UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA CLASSIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS CRÍTICOS E DETERMINAÇÃO DE TEMPOS DE INSPEÇÕES PARA MANUTENÇÃO

ANTONIO CARLOS DE QUEIROZ SANTOS

RECIFE, 2015

ANTONIO CARLOS DE QUEIROZ SANTOS

ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA CLASSIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS CRÍTICOS E DETERMINAÇÃO DE TEMPOS DE INSPEÇÕES PARA MANUTENÇÃO

Dissertação Apresentada ao
Programa de Engenharia de Produção
Para Obtenção do Grau de Mestre

Orientador: Prof. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante, DSc

RECIFE, 2015

Catalogação na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S237a Santos, Antonio Carlos de Queiroz.

Abordagem multicritério para classificação de equipamentos críticos e determinação de tempos de inspeções para manutenção / Antonio Carlos de Queiroz Santos. - Recife: O Autor, 2015.

114 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2015.

Inclui Referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Políticas de Manutenção. 3. Apoio a Decisão Multicritério. 4. Tempos de Inspeções. 5. *Delay Time. 6.* Disponibilidade dos Equipamentos. 7. Criticidade. I. Cavalcante, Ana Paula Cabral Seixas. (Orientador). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2015-128

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA

DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE

MESTRADO ACADÊMICO DE

ANTONIO CARLOS DE QUEIROZ SANTOS

"ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA CLASSIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS CRÍTICOS E DETERMINAÇÃO DE TEMPOS DE INSPEÇÕES PARA MANUTENÇÃO"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GERÊNCIA DA PRODUÇÃO

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera o candidato ANTONIO CARLOS DE QUEIROZ SANTOS, APROVADO.

Recife, 19 de março de 2015.

_____

Prof. CRISTIANO ALEXANDRE VIRGÍNIO CAVALCANTE, Doutor (UFPE)

_____

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA FILHO, Doutor (UFPE)

_____

Prof. OSCAR OLIMPIO DE ARAÚJO FILHO, Doutor (UFPE)

Dedico este trabalho aos meus pais, por terem me incentivado a buscar através do estudo atingir meus objetivos profissionais, e também a minha noiva por está presente ao meu lado em todos os momentos importantes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me ajudado a trilhar nos caminhos corretos e por está ao meu lado nos momentos mais difíceis de minha vida.

Aos meus pais, Maria Santina e Vicente, por todo carinho prestado e pela educação dada, o que contribuiu a ser a pessoa que sou hoje. Ao meu pai e amigo por sempre ter me incentivado a estudar para alcançar meus objetivos profissionais. A minha mãe que sempre esteve ao meu lado me ajudando a distinguir as coisas certas e erradas da vida o que me ajudou a fazer as melhores escolhas pertinentes ao meu desenvolvimento pessoal.

As minhas irmãs Ermínia Raquel e Rosalice, que sempre estiveram presentes nos momentos de alegrias e nas dificuldades me apoiaram.

A minha noiva Suelyn, por todo amor prestado, dedicação, compreensão, conselhos dados e por está presente sempre ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu amigo Wesley por todos os conselhos dados ao longo dos anos.

Aos meus amigos Ricardo e Lucas que de certa forma deram suas contribuições para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu orientador Cristiano, por ter me apoiado e acreditado em mim para realização deste trabalho.

Ao examinador interno Adiel Filho, por todas as considerações feitas nesta pesquisa.

Ao examinador externo Oscar Olimpio, pelas recomendações realizadas.

Aos meus amigos e amigas de graduação Hélio Cavalcante, Charles Marques, Perseu Padre, Anderson Gomes, Danyely Resende e Vanessa Nóbrega, pelo companheirismo, pelas horas de estudo compartilhados e também por fazerem parte do meu desenvolvimento como pessoa.

Aos meus amigos de laboratório Lizeth, Lucas Frederico, e Túlio por terem compartilhados algumas angústias, estudos e momentos alegres.

A secretaria do PPGEP por todo orientação prestada aos longo do mestrado.

A CAPES pelo incentivo financeiro concedido para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

Ao longo dos anos as organizações estão investindo cada vez mais seus recursos financeiros na manutenção de equipamentos como vantagem competitiva, para maximizar a disponibilidade de seus equipamentos a custos acessíveis para aumentar a eficiência de seus sistemas produtivos. Este estudo trata das políticas de manutenção que devem ser adotadas por uma empresa produtora de produtos alimentícios, para um melhor aproveitamento das práticas de manutenção. No primeiro momento deste trabalho é aplicado um método multicritério, essencialmente o método ELECTRE TRI para fazer uma classificação de criticidade dos equipamentos, de acordo com suas características de operação e identificar a importância dos mesmos ao sistema. Esta classificação possibilitará a empresa a realizar um melhor planejamento das ações de manutenção e direcionar os esforços nos equipamentos considerados mais críticos, evitando desta maneira a aplicação de recursos financeiros em equipamentos desnecessários. Antes da aplicação do segundo método, neste caso, o PROMETHEE II é proposto à adoção de um modelo de inspeção baseado no *Delay Time* para caracterização dos critérios envolvidos, onde a disponibilidade do componente, e o custo das inspeções são modelados nesta pesquisa. No segundo momento desta pesquisa, uma vez determinado o equipamento crítico do sistema será utilizado o método de apoio a decisão multicritério, o PROMETHEE II, para determinar tempos para realização das inspeções em um único componente deste equipamento, apresentando um único modo de falha. Assim pretende-se adotar a política de manutenção correta como uma estratégia de negócio, de acordo com as preferências do decisor.

Palavras-Chave: Políticas de Manutenção. Apoio a Decisão Multicritério. Tempos de Inspeções. *Delay Time*. Disponibilidade dos Equipamentos. Criticidade.

ABSTRACT

Over the years, organizations are increasingly investing their financial resources in equipment maintenance as a competitive advantage, to maximize the availability of their equipment at affordable costs to increase the efficiency of their production systems. This study deals with the maintenance policies that should be adopted by a company producing food, for a better utilization of maintenance practices products. At first this paper is applying a multi-criteria method, essentially the ELECTRE TRI method to make a classification of criticality, of the equipment according to their operating characteristics and identify their importance to the system. This classification will allow the company to do a better planning of maintenance and direct efforts in equipment considered more critical, thus avoiding the application of funds on unnecessary equipment. Before applying the second method, in this case, the PROMETHEE II is proposed the adoption of a model based on the inspection time delay for characterization of the criteria involved, where the availability of the component, and the cost of inspections are modeled in this study. In the second phase of this research, since certain critical equipment of the system is the method used to support multi-criteria decision, the PROMETHEE II, to determine optimal times to perform inspections in a single component of this equipment presenting a single failure mode. So we intend to adopt a policy of proper maintenance as a business strategy, according to the preferences of the decision maker.

Keywords: Maintenance Policies. Multicriteria Decision Support. Times of inspections. Delay Time. Availability of equipment. Criticality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Etapas da elaboração de um problema de Pesquisa Operacional.....21
Figura 2.1 – A evolução da manutenção 27
Figura 2.2 – Síntese da aplicação da metodologia das manutenções 29
Figura 2.3 – Demonstração do conceito *Delay Time*.....35
Figura 2.4 – Procedimento para resolução de um problema de decisão.....41
Figura 2.5 – Posicionamento dos perfis para os critérios.....50
Figura 2.6 – Estrutura de preferência com pseudocritérios sem o índice h 51
Figura 3.1 – Procedimento para aplicação do modelo ELECTRE TRI 63
Figura 3.2 – Hierarquia dos objetivos para utilização do método ELECTRE TRI.....66
Figura 3.3 – Layout da linha de produção de massas alimentícias 69
Figura 3.4 – Etapas de classificação das alternativas 76
Figura 4.1 – Resultado da aplicação do método ELECTRE TRI para $\lambda = 0,5$ 86
Figura 4.2 – Verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil com $\lambda = 0,5$ 87
Figura 4.3 – Alocação pessimista e otimista com $\lambda = 0,5$ 88
Figura 4.4 – Resultado da aplicação do método ELECTRE TRI para $\lambda = 0,6$ 88
Figura 4.5 – Verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil com $\lambda = 0,6$ 89
Figura 4.6 – Alocação pessimista e otimista com $\lambda = 0,6$ 90
Figura 4.7 – Resultado da aplicação do método ELECTRE TRI para $\lambda = 0,7$ 91
Figura 4.8 – Verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil com $\lambda = 0,7$.....92
Figura 4.9 – Alocação pessimista e otimista com $\lambda = 0,7$ 93
Figura 4.10 – Verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil com $\lambda = 0,8$.....94
Figura 4.11 – Verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil com $\lambda = 0,9$.....94
Figura 4.12 – Verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil com $\lambda = 1$.....95

