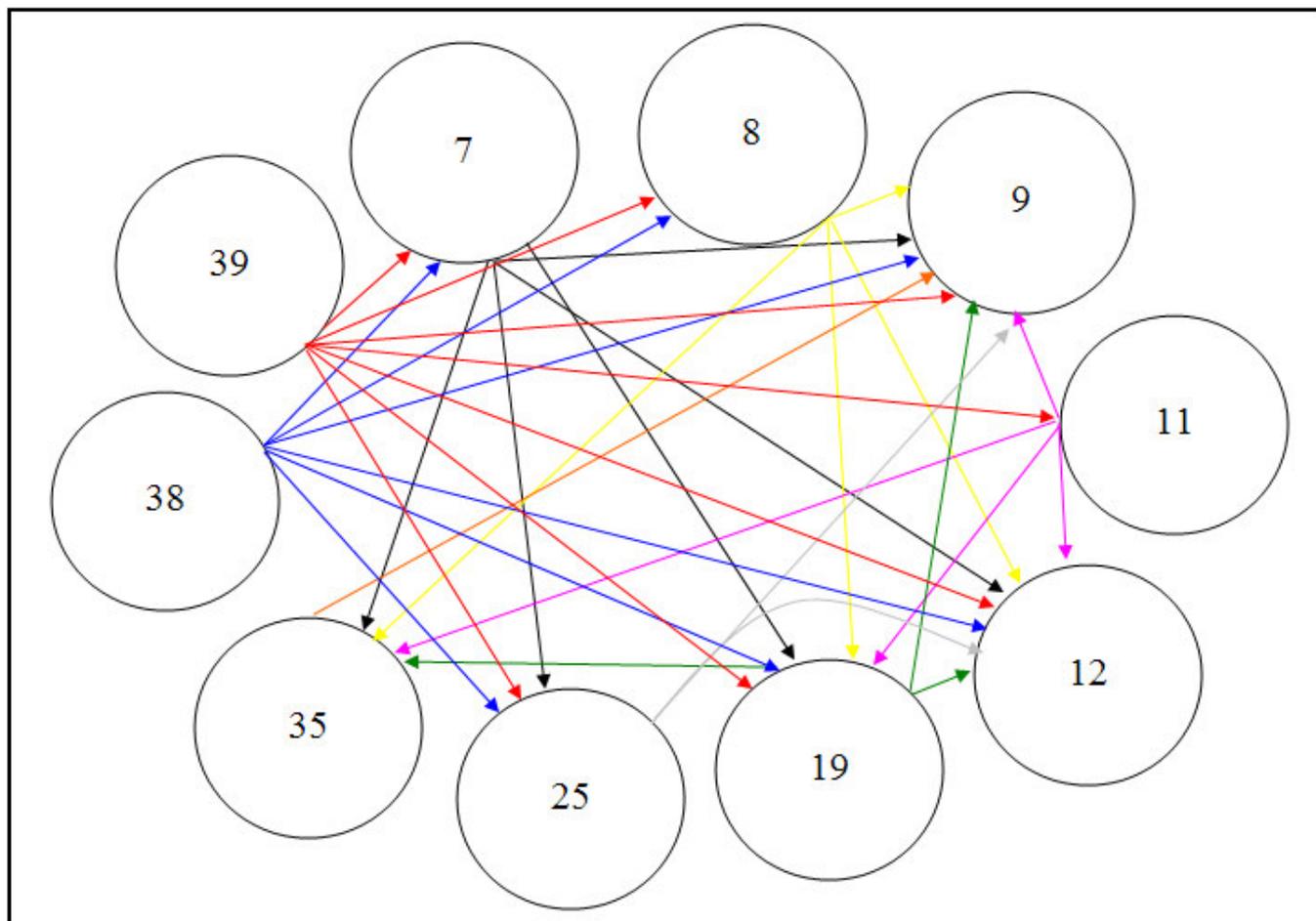


FIGURA 13: Grafo das relações de superação entre as alternativas.

Fonte: Elaboração do autor a partir de dados da pesquisa (2008).

Partindo dos limiares estabelecidos, utilizando-se o método de apoio multicritério a decisão ELECTRE I, consegue-se a seleção dos equipamentos de alta criticidade que para o cenário estudado são os equipamentos 38 e 39, sistema C.I.P. e máquina termoformadora respectivamente.

O método ELECTRE I procura resolver problemas de seleção, sendo assim não é possível afirmar que os equipamentos são ordenados segundo sua criticidade (do mais para o menos crítico), como 38 e 39 ou vice-versa. Sendo assim, no tópico seguinte a determinação de criticidade é realizada utilizando-se o método PROMETHEE II que permite realizar a ordenação das alternativas.