Figura 4.13 – Resultados da aplicação do método ELECTRE TRI para λ = 0,54 96
Figura 4.14 – Desempenho do critério custo para o conjunto de alternativas 100
Figura 4.15 – Desempenho do critério disponibilidade para o conjunto de alternativas 100
Figura 4.16 – Conflito entre os critérios custo e disponibilidade 101
Figura 4.17 – Fluxo líquido das alternativas em relação aos tempos de inspeção 103

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Evolução da manutenção 26
Tabela 2.2 – Tipos de manutenção 28
Tabela 2.3 – Classificação dos Critérios 39
Tabela 2.4 – Atores do processo decisório 42
Tabela 2.5 – Problemáticas 43
Tabela 2.6 – Relações básicas de preferência 44
Tabela 2.7 – Relações consolidadas de preferência 45
Tabela 2.8 – Utilização dos métodos interativos 47
Tabela 2.9 – Características principais dos métodos ELECTRE 49
Tabela 2.10 – Os seis tipos de critérios generalizados para o PROMETHEE 54
Tabela 2.11 – Implementação dos Métodos PROMETHEE 56
Tabela 2.12 – Relações de preferência 57
Tabela 3.1 – Grupo de critérios utilizados no modelo 67
Tabela 3.2 – Escala para julgamento de valor referente ao critério comprometimento da qualidade 70
Tabela 3.3 – Escala para julgamento de valor referente ao critério desperdício de matéria prima 71
Tabela 3.4 – Escala para julgamento de valor referente ao critério ocorrência de falhas 72
Tabela 3.5 – Escala para julgamento de valor referente ao critério dificuldade de detecção do defeito ou falha 72
Tabela 3.6 – Escala para julgamento de valor referente ao critério *Delay Time* 73
Tabela 3.7 – Matriz de desempenho das alternativas com os critérios 74
Tabela 3.8 – Estabelecimento dos pesos dos critérios 75
Tabela 3.9 – Estabelecimento das categorias 77
Tabela 3.10 – Categorias e seus limites 78
Tabela 3.11 – Descrição dos critérios custo e disponibilidade 82
Tabela 4.1 – Parâmetros associados às distribuições 98
Tabela 4.2 – Tempos e custos referentes as intervenções de manutenção 98

Tabela 4.3 – Alternativas de tempo 99
Tabela 4.4 – Alternativas de tempo com seus respectivos critérios 99
Tabela 4.5 – Alternativas de tempo com seus respectivos critérios após a verificação da relação de dominância.....102
Tabela 4.6 – Parâmetros dos critérios custo e disponibilidade.....102
Tabela 4.7 – Fluxos líquidos para cada alternativa de tempo.....103
Tabela 4.8 – Alternativas ordenadas.....104

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 31
Equação 2.2 32
Equação 2.3 33
Equação 2.4 36
Equação 2.5 36
Equação 2.6 37
Equação 2.7 38
Equação 2.8 38
Equação 2.9 38
Equação 2.10 38
Equação 2.11 38
Equação 2.12 38
Equação 2.13 39
Equação 2.14 44
Equação 2.15 44
Equação 2.16 52
Equação 2.17 52
Equação 2.18 52
Equação 2.19 52
Equação 2.20 54
Equação 2.21 55
Equação 2.22 56
Equação 2.23 56
Equação 2.24 57
Equação 2.25 58
Equação 2.26 58
Equação 2.27 58
Equação 2.28 59
Equação 2.29 59

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BSPR – Sistema Básico de Relações de Preferência

CBM - *Condition-Based Maintenence* (Manutenção Baseada na Condição)

CDF - Distribuição Acumulada

CSPR – Sistema Consolidado de Relações de Preferências

DTM - *Delay Time Model* (Modelo Delay Time)

ELECTRE –*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*

FMEA – Análise do Modo e Efeitos da Falha

JIPM -*Japan Institute of Plant Maintenance*

MAUT – *Multi-Attribute Utility Theory*

MCDA – Apoio Multicritério á Decisão

NBR – Norma Brasileira

PDF - Distribuição Acumulada

PLMO – Programação Linear Multi-Objetivo

RCM - *Reliability Centered Maintenance* (Manutenção Centrada na Confiabilidade)

TMEF – Tempo Médio entre Falhas

TMPR – Tempo Médio para Reparo

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

PO – Pesquisa Operacional

PROMETHEE –*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....17

1.1 Justificativa..... 18

1.2 Objetivos..... 19

1.2.1 Objetivo Geral.....19

1.2.2 Objetivos Específicos.....20

1.3 Metodologia de Pesquisa..... 20

1.3.1 Classificação da Pesquisa.....20

1.3.2 Modelagem.....21

1.3.3 Procedimentos Técnicos e Simulação.....22

1.3.4 Estruturação da Pesquisa.....23

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 24

2.1 Histórico da Manutenção..... 24

2.2 Tipos de Manutenção..... 28

2.2.1 Manutenção Corretiva.....29

2.2.2 Manutenção Preventiva.....30

2.2.3 Manutenção Preditiva.....30

2.3 CONCEITOS..... 31

2.3.1 Disponibilidade.....31

2.3.2 Confiabilidade.....31

2.3.3 Mantenabilidade.....33

2.3.4 Falha.....33

2.3.4.1 Falha Primária.....33

2.3.4.2 Falha de Comando.....33

2.3.4.3 Falha Secundária.....33

2.3.4.4 Defeito.....34

2.3.5 Inspeção.....34

2.4 Método *Delay Time (DTM)*..... 34

2.4.1 Modelo Delay Time para Manutenção em uma Organização Industrial.....35

2.4.2 Modelo Delay Time para Inspeções em um Único Componente.....36

2.5 Apoio Multicritério à Decisão..... 39

2.5.1 Abordagem Geral 39
2.5.2 Os Atores do Processo Decisório....42
2.5.3 Estrutura do problema de decisão 43
2.5.4 Modelagem das Preferências do Decisor 43
2.5.5 Classificação dos Métodos MCDA 46
2.5.5.1 Família ELECTRE 47
2.5.5.1.1 Método ELECTRE TRI 49
2.5.5.2 Família PROMETHEE....53
2.5.5.2.1 PROMETHEE I....57
2.5.5.2.2 PROMETHEE II....57
2.5.5.2.3 PROMETHEE III....58
2.5.5.2.4 PROMETHEE IV....58
2.5.5.2.5 PROMETHEE V 58
2.5.5.2.6 PROMETHEE VI....59

2.6 Considerações do Capítulo 60

3 MODELOS PROPOSTOS....61

3.1 Descrição do Modelo Electre TRI 61

3.1.1 Caracterização dos Decisores....64
3.1.2 Identificação dos Objetivos....65
3.1.3 Especificação dos Critérios....67
3.1.4 Especificação das alternativas....68
3.1.5 Avaliação intra-critério 70
3.1.6 Avaliação inter-critério 74
3.1.7 Estabelecimento das classes de equivalência e dos perfis 75
3.1.8 Modelo multicritério de apoio a decisão adotado para classificação dos equipamentos....78
3.1.9 Definição dos limiares e do nível de corte (λ)....79
3.1.10 Análise de Sensibilidade 80
3.1.11 Vantagens e Desvantagens do Método ELECTRE TRI....80

3.2. Modelo *Delay Time* para um único componente 81

3.3. Modelo PROMETHEE II 81

3.3.1 Determinação das alternativas 81
3.3.2 Determinação dos critérios....82
3.3.3 Definição dos pesos de cada critério....82

3.3.4 Avaliação das alternativas com os critérios 83
3.3.5 Avaliação das funções de preferência 83
3.3.6 Matriz de Avaliação 83
3.4. Considerações do Capítulo 84
4 APLICAÇÃO NUMÉRICA DOS MODELOS 85
4.1. Aplicação Numérica do Método ELECTRE TRI 85
4.2. Aplicação Numérica do Método Delay Time e PROMETHEE II 96
4.2.1 Aplicação Numérica do Método Delay Time para um único componente 96
4.2.2 Aplicação Numérica do Método PROMETHEE II 102
4.3. Considerações do Capítulo 104
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 106
5.1. Dificuldades e Limitações da Pesquisa 107
5.2. Recomendações para Trabalhos Futuros 107
REFERÊNCIAS 108

1 INTRODUÇÃO

A partir da segunda guerra mundial, o crescimento tecnológico tornou-se mais frequente, possibilitando o avanço da sociedade em várias áreas. Nas indústrias os sistemas produtivos foram sendo melhorados com o incremento de novas tecnologias. Processos estes tornaram-se cada vez mais complexos e automatizados exigindo a necessidade de uma gestão com pessoas treinadas e capacitadas.