5.2.6.2 Aplicação do método PROMETHEE II

O método PROMETHEE faz parte de uma das famílias dos métodos da escola francesa de Apoio à Decisão Multicritério, sendo propostos pela primeira vez em 1982 e desde então passaram por várias adaptações (BRANS *et al*, 1986), sendo aplicados com sucesso em problemas das mais diferentes naturezas.

As seguintes adaptações e implementações são apresentadas na literatura (GOMES *et al*, 2004; MORAIS e ALMEIDA, 2006):

- PROMETHHE I – estabelece uma pré-ordem parcial entre as alternativas, sendo utilizado para problemáticas de escolha.
- PROMETHEE II – estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas, sendo utilizado para problemática de ordenação.
- PROMETHEE III – ampliação da noção de indiferença, com tratamento probabilístico dos fluxos.
- PROMETHEE IV – estabelece uma pré-ordem completa ou parcial, utilizando para a problemática de escolha e ordenação destinadas às situações em que o conjunto de soluções é contínuo.
- PROMETHEE V – nesta implementação, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas, com o PROMETHEE II, são introduzidas restrições, identificar no problema, para as alternativas selecionadas; incorpora-se uma filosofia de otimização inteira.
- PROMETHEE VI – estabelece uma pré-ordem completa ou parcial, utilizada para problemática de escolha e ordenação. Destinado às situações em que o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério.
- PROMETHEE – GAIA – extensão dos resultados do PROMETHEE, através de um procedimento visual e interativo.

Dentre os métodos citados, é adotado o método PROMETHEE II, para trabalhar o problema de determinação de equipamentos críticos no processo, para estabelecer-se uma ordenação entre as alternativas.

De acordo com Almeida e Costa (2003), o método PROMETHEE II caracteriza-se por duas etapas distintas: na primeira, realiza-se a construção de relações de sobreclassificação, PPGEP – Gestão Industrial (2008)

agregando-se informações entre as alternativas e critérios do problema; na segunda, procede-se a uma exploração destas relações para o apoio à decisão.

Segundo Brans *et al* (1984), uma relação de sobreclassificação pode ser compreendida como uma relação binária entre duas alternativas de ação a e b , representada por aSb , que é validada quando existe a superação de a sobre b , ou seja, quando “a alternativa a é ao menos tão boa quanto a alternativa b ”. Para construção das relações, o método PROMETHEE II realiza uma comparação par a par entre as n alternativas de um conjunto discreto $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$, a luz de k critérios pertencente a um conjunto $G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_k\}$ de critérios de decisão, cada qual com seu respectivo peso w de acordo com sua importância.

O método PROMETHEE II será utilizado na avaliação de criticidade para ordenar equipamentos de alta criticidade, estabelecendo então qual é mais crítico que o outro. Foram escolhidos aleatoriamente os equipamentos 3, 10, 20 e 31 para exemplificar a aplicação do método. A tabela 6 apresenta a avaliação, já normalizada, destes equipamentos em relação aos critérios.

TABELA 6: Avaliação dos equipamentos em relação aos critérios para os grupos de criticidade A e B.

Alternativa / Equipamento	Critérios de Avaliação						
	Segurança	Produção	Qualidade	Seg. Alimentar	Custos de Manut. (R\$/mês)	Freq. de Falhas (TMEF)	Nº intervenções / mês
3	0,0264	0,0236	0,0273	0,0312	0,0029	0,1540	0,0020
10	0,0261	0,0222	0,0261	0,0261	0,0005	0,0513	0,0059
20	0,0238	0,0283	0,0275	0,0261	0,0008	0,0769	0,0039
31	0,0238	0,0256	0,0227	0,0345	0,0002	0,0770	0,0039
Pesos	0,25	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10

Fonte: Elaboração do autor a partir de dados da pesquisa (2008).

Com os critérios, ações e pesos definidos utiliza-se o *software Decision Lab* para tratamento das informações. O *Decision Lab 2000* é um software de análise multicritério e suporte a decisão baseado no método PROMETHEE, desenvolvido pela empresa *Visual Decision* (GELDERMANN e ZHANG, 2001). As alternativas, critérios e respectivos pesos são inseridos no *Decision Lab* conforme apresentado na figura 14.

	Segurança	Produção	Qualidade	Seg. Alimentar	Custos de Manut.	Freq. de Falhas	N. Intervenções
Equip. 3	0.0264	0.0236	0.0273	0.0312	0.0029	0.1540	0.0020
Equip. 10	0.0261	0.0222	0.0261	0.0261	0.0005	0.0513	0.0059
Equip. 20	0.0238	0.0283	0.0275	0.0261	0.0008	0.0769	0.0039
Equip. 31	0.0238	0.0256	0.0227	0.0345	0.0002	0.0770	0.0039

FIGURA 14: Matriz de avaliação.

Fonte: Elaboração do autor com o software Decision Lab 2000 a partir de dados da pesquisa (2008).

Através da fundamentação do método PROMETHEE II, o *Decision Lab* executa o cálculo dos desempenhos globais de cada alternativa, agregando as informações dos parâmetros e dos pesos no cálculo. Considera-se para o cálculo a função de preferência do tipo critério usual, na qual há uma diferença entre a e b se e somente se $g(a) = g(b)$, onde qualquer diferença entre a avaliação das alternativas implica em preferência estrita. Assim como na avaliação com o ELECTRE I, para a avaliação com o PROMETHEE II é estabelecido que os critérios segurança, produção qualidade, segurança alimentar, custos de manutenção e número de falhas sejam maximizados (quanto maior melhor) e o critério frequência de falhas seja minimizado (quanto menor melhor). A figura 15 apresenta o quadro com as preferências calculadas para cada equipamento e na figuras 16 a comparação entre os equipamentos demonstrando a relação de superação para cada critério.



	$\Phi+$	$\Phi-$	Φ
Equip. 3	0.6000	0.4000	0.2000
Equip. 10	0.4500	0.5000	-0.0500
Equip. 20	0.4667	0.3667	0.1000
Equip. 31	0.3167	0.5667	-0.2500

FIGURA 15: Preferências calculadas para cada equipamento.

Fonte: Elaboração do autor com o software Decision Lab 2000 a partir de dados da pesquisa (2008).