Dekker (1996), afirma que a generalizada mecanização aliada com a automação contribuiu para a redução da mão de obra na produção, aumentando assim o capital investido em equipamentos de produção.

Após a Segunda Guerra Mundial, houve necessidade de realizar avanços nos estudos sobre os equipamentos ressaltando de maneira aprofundada os custos de reparo nos equipamentos, a periodicidade de manutenção considerando as falhas de equipamentos eletrônicos (DHILLON, 2007).

Antigamente a manutenção era tratada de forma marginalizada, desnecessária e carente de recursos financeiros para solucionar os mais diversos tipos de problemas. A manutenção era vista como um mal necessário nas empresas. Com o avanço tecnológico e com a inserção de máquinas para otimizar os processos e gerar maior segurança, o homem está perdendo seu espaço nas organizações.

Vale ressaltar que o desenvolvimento tecnológico gerou a ampliação de técnicas para as organizações conduzirem seus processos, especialmente em termos de segurança, qualidade e confiabilidade dos maquinários, dos equipamentos, e dos sistemas. Nesse sentido, é importante lembrar que essas medidas são utilizadas para gerar maior eficiência dos sistemas produtivos.

As organizações preparam uma diversidade de técnicas que podem lhes oferecer muitas vantagens competitivas, em um ambiente cuja demanda por sistemas, processos e produtos que ofereçam o melhor desempenho (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009; ANDRADE, 2011).

Diante deste cenário, as criações de políticas de manutenção estão sendo abordadas pelas empresas como forma de minimizar quebras de máquinas, reduzir interferências nos processos produtivos, reduzir desperdícios de matérias primas dentre outros.

De acordo com Cavalcanti (2013), o planejamento corresponde à atividade de antecipação, ou seja, permite que se possa desenvolver uma estratégia para as atividades de

manutenção. Cabe a quem realiza o planejamento identificar quais as competências técnicas e recursos disponíveis. Nesse sentido, uma política de manutenção planejada garante a disponibilidade do equipamento e consequentemente torna os processos mais confiáveis, onde os mesmos são realizados com maior segurança e com custos acessíveis para a empresa, proporcionando excelência produtiva, confiabilidade aos sistemas produtivos e, consequentemente, maiores lucros.

Diante desse contexto, a utilização de uma abordagem multicritério para classificação dos equipamentos críticos e determinação de períodos ótimos de manutenção são úteis para estabelecer uma conexão quantitativa entre a manutenção e seu impacto na confiabilidade (YANG *et al.* 2008).

O método ELECTRE TRI é utilizado para resolução de problemas, sendo importante para realizar a distribuição de equipamentos em categorias pré definidas.

Determinado os equipamentos que afetam a eficiência do sistema o modelo *Delay Time* pode ser empregado como um recurso importante para acompanhar o desempenho ou funcionalidade destes equipamentos conforme a ocorrência de defeitos e falhas.

Para problemáticas de escolha e de ordenação, a aplicação do método PROMETHEE II torna-se relevante para determinar os melhores tempos de inspeção através do uso do fluxo líquido.

Dessa forma, esta pesquisa tem interesse em proporcionar uma melhor organização da manutenção, indicando um melhor direcionamento dos recursos para os equipamentos considerados críticos, evitando assim atividades desnecessárias. Uma vez determinado a criticidade dos equipamentos, será determinado períodos de inspeções com base na adoção de um modelo multicritério.

1.1 Justificativa

A manutenção tem adquirido um posicionamento estratégico nas empresas, em virtude do impacto que esta desempenha sobre a competitividade das organizações empresariais e os resultados e objetivos que elas almejam alcançar.

Para alcançar tais objetivos, as organizações podem utilizar diversos tipos de estratégias para desenvolver o planejamento da manutenção. Com o planejamento da manutenção é possível reduzir custos com atividades adequadas, permitindo o aumento da produtividade e redução das despesas em geral.

É comum os gestores realizarem o planejamento da manutenção separadamente da programação da produção, não proporcionando resultados desejáveis para o desenvolvimento das atividades. Dessa forma, quando essa situação ocorre, levanta-se a conjectura que o maquinário encontra-se sempre a disposição, isto é, não ocorrem falhas (Allaoui *et al.* 2008).

As falhas de unidades industriais são geralmente causadas por manutenção inadequada e incapacidade de prever os problemas que podem ocorrer mais tarde durante o uso dos equipamentos (KOMAL, *et al*, 2010).

No intuito de não ocorrer essas falhas, é necessário realizar a programação da produção apropriada, adaptando sempre adequação para o planejamento e interrupções que podem ocorrer devido às falhas, para conseguir alcançar os objetivos estratégicos traçados no planejamento da produção e da manutenção. Desta forma, é necessário compreender que deve existir uma integração entre a produção e a manutenção (Ángel – Bello *et al.* 2011).

As empresas e indústrias dispõem de uma gama de técnicas que podem lhes dar muitas vantagens competitivas, em um ambiente cuja demanda por sistemas e produtos de melhor desempenho é cada vez maior (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009; ANDRADE, 2011). Essas técnicas são utilizadas como uma estratégia que pode proporcionar economias significativas de custos por meio de decisões e otimização da manutenção (HEO *et al*. 2014)

Assim, a utilização de uma política de manutenção ótima pode proporcionar grandes melhorias no sistema de produção, dessa maneira a manutenção carece de meios para o pleno funcionamento do equipamento, seja de funcionários capacitados, estoques de peças sobressalentes, entre outros.

De acordo com o exposto os modelos abordados serão utilizados para realizar a classificação dos equipamentos em categorias para posteriormente determinar tempos de inspeções para melhor planejamento das ações de manutenção.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Propor uma abordagem multicritério de apoio à decisão para classificação dos equipamentos considerados críticos ao sistema e uma vez determinado o equipamento através do modelo ELECTRE TRI, determinar através do PROMETHE II os tempos de inspeções que deverão ser realizadas as manutenções.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Revisar dentro da literatura as políticas de manutenção existentes para dar ênfase à pesquisa;
- Classificar os equipamentos em termos de criticidade, de modo a focar atenção nos equipamentos mais críticos do sistema com a simulação do método ELECTRE TRI;
- Determinar os critérios custos e disponibilidade para cada alternativa de tempo com base no método *Delay Time* para um único componente do equipamento classificado;
- Estabelecer intervalos de tempos de inspeções para um único componente, com base no método multicritério PROMETHE II;

1.3 Metodologia de Pesquisa

Este trabalho propõe avaliar em uma linha de massa longa, qual é o equipamento mais crítico do sistema com base nos critérios estabelecidos. Depois de definido o equipamento crítico será determinado períodos de inspeções, para poder estabelecer a melhor política de manutenção a ser adotada e de acordo com as preferências do decisor.

Desta forma, é realizada uma pesquisa bibliográfica cuja finalidade é obter o conhecimento necessário acerca do tema e, conseguir criar uma base sólida das informações que possam ser utilizadas nesta pesquisa.

1.3.1 Classificação da Pesquisa

A construção de uma pesquisa científica envolve diversas etapas, técnicas, procedimentos para o alcance de um propósito, apresentando uma variedade de enfoques para a sua classificação, desta maneira será adotado para a realização desta pesquisa os seguintes pontos:

- Quanto à abordagem: A pesquisa pode ser classificada com caráter dicotômico, por contemplar julgamentos tanto qualitativos quanto quantitativos.
- Quanto aos objetivos: O estudo possui caráter exploratório, a pesquisa exploratória segundo a ótica de Gil (2010) está relacionada a proporcionar mais informações sobre determinado tema com o objetivo de facilitar a familiarização com o tema pesquisado. A pesquisa ainda se classifica como explicativa que de acordo com Mantovani & Feba (2013) este tipo de pesquisa está relacionada com a identificação dos fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos explicando assim o porquê da coisas.