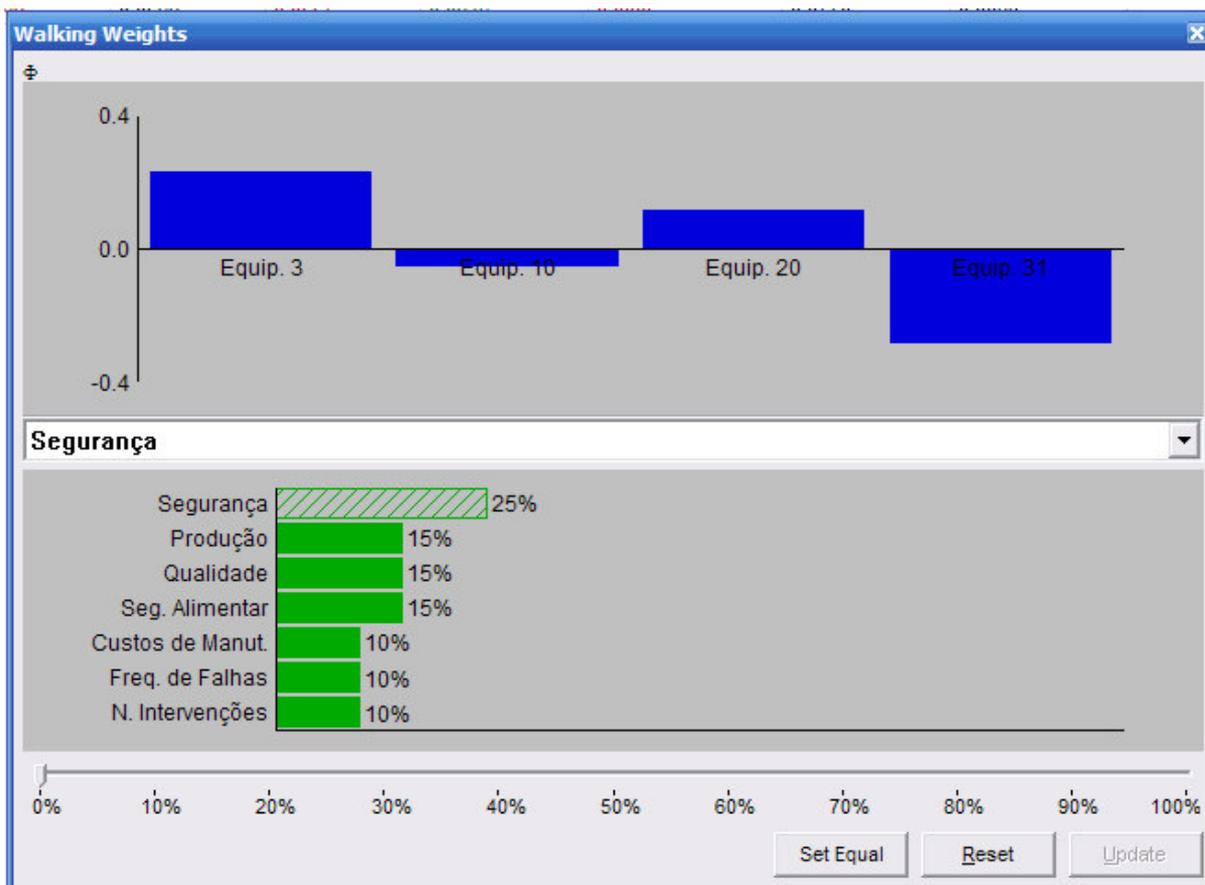


FIGURA 16: Comparação global entre os equipamentos.

Fonte: Elaboração do autor com o software Decision Lab 2000 a partir de dados da pesquisa (2008).

Por fim, obtém-se a ordenação de criticidade dos equipamentos avaliados, do mais para o menos crítico – 3 (silo de leite cru 16), 20 (termização – trocador de calor), 10 (tanque de estocagem leite pasteurizado) e 31 (tanque de preparo de creme doce) – conforme é apresentado na figura 17.

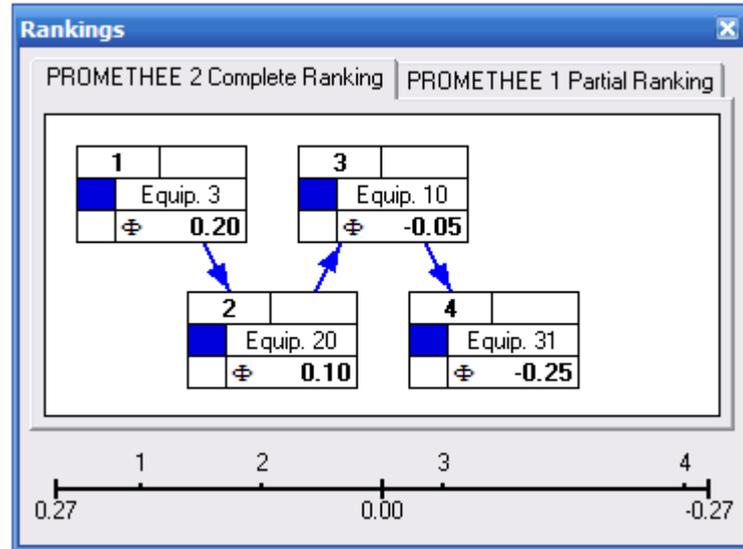


FIGURA 17: Ordenação de criticidade dos equipamentos calculada pelo método PROMETHEE II.

Fonte: Elaboração do autor com o software Decision Lab 2000 a partir de dados da pesquisa (2008).

5.2.7 Etapa 7 – Análise de sensibilidade

Para verificar a robustez do sistema de decisão foi realizada a análise de sensibilidade, variando-se em 20% para mais e para menos os pesos dos critérios, e repetido os cálculos tanto para a avaliação de criticidade com o método ELECTRE I, quanto com o método PROMETHEE II.

Através desta análise verifica-se a resistência dos valores das alternativas, onde as variações das preferências dos tomadores de decisão não geram alterações significativas nas soluções apresentadas. Isto demonstra que o sistema é robusto e as decisões obtidas altamente confiáveis, não havendo necessidades de ajustes na sistemática de decisão.

5.2.8 Etapa 8 – Implementação

Para organização dos resultados obtidos, cada etapa da sistemática de determinação de criticidade, contendo os cálculos, gráficos, tabelas e informações relevantes compõe um relatório final.

Entretanto, todo o trabalho realizado nas etapas anteriores perdem seu valor se os resultados obtidos não servirem para a implementação de ações concretas. A identificação dos equipamentos de alta criticidade, possibilitam ao gestor elaboração de planos de manutenção

eficientes e de melhor custo benefício, garantindo assim a melhor aplicação dos recursos de manutenção disponíveis, e em consequência a confiabilidade, a disponibilidade e a produtividade do processo em questão.

5.3 Considerações sobre a sistemática proposta

Ao longo da aplicação da sistemática proposta surgiram algumas dificuldades que exigiram tratamento e intervenção adequadas durante o processo decisório. Estas são relatadas neste tópico.