- Quanto aos procedimentos técnicos: a pesquisa se caracteriza como sendo bibliográfica. Este tipo de pesquisa é o meio de investigação do assunto, para que o pesquisador familiarize-se com a temática em estudo (MARCONI & LAKATOS, 2010; GIL, 2010).
- Quanto a natureza: é considerada uma pesquisa aplicada, pois visa gerar conhecimentos para a aplicação prática, apontando a solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais (GIL, 2010).

1.3.2 Modelagem

Roy (1996) conceitua modelo como um esquema de uma família de questões que são consideradas como a representação de uma classe de fenômenos, que o investigador remove de seu ambiente para auxiliar a investigação e facilitar a comunicação.

Scarf (1997), relata a importância da utilização de modelos matemáticos, na tentativa de resolver problemas reais que estão associados à manutenção.

Para a modelagem de um projeto em Pesquisa Operacional (PO) Ackoff & Sasieni (1975) desenvolveram a seguinte metodologia, definida em quatro etapas para formulação do problema: (1) Definição e estruturação do Problema; (2) Construção do Modelo; (3) Obtenção de Solução; (4) Avaliação da Solução. Estas etapas para a modelagem do problema estão ilustradas na Figura 1.1.

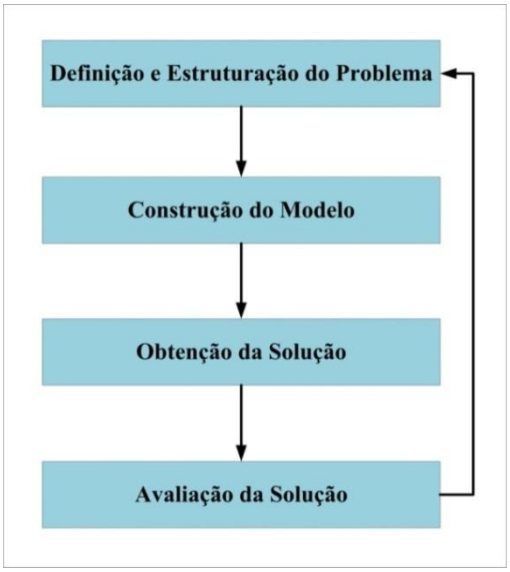


Figura 1.1 - Etapas da elaboração de um problema de Pesquisa Operacional

Fonte: Adaptado de Andrade (2009).

De acordo com Moreira (2010) a primeira etapa da modelagem consiste na transformação das informações em um problema estruturado. Sendo assim, o pesquisador deve considerar as necessidades do decisor e, a partir disso, devem ser definidos os objetivos e restrições do modelo. A definição do problema, os objetivos e as alternativas estruturadas devem estar de acordo com o problema real, pois a formulação é a base para um encaminhamento correto da pesquisa.

A segunda etapa da construção do modelo, é considerada a fase fundamental pois é dessa fase que provêm os resultados da estruturação do problema apresentado. Outro aspecto que deve ser tratado minuciosamente são os parâmetros de entrada para o modelo, pois estes terão influência direta no processo de decisão.

De acordo com Miguel (2010) a fase de solução do modelo é a fase mais definida do processo de modelagem, pois ela geralmente lida com modelos matemáticos mais precisos. A quarta e última etapa, após a elaboração do modelo é necessário validar o modelo. Andrade (2009) argumenta que um modelo é considerado válido, se a despeito da sua inexatidão em representar o sistema, ele é capaz de prover respostas que possam contribuir para apoiar a decisão a ser tomada.

Nesta pesquisa serão realizadas as quatro etapas da modelagem.

1.3.3 Procedimentos Técnicos e Simulação

Para elaboração desta dissertação, algumas etapas foram desenvolvidas para confecção da metodologia do referido estudo. A pesquisa não teve uma aplicação prática, neste caso os modelos foram simulados numericamente em laboratório com intuito de realizar um estudo fictício, no tocante a uma empresa de produtos alimentícios, para determinação de políticas ótimas de manutenção em um componente único. Assim, esta pesquisa foi dividida em dois momentos.

No primeiro momento foi realizado uma modelagem através do método multicritério ELECTRE TRI com a finalidade de realizar uma classificação dos equipamentos da linha de produção de acordo com suas criticidades, com a intenção de determinar o equipamento mais critico no sistema. A aplicação numérica do método ELECTRE TRI foi realizada no *software* que possui o mesmo nome do método, versão demo, desenvolvido e disponibilizado na página da *internet* do LANSADE - CNRS UMR 7243 - Université Paris Dauphine.

Foi realizado uma análise de sensibilidade do modelo para testar o comportamento dos resultados, para que fosse possível determinar os parâmetros, pesos ou funções que mais se aproximassem da realidade e que representassem as necessidades do decisor.

Determinado o equipamento mais crítico, a segunda etapa desta pesquisa consistiu na aplicação do método PROMETHEE II para determinação de tempos de inspeções (alternativas), de um único componente do equipamento para base desse estudo, com um único modo de falha. Ainda nesta etapa, para avaliação dos tempos de inspeções foi realizado um estudo referente aos critérios custos e disponibilidade do componente com o auxílio do método *Delay Time*.

1.3.4 Estruturação da Pesquisa

Esta pesquisa é composta por cinco capítulos, conforme descritas a seguir:

- Capítulo 1: apresenta a evolução da manutenção no contexto mundial e como o planejamento da mesma é utilizada nas organizações como estratégia de negócio, assim como a definição dos objetivos geral e específicos desta pesquisa, justificativa e metodologia utilizada;
- Capítulo 2: apresenta o referencial teórico em que a pesquisa foi fundamentada, destacando os principais conceitos relacionados a manutenção de equipamentos e modelos de apoio à decisão multicritério;
- Capítulo 3: Descrição dos modelos empregados nesta pesquisa, assim como os parâmetros, pesos ou funções utilizadas e voltadas para a manutenção de uma linha de massas alimentícia;
- Capítulo 4: Este capítulo expõe a aplicabilidade numérica fictícia dos modelos envolvidos e os resultados obtidos dos mesmos;
- Capítulo 5: Traz as conclusões pertinentes do estudo, as limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo demonstra alguns conteúdos que constituem o fundamento teórico para esta pesquisa, tais como: Conceitos, características dos tipos de manutenção corretiva, preventiva e preditiva, manutenção produtiva total (TPM), utilização do *Delay Time* e sua importância na manutenção, estruturas utilizadas no apoio a tomada de decisão multicritério.

2.1 Histórico da Manutenção

A manutenção surgiu na indústria mecânica no fim do século XIX. Até 1914 as empresas não possuíam um departamento que fosse responsável pela manutenção dos equipamentos. De acordo com Souza (2013), antigamente a manutenção de equipamentos não eram executadas como ocorre nos dias atuais, as falhas geradas em maquinários só eram reparadas após o colapso dos mesmos, ou seja, se algo quebrasse, a máquina era consertada. Nesta época a manutenção era realizada de maneira rudimentar e simples, e quem executava os ‘reparos’ (manutenção corretiva) eram as pessoas que também eram responsáveis pela produção.

Com o fim da primeira guerra mundial, perceberam a necessidade de realizar mudanças nesse setor, onde surgiram as primeiras ações desenvolvidas com o conhecimento e a dedicação específica para a ocorrência das falhas (SOUZA, 2013).

Sendo assim, as empresas e as fábricas passaram a adotar manutenções de rotina através de equipes que executassem reparos, corrigindo falhas no menor tempo possível. (SOUZA, 2013; ANDRADE E COSTA E SILVA, 2009).

No final da Segunda Guerra Mundial, os Estados Unidos se tornou o principal líder mundial em manufatura e a demanda pelos produtos fabricados passou a exceder significativamente sua capacidade de produção.

Desta forma, os departamentos de manutenção das empresas começaram a colocar em prática a manutenção preventiva, que tem como objetivo a prevenção dos defeitos e das falhas de maneira que reduza ou evite a quebra das máquinas e, consequentemente, a queda no desempenho, fundamentado em planos previamente preparados, cujo objetivo é acompanhar as condições físicas dos equipamentos e aplicar medidas preventivas (exemplo, substituição de peças com funcionamento comprometido ou com uma alta carga de horas de trabalho que

são determinados pelos fabricantes) buscando evitar as falhas e as perdas das máquinas e equipamentos (NIQUELE, 2012).

Os anos 60 podem ser considerados como um grande marco para revolução e desenvolvimento do setor da manutenção, pois foi nesta década que houve o surgimento da Engenharia da Confiabilidade, Engenharia Econômica e da Estatística e de acordo com o aperfeiçoamento dos sistemas de informação, do controle e do surgimento dos computadores, os quais foram adaptados ao setor de manutenção incidindo a adoção de critérios de previsão de falhas, e as condições de funcionamento das máquinas que passaram a ser inspecionadas e monitoradas regularmente, de maneira que é possível prever o fim da vida útil (ZAIONS, 2003).

No final do século XX houve um novo redirecionamento do conceito, no Brasil a NBR 5462 definiu a manutenção como: "a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida". (ABNT, 1994). Nesta época, a manutenção passa a ser considerada como uma estratégia de negócio, onde as filosofias orientais começam a ser inseridas nas empresas, e uma dessas filosofias é a Manutenção Produtiva Total, conhecida pela sigla inglesa TPM – *Total Productive Maintenance*, (NAKAJIMA, 1989).

Tabela 2.1 – Evolução da Manutenção.

Primeira Geração	**Segunda Geração**	**Terceira Geração**
Antes de 1940	**Entre 1940 e 1970**	**Após 1970**
Aumento da expectativa em relação a manutenção		
- Conserto após falha	- Disponibilidade crescente (Maior vida útil)	- Maior disponibilidade e confiabilidade; - Melhor custo-benefício; - Maior segurança; - Melhor qualidade dos produtos; - Preservação do meio ambiente.
Mudanças nas técnicas de manutenção		
- Conserto após falha	- Computadores grandes e lentos; - Sistemas manuais de planejamento e controle do trabalho; - Monitoração por tempo.	- Monitoração por condição; - Projetos voltados para a confiabilidade e manutenabilidade; - Análise de riscos; - Computadores pequenos e rápidos; - *Software* potentes; - Análise de modos e efeitos de falha (FMEA); - Grupos de trabalho multidisciplinares.

Fonte: Rodrigues (2003).

De acordo com o exposto, percebe-se que a manutenção evoluiu com o decorrer do tempo, porém as definições existentes não diferem muito uma das outras, mas, é necessário observar que existe uma aproximação entre os conceitos que se relacionam com aspectos para desenvolvimento de estudos para a área da manutenção. Através da Figura 2.1 é possível mostrar o quanto a manutenção evoluiu:

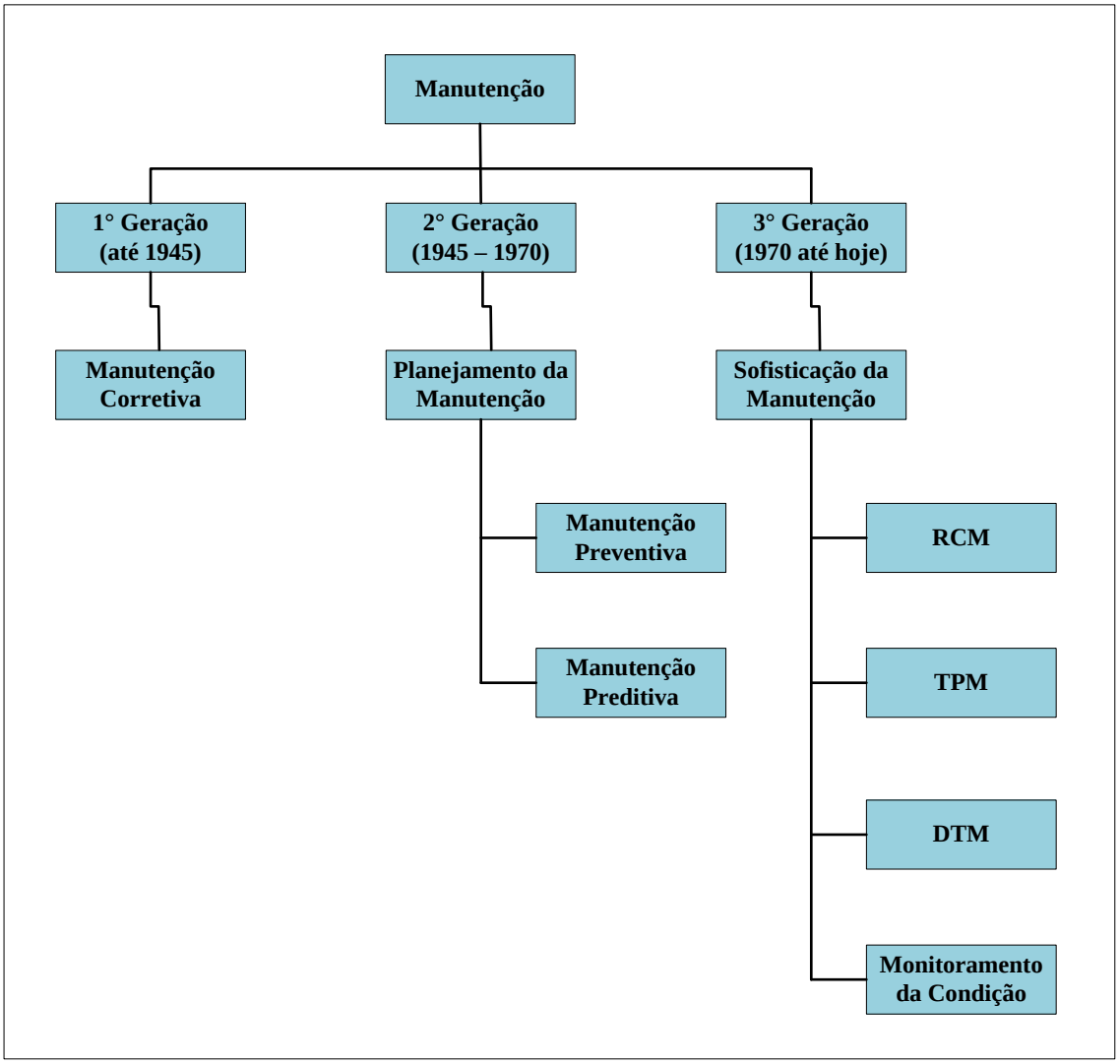


Figura 2.1 – A Evolução da Manutenção.

Fonte: Adaptada de Silva (2010)

Inicialmente a ação de reparo de máquina era realizada após a quebra da mesma, ocasionando custos excessivos, atrasos da produção, além de não apresentar o mínimo de planejamento para a execução da manutenção. No período entre 1945 e 1970 surgiu as primeiras necessidades de planejamento da manutenção para redução de custos e aumento da produtividade, através da manutenção preventiva e manutenção preditiva, objetivando prever problemas de quebra de máquina para melhor garantir a manutenção do maquinário antes do colapso de todo o sistema. Após 1970 até os dias atuais as organizações vêem a manutenção como um plano de estratégia de negócio, para aumentar a eficiência e eficácia das máquinas através da criação e utilização de várias ferramentas como o TPM, DTM, RCM,

monitoramento da condição, dentre outros. A utilização de tais ferramentas necessitam de trabalho em equipe e envolvimento de todos para um bom planejamento da manutenção e sucesso do mesmo.

2.2 Tipos de Manutenção

A manutenção tem como finalidade assegurar o bom desempenho dos equipamentos, justificando assim, a existência do departamento de engenharia de manutenção (Cavalcante, 2011).

Existem vários tipos de manutenção, há também classificações diferentes para esses tipos. É possível encontrar a bibliografia várias denominações e divisões por vários autores para os tipos de manutenção. (SANCHES & FABRICIO, 2009). A seguir serão elencados os conceitos e os tipos de manutenção, assim como também o procedimento de como cada uma pode ser realizada.

A Tabela 2.2 descreve os tipos de manutenção bem como as suas atividades de melhoria.

Tabela 2.2 – Tipos de Manutenção

<table>
<tr><td rowspan="5">Atividades de Manutenção</td><td>Manutenção não Planejada (Consertar a quebra/falha); (Está de acordo com a estratégia estabelecida).</td><td colspan="2">Manutenção Corretiva (Após quebra não planejada)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Manutenção Planejada (Evitar ou impedir a quebra/ falha). (De acordo com a estratégia estabelecida).</td><td rowspan="3">Manutenção Preventiva (Programadas antes da falha/quebra)</td><td>Diária (rotina)</td></tr>
<tr><td>Periódica (sistemática)</td></tr>
<tr><td>Preditiva (condicional)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Atividades de Melhoria</td><td rowspan="2">Manutenção com Melhorias (Intervenção para a introdução de inovações que reduzam ou facilitem a manutenção)</td><td colspan="2">Melhoria da Confiabilidade</td></tr>
<tr><td colspan="2">Melhoria da Manutenabilidade</td></tr>
<tr><td>Prevenção da Manutenção</td><td colspan="2">Projeto que dispensa à manutenção</td></tr>
</table>

Fonte: Picanço (2003).