Na etapa 1 – identificação dos tomadores de decisão – foram inicialmente selecionados dez tomadores de decisão para participar da aplicação da sistemática. Entretanto, por não se tratar de uma atividade oficial da empresa algumas das pessoas selecionadas não interessaram-se em participar do ensaio, ficando a equipe reduzida apenas a quatro tomadores de decisão. Considerando este número de participantes muito pequeno e pouco significativo para abordar o problema de decisão sobre os diferentes aspectos necessários – produção, manutenção e qualidade – selecionaram-se mais quinze participantes, dentre os quais nove mostraram-se dispostos a participar, fechando a equipe de decisão em treze tomadores de decisão.

A etapa 2 – definição das alternativas possíveis – foi bastante facilitada pela empresa ter todo o processo de fabricação que foi estudado totalmente mapeado e detalhado. Desta forma a definição dos equipamentos que seriam avaliados ocorreu de forma bastante rápida.

Para a etapa 3 – definição dos critérios relevantes para o problema de decisão – em primeiro lugar foram definidos os critérios de segurança (humana, meio-ambiente e instalações). Em geral, toda empresa leva em consideração critérios de segurança em qualquer trabalho de priorização. Em seguida foram determinados os critérios de produção, qualidade, e os aspectos relacionados à manutenção que foram os de custos de manutenção, frequência de ocorrência de falhas e número de intervenções corretivas/preventivas. Por fim, tratando-se de um processo de produção de alimentos foi definido o critério de segurança alimentar. Os critérios estabelecidos foram bem aceitos pela equipe de decisão, não existindo nenhum tipo de objeção.

Sendo a etapa 4 – avaliação das alternativas em relação aos critérios – dividida em avaliação qualitativa e quantitativa existiram dificuldades distintas. A avaliação dos critérios

quantitativos ocorreu por meio das informações retiradas do banco de dados da manutenção. Como estas informações eram altamente confiáveis, a avaliação em relação aos critérios também se tornou confiável. Um banco de dados com informações imprecisas levaria a uma avaliação distorcida.

Para os critérios qualitativos, a maior dificuldade foi reunir os treze tomadores de decisão para realizar a avaliação. Como isso não foi possível em função da disponibilidade de tempo, houve uma explicação prévia com cada um dos decisores e então enviado os questionários via e-mail. Em média o retorno dos questionários respondidos ocorreu em três dias. O fato dos questionários terem sido respondidos via e-mail, sem a presença do facilitador do processo de decisão, pode ter deixado dúvidas aos respondentes interferindo na avaliação. Em uma nova aplicação da sistemática o ideal é que o grupo de decisão seja reunido para responder e debater sobre a avaliação.

Na etapa 5 – determinação da importância relativa de cada critério – os pesos dos critérios foram estabelecidos apenas pelo facilitador do processo, sem o envolvimento dos atores de decisão evitando com isso a geração de conflitos entre a equipe decisora.

A etapa 6 – avaliação global de cada alternativa – pode ser considerada como a mais complexa de toda a sistemática, uma vez que os métodos multicritério de apoio a decisão exigem um conhecimento profundo para a sua aplicação. Na utilização do método ELECTRE I, todos os cálculos foram realizados manualmente e a fim de garantir a assertividade dos resultados foram repetidos mais uma vez, tornando a aplicação do método excessivamente trabalhosa.

Já na segunda aplicação, o método PROMETHEE II foi aplicado com o auxílio do software *Decision Lab* 2000, o que tornou a obtenção e a avaliação dos resultados muito simples. É importante ressaltar que independente dos métodos utilizados nesta etapa da sistemática, é necessário observar sua finalidade de aplicação – seleção, classificação, ordenação, descrição – sendo fundamental que o facilitador do processo possua conhecimentos suficientes do método a ser utilizado.

A etapa 7 – análise de sensibilidade – como a etapa anterior é bastante trabalhosa, uma vez que todos os cálculos são repetidos variando-se em 20% para mais e para menos os pesos dos critérios.

Finalmente, na etapa 8 – implementação – todos os resultados obtidos em cada etapa da sistemática de determinação de criticidade foram agrupados em um relatório final, cujo resultados servem de subsídios para os gestores de manutenção implementarem ações concretas que garantam a confiabilidade, disponibilidade e produtividade dos equipamentos de alta criticidade.

De maneira geral, a aplicação de cada etapa da sistemática proposta ocorreu da forma esperada. Percebeu-se o grande interesse e participação da equipe de decisão em cada etapa do processo, o que garantiu a identificação assertiva dos equipamentos de alta criticidade, atingindo então o objetivo do ensaio realizado.

6 CONCLUSÕES

6.1 Conclusões sobre o estudo realizado

Visto a complexidade do gerenciamento de manutenção das organizações, a determinação da criticidade dos equipamentos nos processos serve de base para garantir a melhor alocação dos recursos disponíveis.

Neste sentido, a pesquisa realizada propôs uma sistemática para determinação da criticidade de equipamentos em processos industriais que contribua no apoio à decisão dos Gestores da Manutenção considerando as necessidades e particularidades das empresas.

Conclui-se que a pergunta de pesquisa desse estudo, que foi “como classificar a criticidade dos equipamentos industriais considerando as necessidades e diferentes aspectos relevantes para as empresas, garantindo a melhor aplicação dos recursos disponíveis na manutenção?” foi respondida, por meio do desenvolvimento e aplicação da sistemática de determinação de criticidade baseada na abordagem multicritério, atingindo assim o objetivo do trabalho.

O principal diferencial desta sistemática de decisão está na utilização de métodos multicritério de apoio a decisão, os quais permitem a avaliação conjunta do grupo de equipamentos selecionados, realizando a comparação de cada par de equipamento para cada critério. Com isto é evidenciado de forma consistente, imparcial e confiável em qual critério cada equipamento é mais crítico no processo.

Apesar da sistemática ter sido ensaiada em uma indústria de alimentos, é aplicável, com as devidas adaptações, nos vários tipos de processos industriais. Entretanto, alguns pontos devem ser observados e são fundamentais para possibilitar sua utilização:

- Definição do processo: é preciso mapear e identificar os equipamentos que fazem parte do processo e/ou que se pretende incluir na avaliação de criticidade. O tagging dos equipamentos auxilia muito nesta etapa;
- Analista: o profissional que irá conduzir o processo de decisão precisa ter um conhecimento profundo em relação à sistemática, em especial em relação aos métodos multicritério de decisão;

- Grupo decisor: não é necessário que todos os envolvidos no processo de decisão sejam profundos conhecedores da sistemática de decisão. Entretanto, quanto maior o conhecimento maior será a facilidade do analista em conduzir o processo do início ao fim, alcançando os resultados esperados;
- Critérios de avaliação: os critérios utilizados na sistemática de decisão não são fixos e podem ser substituídos ou adaptados. Entretanto, os novos critérios escolhidos para serem utilizados devem ser relevantes e refletir os valores e objetivos da empresa. Entre os critérios utilizados é fundamental que existam, tanto critérios quantitativos quanto qualitativos;
- Conhecimento sobre o processo: para etapa qualitativa de avaliação dos equipamentos o conhecimento do grupo decisor sobre o processo garante uma avaliação confiável e consistente. Decisores despreparados e com pouco conhecimento podem distorcer os resultados;
- Banco de dados: para a etapa quantitativa de avaliação um banco de dados confiável e que permita o controle dos equipamentos é necessário. Desta forma, é possível compilar os dados de cada equipamento em períodos determinados e obter as informações necessárias para decisão;
- Avaliação global das alternativas: nesta etapa da sistemática, os métodos multicritérios de apoio à decisão são utilizados. Na sistemática apresentada, foram propostos a utilização do método ELECTRE I para a seleção e o método PROMETHHE II para ordenação da criticidade dos equipamentos. Entretanto, esta sistemática de decisão é flexível e permite a utilização de outros métodos multicritério, que podem ser escolhidos pela maior familiaridade do analista de decisão.

Enfim, a determinação de criticidade deve ser vista como parte do sistema de gerenciamento da manutenção da empresa, sendo realizada de maneira metodológica e não tratada apenas empiricamente. Somente quando for praticada como parte de um sistema, a determinação da criticidade trará resultados. O desafio não se restringe apenas em como determinar a criticidade, mas principalmente em viabilizar ações que garantam a melhor aplicação de recursos, como por exemplo, o estabelecimento de políticas de manutenção diferenciadas para cada grupo de equipamentos.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Espera-se que este trabalho cause um impacto positivo, sirva de subsídio para melhorias ou mesmo para a condução de novos estudos, uma vez que a sistemática de determinação de criticidade baseada na metodologia multicritério de apoio à decisão apresenta oportunidades para aprimoramentos. Têm-se então as seguintes sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Ajustar e aplicar a sistemática em outros processos industriais;
- Realizar um estudo comparativo entre esta sistemática e os outros métodos usualmente utilizados para determinação da criticidade;
- Aplicar outros métodos multicritérios de apoio à decisão na etapa de avaliação global das alternativas;
- Desenvolver um sistema informatizado para determinar a criticidade de equipamentos fundamentado na sistemática apresentada.

6.3 Considerações finais

O estudo desenvolvido está ligado à determinação da criticidade de equipamentos em processos industriais, envolvendo múltiplos critérios e um grupo de decisão. Verificou-se que a sistemática desenvolvida é um evento fundamental para auxiliar o Gestor da Manutenção nas decisões do seu dia-a-dia e aplicação dos recursos disponíveis.