A Figura 2.2 ilustra a evolução da manutenção e a síntese da aplicação metodológica da manutenção.

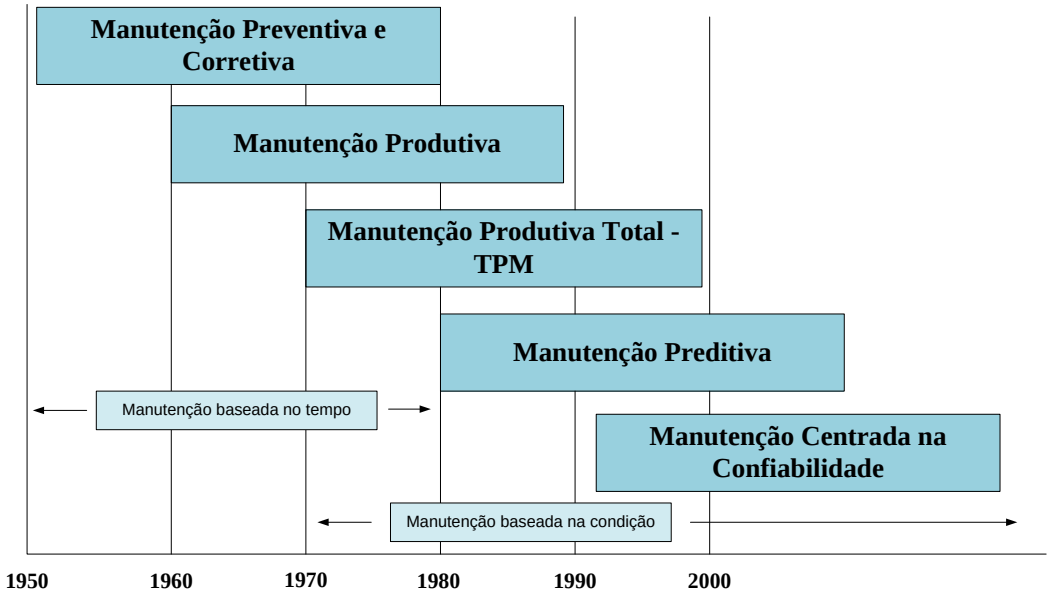


Figura 2.2 – Síntese da aplicação da metodologia das manutenções.

Fonte: Zaions (2003).

2.2.1 Manutenção Corretiva

De acordo com Viana (2009), a manutenção corretiva é a interferência necessária do ato contínuo para impedir consequências graves aos equipamentos de produção, buscando também propiciar segurança ao operário e a conservação do meio ambiente. A referida manutenção é realizada com a adequação de uma intervenção aleatória, sem definições previstas ou planejadas, procurando minimizar a parada ocorrida. Esses consertos são realizados nos componentes que sofreram falha, podendo ser reparos, alinhamentos, balanceamentos, substituição de peças ou substituição do próprio equipamento.

Para Xenos (2004) a manutenção corretiva é realizada sempre após a ocorrência de um defeito. Vale ressaltar que a manutenção corretiva é a mais antiga e é considerada como a mais conservadora dos tipos de manutenção, ela se caracteriza pela reatividade e por ações que não são programadas ou planejadas, e esta só é realizada mediante falha, defeito ou pane, isto é, o problema no maquinário ou em seus componentes já ocorreu.

A manutenção corretiva ainda pode ser classificada em dois tipos: a Manutenção Corretiva Programada e a Manutenção Corretiva de Emergência.

De acordo com Branco Filho (2008), as manutenções corretivas programadas as correções são realizadas na data posterior ao evento da falha, pois a máquina permanece em estado de falha até a data em que será realizado o reparo.

Já a manutenção corretiva de emergência é o tipo de manutenção que não pode ser adiada e a falha que ocorreu deve ser corrigida imediatamente (Branco Filho, 2008).

2.2.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva consiste em realizar atividades de manutenção desenvolvidas em intervalos preestabelecidos ou determinados de acordo com critérios prescritos, repetidas num intervalo que pode ser definido baseado em tempo programado, com número de horas trabalhadas, número de partidas de um sistema qualquer (SELLITTO & FACHINI, 2014).

No quesito custos, Viana (2009) afirma que a manutenção preventiva, quando implantada por um planejamento efetivo, causa uma economia para a organização e um rápido retorno dos investimentos. Visto que, esse tipo de manutenção resgata as condições do equipamento, com a finalidade de evitar falhas maiores que causariam uma parada mais prolongada.

A manutenção preventiva é aquela onde ocorre uma pausa para a substituição de peças ainda utilizáveis. Esse tipo de intervenção deve acontecer com dados concretos e sistematizados (VERGARA, 2013).

2.2.3 Manutenção Preditiva

Nesse tipo de manutenção, as inspeções periódicas se restringem ao controle de parâmetros que apontem o estado do equipamento ou sistema operacional. Caso o diagnóstico desses parâmetros indique um mau funcionamento de algum componente, será avaliado a tendência evolutiva do defeito e realizado a programação de uma parada para correção.

Otani (2008) define manutenção preditiva como manutenções que garantem uma qualidade do serviço desejado, baseado na aplicação sistemática de técnicas de análise, onde são utilizados meios de supervisão centralizados ou de amostragem para reduzir a um mínimo a manutenção preventiva e, consequentemente, diminuir a manutenção corretiva.

A manutenção preditiva pode ser desenvolvida e aplicada a qualquer equipamento desde que os parâmetros físicos como temperatura, pressão, vibração, voltagem, corrente, ou resistência possam ser medidos. Os limites destes parâmetros devem ser impostos em

conformidade para que os problemas possam ser detectados durante uma monitorização de rotina antes que uma excessiva danificação ocorra (Brown, 2003).

A referida manutenção analisa o estado do equipamento periodicamente de forma a definir a realização de serviços de reparo mediante os resultados obtidos pelas análises.

2.3 CONCEITOS

2.3.1 Disponibilidade

Rausand e Hoyland (2003) conceituam disponibilidade como a probabilidade do sistema encontrar-se operacional em um dado instante de tempo, isto é, se o sistema está em modo de espera, são realizados testes periódicos para verificação dos componentes do mesmo estão ou não operacionais, despontando, possíveis falhas desses componentes.

"Característica aplicada a sistemas reparáveis, dá uma noção de desempenho de um item. É formalmente definida como sendo a probabilidade de que o sistema esteja disponível num tempo t" (CAVALCANTE, 2011).

De acordo com Lundteigen *et al* (2009), a falta de uma adequada disponibilidade pode prejudicar a produção de um produto, prejudicando também o processo, proporcionando perda de quota de mercado e baixa na reputação.

A integração da confiabilidade com a mantenabilidade, determina a probabilidade de que o sistema esteja pronto para funcionamento em um determinado instante, isto é, que o sistema tenha disponibilidade para uso. Esta grandeza é conhecida como disponibilidade (LEWIS, 1996).

De acordo com Lafraia (2001) a fórmula utilizada para o cálculo da disponibilidade média é dada de acordo com a equação 2.1:

$$D = TMEF/TMEF+TMPR \quad (2.1)$$

Onde:

D = disponibilidade

TMEF = tempo médio entre falhas

TMPR = tempo médio para reparo

2.3.2 Confiabilidade

A confiabilidade surgiu no cenário mundial, na década de 30 quando sua conjectura era aplicada a problemas relacionados aos equipamentos, rolamentos utilizados e seu tempo de

vida útil, assim como na geração de energia dos Estados Unidos da América (VILLEMEUR, 1992; DHILLON, 2007).

Lafraia (2001) afirma que durante a Segunda Guerra Mundial, a falta de equipamentos eletrônicos na Coréia provocou grande empenho dos militares nos Estados Unidos nos estudos de confiabilidade, contudo o grande salto nessa área ocorreu na década de 50, com o surgimento da indústria aeroespacial, eletrônica e nuclear.

Segundo Fogliatto (2009) a necessidade da confiabilidade no Pós Guerra, foi devido as falhas que aconteceram sobre os aviões, ocasionando, assim, inúmeros acidentes,e também pelas altas taxas de equipamentos e materiais danificados, devido à longa distância a ser percorrida para ser entregue aos combatentes. Deste modo, a confiabilidade é a medida da capacidade de uma peça de um equipamento operar sem falha quando colocada em serviço (SMITH, 1976).

Lafraia (2001) aponta os seguintes benefícios na aplicação da confiabilidade:

- Fornecer soluções quanto às necessidades das indústrias e consentir a aplicação de investimentos com base em informações quantitativas, segurança e meio ambiente;
- Eliminar as causas básicas de paradas não programadas nos equipamentos industriais, atuando nas causas e não nos sintomas, para isso é necessário o histórico de falhas dos equipamentos.

De acordo com Cavalcante (2011), a confiabilidade é conceituada como sendo a probabilidade de um sistema em exercer sua função específica de pleno funcionamento por um período de tempo de operação.

A confiabilidade pode ser alcançada através de diversas ações, o que irá danificar diretamente a natureza do equipamento, o seu desempenho, o custo associado e sua missão.

A fórmula utilizada para o cálculo da confiabilidade é dada de acordo com a equação 2.2:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \tag{2.2}$$

Onde:

R(t) = confiabilidade a qualquer tempo t.
e = base dos logaritmos neperianos (e=2,303).
λ= taxa de falhas (número total de falhas por período de operação).
t = tempo previsto de operação.

2.3.3 Mantenabilidade

Lewins (1996) define mantenabilidade como a capacidade de recolocação em funcionamento de um componente ou sistema após uma falha pode ser quantificada por outra grandeza probabilística.

"A mantenabilidade, denotado por M(t), é a probabilidade de que um item seja restaurado para sua condição original de funcionamento dentro do tempo t" (CAVALCANTE, 2011).Pode-se encontrar semelhantemente este conceito nos trabalhos de Tsarouhas *et al*. (2009) e Zhou e Leung (2007).

Para uma análise quantitativa, a mantenabilidade pode ser calculada por:

$$M(t) = P(T \leq t) \quad (2.3)$$

2.3.4 Falha

Siqueira (2005) contextualiza a falha como sendo uma interrupção do sistema, afetando sua capacidade de desempenhar uma função desejada. Corroborando com o exposto, Rausand & Høyland (2003) afirmam que, inicialmente é preciso realizar uma previsão do que pode sair do limite permitido das falhas, e, só assim realizar as modificações necessárias no produto ou projeto. A falha pode ser caracterizada de três formas:

2.3.4.1 Falha Primária

Segundo Scapin (2007), este tipo de falha é ocasionada pela presença de um componente defeituoso, mas mesmo assim o componente trabalha dentro dos padrões limites de operação.

2.3.4.2 Falha de Comando

É aquela falha que se origina da operação de um componente ou sistema, apresentando um efeito que não atende as expectativas do operador ou processo, mesmo o componente trabalhando dentro dos limites normais do processo. (SCAPIN, 2007).

2.3.4.3 Falha Secundária

É a falha que ocorre em um componente ou sistema que está operando fora dos limites de controle estabelecidos. Provavelmente estas falhas são oriundas de pressões elevadas ou baixas, variações de temperaturas, falha de manutenção periódica do equipamento, entre outros fatores. Scapin (2007) relata que as falhas secundárias estão classificadas em:

- Falhas de propagação;

- Falhas comuns;
- Falhas decorrentes de erro humano;
- Falhas em geral, que causam diminuição no desempenho sem afetar os demais componentes.

2.3.4.4 Defeito

Qualquer desvio das características de um item em relação aos seus requisitos (NBR 5462, 1994).

2.3.5 Inspeção

É o processo cujo objetivo está centrado na identificação de componentes ou peças que não estejam trabalhando conforme as especificações estabelecidas. Nesta situação, caso o componente seja identificação, uma estratégia de manutenção deve ser adotada para evitar a parada do equipamento ou até mesmo uma manutenção corretiva, gerando gastos desnecessários e excessivos.

2.4 Método *Delay Time (DTM)*

O modelo *Delay Time* objetiva acompanhar o funcionamento ou desempenho dos equipamentos ou processos constatando a ocorrência de defeitos e *breakdowns* (parada total do processo). Outra ocorrência pode ser gerada, sem que o processo seja levado a uma parada total, neste caso um defeito pode ser verificado.

O conceito de *Delay Time* foi proposto primeiramente por Christer & Wang (1995) e teve uma rápida aceitação dentro da área de manutenção, demonstrando a importância da utilização desse método para a melhoria das estratégias de manutenção. Com o referido método é possível verificar a evolução do tempo decorrido de um defeito, até que o mesmo venha a falhar (*breakdown*), impossibilitando o andamento do processo (equipamento).

Christer & Walter (1984), relata que o equipamento pode apresentar três estados distintos, são eles:

- Estado Operacional Normal – Estado (0);
- Estado de Defeito – Estado (1);
- Estado de Falha – Estado (2).

Dessa forma, o *Delay Time* de um defeito *(h)* é retratado como o tempo de decorrência desde a aparição do defeito *(u)* até que a falha (colapso) ocorra. Na prática, caso as atividades

de inspeções sejam executadas no intervalo *(u, u + h)*, o defeito é identificado e a manutenção preventiva é realizada antes que seja necessária uma corretiva, onde esta é executada após o colapso do equipamento. Essa descrição pode ser visualizada na Figura 2.3:

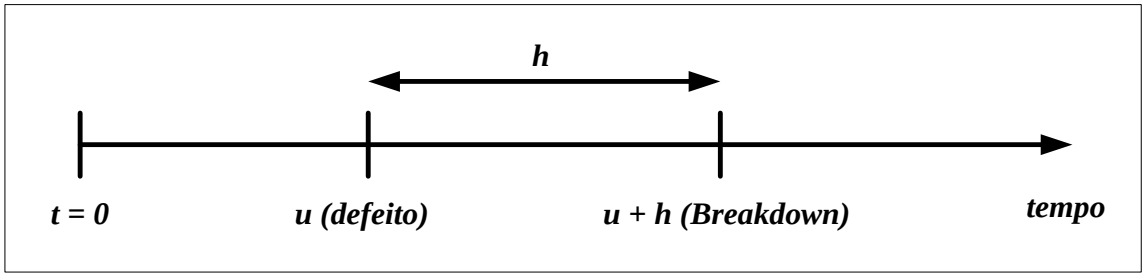


Figura 2.3 – Demonstração do conceito Delay-Time

Fonte: Adaptado de Nascimento Neto et al. (2012)

Christer (1999) descreve a existência de dois tipos de *DTM (Delay Time Model)*, originados do modelo inicial:

- O tipo 1 está relacionado a manutenção em organizações industriais, onde a modelagem considera componentes múltiplos;
- O tipo 2 consiste da modelagem de um único componente (reparável) através do *DTM (Delay Time Model)*, possuindo somente um modo de falha.

Serão apresentados a seguir as fórmulas e as suposições referentes aos dois tipos de modelos do *Delay Time*.

2.4.1 Modelo Delay Time para Manutenção em uma Organização Industrial

Segundo Christer (1999) e Ferreira *et al.* (2009) as suposições para este tipo de modelo são destacadas como se segue:

- Durante as inspeções, os defeitos caso existam serão identificados;
- Uma vez identificados os defeitos, os mesmos serão corrigidos nos períodos de inspeção;
- A um custo C_1, a inspeção é feita a cada unidade de tempo operacional T, requerendo uma realização de *downtime* de inspeção D_1, com $D_1 < T$;
- A taxa constante λ, representa o surgimento dos defeitos;

- O primeiro ponto de aparecimento de um defeito na indústria é distribuído no tempo de forma uniforme desde a realização da última inspeção, com h independente;
- É conhecida a *f(h)* – função densidade de probabilidade do *Delay Time*;
- Para que a indústria seja considerada em regime efetivo e permanente, a mesma deve ter um longo período de operação;
- Somente em operação é que os defeito e falhas podem surgir na indústria.

Com base nas suposições citadas, surge uma política de inspeção tornando-se possível avaliar o custo incorrido da inspeção na indústria, assim como avaliar a disponibilidade *(downtime)* que se espera, ou seja, a estimativa de tempo na qual os equipamentos ficarão inoperantes, devido uma intervenção corretiva, preventiva ou de uma inspeção (Silva, 2010).

Segundo (Ferreira *et al.* 2009) a determinação dos custos e da disponibilidade do sistema, pode ser obtido através das fórmulas a seguir:

Cálculo do Custo

$$C(T) = \frac{\lambda T\{C_1 b(T) + C_1[1 - b(T)]\} + C_1}{(T + D_1)} \tag{2.4}$$

b(T) representa a probabilidade de um defeito torna-se uma falha.