Apesar de sua implementação ser composta por várias etapas, é adequada para os diversos tipos de processos, sejam eles simples ou complexos, com poucos ou muitos equipamentos, independente do segmento de atuação. A utilização desta sistemática pode contribuir significativamente para o sucesso da manutenção. Sua utilização de forma estruturada, atendendo cada etapa da sistemática, pode trazer à organização excelentes resultados.

REFERÊNCIAS

- ACKOFF, R. L.; SASIENI, M. W. **Pesquisa operacional**. Trad. De José L. Moura; rev. De Antônio de Miranda Netto. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975.
- ABRAMAN. Associação Brasileira de Manutenção. **Documento Nacional da Manutenção**. 2005.
- ALMEIDA, A. T. de; BOHORIS, G. A. **Decision theory in maintenance decision making**. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Vol. 1, número 1, p.39-45, 1995.
- ALMEIDA, Adiel T. de; COSTA, Ana Paula C. S. **Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003.
- ASSIS, Rui. **Análise multicritério do desempenho de equipamentos**. In: 4º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica. Lisboa - Portugal, 2005.
- BATÁVIA S.A. INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. Engenharia Corporativa. **MGM – Manual de Gestão da Manutenção**, 2008.
- 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 – PPGEP, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Ponta Grossa, 2007.
- BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis. **IFOR**, p.477-490, 1984.
- BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method for MCDM. **Management Science**, v. 31, n 6, p.647-656, 1986.
- BRITO, A. J. de M.; CAVALCANTE, C. A. V; FITTIPALDI E. H. D. Priorização de gasodutos em hierarquia de riscos: Uma abordagem multicritério. In: 26º ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP). **Anais...** Fortaleza, 2006.
- CAPUANO, M.; KORITKO, S. Risk-oriented maintenance. **Biomed. Instr. Technol.** v. 30, n 1, p.25-37, 1996.
- CASTELLA, Marco César. **Análise crítica da área de manutenção em uma empresa brasileira de geração de energia elétrica**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2001.

CASTRO, Fábio Almeida de; MENNA, Alexandre Ribeiro; ZANDONA, Valtemir. **Manutenção centrada na confiabilidade em plantas de processos petroquímicos**. 2008. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br>>. Acesso em: 20 de junho, 2008.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à teoria geral da administração**. 5ª ed, Rio de Janeiro: Campus, 1999.

FLEMING, P. V., OLIVEIRA; L. F. S. de, FRANÇA, S. R. Aplicações de manutenção centrada na confiabilidade (MCC) em instalações da Petrobrás. *In V ENCONTOR TÉCNICO SOBRE ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE E ANÁLISE DE RISCO. Anais...* Rio de Janeiro, 1997.

FURMANN, José Carlos. **Desenvolvimento de um modelo para melhoria do processo de manutenção mediante a análise de desempenho de equipamentos**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 3ª ed., São Paulo: Atlas, 1996.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos**. São Paulo: Ed. Pioneira, 2004.

GOMES, L. F. M. A.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão Gerencial: Enfoque Multicritério**. Rio de Janeiro: Atlas, 2002.

GRIMALDI, Roberto; MANCUSO, Humberto. **Ferramentas ajudam a enxergar o processo**. São Paulo: Folha de São Paulo, 1994.

HARRISON, E. Frank; PELLETIER, Monique A. The essence of management decision. **Management Decision**. p.462-469, 2000.

HIJES, Félix C. Gómez de León; CARTAGENA, José Javier Ruiz. Maintenance strategy based on a multi criteria classification of equipments. **Reliability Engineering and System Safety**. p.444-451, 2006.

KARDEC, Alan; LAFRAIA, João Ricardo. **Gestão Estratégica e Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

KARDEC, Alan; ZEN, Milton. **Gestão Estratégica e Fator Humano**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

KHANLARI, Amir; MOHAMMADI, Kaveh; BABAK, Sohrabi. Priorizing equipments for preventive maintenance (PM) activities using fuzzy rules. **Computers & Industrial Engineering**. p.1-16, 2007.

KMITA, Silvério F. Manutenção Produtiva Total (TPM): uma ferramenta para o aumento do índice de eficiência global da empresa. In 23º ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP). **Anais...** Ouro Preto, 2003.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia Científica**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1990.

LAUGENI, Fernando P.; MARTINS, Petrônio G. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2002.

LUCATELLI, Marcos Vinícius, OJEDA, Renato Garcia. Proposta de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em estabelecimentos assistenciais de saúde. In: 2º CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA. **Anais...** Havana, Cuba, 2001.

MARÇAL, Rui F. M. **Um método para detectar falhas incipientes em máquinas rotativas baseado em análise de vibração e lógica Fuzzy**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de materiais - PPGEM – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre 2000.

MARÇAL, Rui F. M.; SUSIN; Altamiro A. Predizendo Falhas em Sistemas Rotativos usando para o diagnóstico lógica *Fuzzy*. **Anais...** 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO – ABRAMAN. **Anais...** Belo Horizonte, 2005.

MARINS, Cristiano S.; COZENDEY, Manaara I. A metodologia de multicritério como ferramenta para tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. In: 25º ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP). **Anais...** Porto Alegre, 2005.

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

MORAIS, Danielle Costa; ALMEIDA, Adiel T. de. Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. **Pesquisa Operacional**. v. 26, n 3, p.567-584, set-dez, 2006.

MOUBRAY, J. **RCM II: manutenção centrada em confiabilidade**. Grã Bretanha: Biddles Ltda, Guilford and King's Lynn, 2000.

NASCIF, Júlio; DORIGO, Luiz Carlos. A importância da gestão da manutenção ou como evitar as “armadilhas” na gestão da manutenção. **Anais... 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO – ABRAMAN**. Belo Horizonte, 2005.

NOWLAN, F. S; HEAP, H. F. Reliability-centered maintenance. **National Technical Information Service. Report AD/A066-579**. USA, 1978.

NUNES, Enon Laércio. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise de implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2001.

PARIS, Wanderson Stael. **Proposta de uma metodologia para identificação de causa raiz e solução de problemas complexos em processos industriais: um estudo de caso**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2003.

POSSAMAI, Roberto José. **A implantação da metodologia TPM num equipamento piloto na Adria Alimentos do Brasil Ltda**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2002.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. London: Kluwer Academic Publishers, 1996.

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 junho, 2008.

SEIXAS, E. **FMEA: Análise de falhas**. Rio de Janeiro: Qualytek, 2005.

SENRA, Sérgio A. M. **Implantação, Organização, Planejamento, Programação e Controle da Manutenção**. São Paulo: IMAM, 1995.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszk. **Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação**. 3ª ed. rev. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SIMÕES FILHO, Salvador. **Análise de árvore de falhas considerando incertezas na definição dos eventos básicos**. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2006.

SRIKRISHNA, S., YADAVA; G. S.; RAO, P. N. Reliability-centered maintenance applied to power plant auxiliaries. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**. United Kingdom, v. 2, n 1, p.3-14, 1996.

SIQUEIRA, Iony P. de. **Manutenção centrada na confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SMITH, A. M. **Reliability-centered maintenance**. Califórnia (USA): McGraw-Hill, 1992.

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

SOUZA, Ricardo Guimarães F. de. **Desenvolvimento do sistema de implantação e gestão da manutenção**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 1999.

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

TETRA PAK. **Dairy processing handbook**. Sweden, 2003.

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

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. Bruxelles: John Wiley & Sons, 1992.

VISUAL DECISION. **Decision Lab 2000**. Disponível em: <<http://www.visualdecision.com>.> Acesso em: 01 de fevereiro, 2008.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso – Planejamento e Métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS									
Avaliador: _____					Data: _____				
Equipamento: _____					Processo: _____				
<p>Orientações sobre o preenchimento: Esta é uma avaliação <u>qualitativa</u>, baseada na experiência e conhecimento de cada decisor sobre o processo. É solicitada uma avaliação criteriosa e imparcial. No caso de dúvidas em relação às perguntas ou a escala avaliativa apresentada procure esclarecer antes de responder. Suas respostas trarão subsídios para auxiliar na determinação da criticidade desse equipamento.</p>									
1) Em relação à SEGURANÇA do ser humano, meio-ambiente ou instalações uma falha no equipamento terá conseqüências:									
Insignificantes		Pequenas		Consideráveis		Altas		Muito altas	
0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
2) Em relação à PRODUÇÃO uma falha no equipamento levará à ocorrência de perdas:									
Insignificantes		Pequenas		Consideráveis		Altas		Muito altas	
0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
3) Em relação à QUALIDADE uma falha no equipamento levará à ocorrência de perdas :									
Insignificantes		Pequenas		Consideráveis		Altas		Muito altas	
0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
4) Em relação à SEGURANÇA ALIMENTAR uma falha no equipamento poderá trazer riscos de contaminação ao produto com conseqüências:									
Insignificantes		Pequenas		Consideráveis		Altas		Muito altas	
0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Fonte: O autor (2008).

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)