A equação para o cálculo do b(T) é dado por:

$$b(T) = \int_0^T \left(\frac{T - h}{T}\right) f(h)dh \tag{2.5}$$

Em que d_f representa o *downtime* médio para que a falha seja reparada.

Para o modelo *Delay Time*, o custo e o *downtime*, são avaliados por unidades operacionais de tempo T, onde T é a variável de decisão, ou o tempo de realização da inspeção.

2.4.2 Modelo Delay Time para Inspeções em um Único Componente

Segundo Vasconcelos (2011), para este modelo *Delay Time*, algumas suposições são válidas para a função custo e disponibilidade:

- Deve-se caracterizar a existência de um modo de falha predominante e que seja possível a sua análise;
- No instante x o defeito surge. As distribuições acumuladas (CDF) e de densidade (PDF) de x são conhecidas, sendo respectivamente $F_x(x)\ e\ f_x(x)$;
- O intervalo *Delay Time* h, é uma variável aleatória com distribuições *(CDF)* e *(PDF)* conhecidas e representadas por $F_h(h) e\ f_h(h)$;
- Durante a inspeção o sistema não se deteriora;
- As inspeções são realizadas nos tempos iT, i = 1, 2, ..., com T sendo a variável de decisão;
- As ações relacionadas à inspeção (d_i), à substituição preventiva (d_p) e à substituição ocasionada pela falha (d_f), apresentam tempos médios de duração diferentes;
- Os custos relacionados à inspeção (C_i), à substituição preventiva (C_p) e à substituição ocasionada pela falha (C_f) são distintos;

É notório lembrar que $d_i < d_p < d_f$ e que $C_i < C_p < C_f$.

A seguir serão apresentadas as principais fórmulas utilizadas para o cálculo da disponibilidade e do custo da manutenção da planta para cada momento de tempo, T (Vasconcelos, 2011).

$$D(T) = \sum_{i=1}^{\infty}\{\left(id_i + d_f + i.T\right)\int_{(i-1)T}^{iT} f_x(x)F_h(iT-x)dx + (id_i + d_p)\int_{(i-1)T}^{iT} f_x(x)\left(1 - F_x(iT-x)\right)dx - \int_{(i-T)}^{iT}\int_{0}^{iT-x}(x+h)f_x(x)f_h(h)dhdx\} \quad (2.6)$$

Onde o *(downtime) D(T)* é o tempo esperado de processo interrompido do sistema.

$$V(T) = \sum_{i=1}^{\infty}\{\left(id_i + d_f + i.T\right)\int_{(i-1)T}^{iT} f_x(x)F_h(iT-x)dx + (id_i + d_p + iT)\int_{(i-1)T}^{iT} f_x(x)\left(1 - F_x(iT-x)\right)dx\} \quad (2.7)$$

Assim, a disponibilidade *A(T)* é dado por:

$$A(T) = \frac{V(T) - D(T)}{V(T)} \quad (2.8)$$

O custo esperado da manutenção é obtido por:

$$U(T) = \sum_{i=1}^{\infty}\{\left(iC_i + C_p + C_f\right)\int_{(i-1)T}^{iT} f_x(x)F_h(iT-x)dx + (C_p + iC_i)\int_{(i-1)T}^{iT} f_x(x)\left(1 - F_h(iT-x)\right)dx\} \quad (2.9)$$

Dessa forma, o custo esperado por unidade de tempo da manutenção é:

$$C(T) = \frac{U(T)}{V(T)} \quad (2.10)$$

Onde a função de densidade de probabilidade *(PDF)* dos tempos de chegada de um defeito foi caracterizada com uma Weibull, expressa da seguinte maneira:

$$f_x(x) = \left[\left(\frac{\beta}{\eta}\right).\left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta-1}.\ e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta}}\right] \quad (2.11)$$

As distribuições dos tempos de *Delay Time PDF e CDF*, podem ser calculadas com as seguintes equações:

$$f_x(h) = \lambda\,.e^{(-\lambda.h)} \quad (2.12)$$

$$F_h(h) = 1 - e^{(-\lambda.h)} \quad (2.13)$$

2.5 Apoio Multicritério à Decisão

Será apresentado neste tópico uma abordagem geral de Multicritério na Tomada de Decisão, assim como conceitos relevantes dos atores do processo decisório, problemáticas, relações de preferência e por fim como se classificam os métodos MCDA.

2.5.1 Abordagem Geral

Podemos enfatizar que um problema de decisão multicritério incide de uma condição, onde existem pelo menos duas variáveis de escolha e esta escolha é determinada pela vontade a atender a diversos objetivos, que podem ser conflitantes entre si.

Segundo Behzadian *et al.* (2009) nas últimas décadas, a área de apoio a decisão multicritério desenvolveu-se significativamente na pesquisa operacional.

De acordo com Gomes *et al.*(2009), o processo de decisão consiste da escolha de uma alternativa dentre várias, onde a escolha pode ocorrer diretamente ou indiretamente, de modo que estas alternativas sejam utilizadas para o propósito de resolução de um problema específico.

Segundo Almeida (2013), esses objetivos estão coligados as consequências da escolha pela alternativa a ser adotada, onde os objetivos estão conexos variáveis que os representam garantindo o julgamento de cada uma das alternativas, de acordo com cada um dos objetivos. A estas variáveis podemos chamar de dimensões, atributos ou critérios.

Ainda de acordo com Almeida (2013), os critérios são utilizados para representar as preferências do decisor sobre um conjunto de alternativas. Sendo assim, Vincke (1992) classifica os critérios da seguinte forma:

Tabela 2.3 - Classificação dos Critérios

Critério Verdadeiro	A estrutura de preferência é uma pré-ordem completa.
Semi-critério	A estrutura de preferência é uma semi-ordem, possuindo limiar.
Critério de Intervalo	A estrutura de preferência é uma ordem de intervalo, possuindo um limiar variável.
Pseudocritério	A estrutura de preferência é uma pseudo-ordem, com limiar duplo.

Fonte: Adaptado de Vincke (1992)

Para definir Apoio Multicritério à Decisão (MCDA), Gomes *et al*. (2004) afirma que:

> "O MCDA pode ser definido como a atividade daquele (analista de decisões ou homem de estudo) que, baseado em modelos claramente apresentados, mas não necessariamente formalizados, ajuda na obtenção de elementos de resposta às questões de um agente de decisão no decorrer de um processo" (GOMES *et al*., 2004, p.7).

De acordo com o exposto, indivíduos que adotam decisões ruins podem gerar sérios problemas para a organização e sua carreira e em muitos casos sem possibilidade de reparação. Dessa forma, pode-se realizar o seguinte questionamento: como surgem decisões ruins? Na maioria das vezes uma decisão ruim pode ser originada da forma que esta foi tomada - a informação correta não foi coletada, as alternativas não estavam bem determinadas, os custos e benefícios não foram bem explícitos. (HAMMOND, KEENEY & RAIFFA, 1998).

"Como alguém pode tomar decisões boas, rápidas, frequentes, vencedoras? É preciso reconhecer que o tema é complexo e tem sido objeto de estudo por muitos pesquisadores" (RUSSO e SCHOEMAKER, 2002, p.14)

A utilização e aplicabilidade de qualquer método MCDA são observadas as necessidades de designar os objetivos que o decisor pretende obter, declarando a representação destes múltiplos objetivos por intermédio da utilização de múltiplos critérios. O MCDA é composto por vários métodos que tem como um dos objetivos garantir o estabelecimento da estrutura de preferências de um decisor, que está relacionada às consequências do problema de decisão, propondo uma avaliação das alternativas do problema decisório (ALMEIDA, 2011).

KEENEY (1992), "destaca a forma tradicional de resolver problemas, abordada na maioria dos textos sobre decisão que é focada nas alternativas (*Alternative-Focused Thinking* - AFT)".

O apoio à decisão multicritério tem por objetivo garantir que os decisores usufruam de ferramentas para solucionar problemas de decisão (Vincke, 1992).

De acordo com Almeida (2011), uma característica que diferencia os métodos clássicos de Pesquisa Operacional (PO) dos métodos MCDA é a presença de um decisor efetuando julgamento de valor. O modelo de decisão em MCDA é elaborado levando em consideração a estrutura de preferência do decisor. Assim sendo, "os métodos MCDA são

claramente necessários, quando não se podem representar todos os objetivos de um problema através de uma única métrica" (ALMEIDA, 2011).

Almeida (2013) propõe um procedimento para resolução do modelo de apoio a decisão, conforme Figura 2.4:

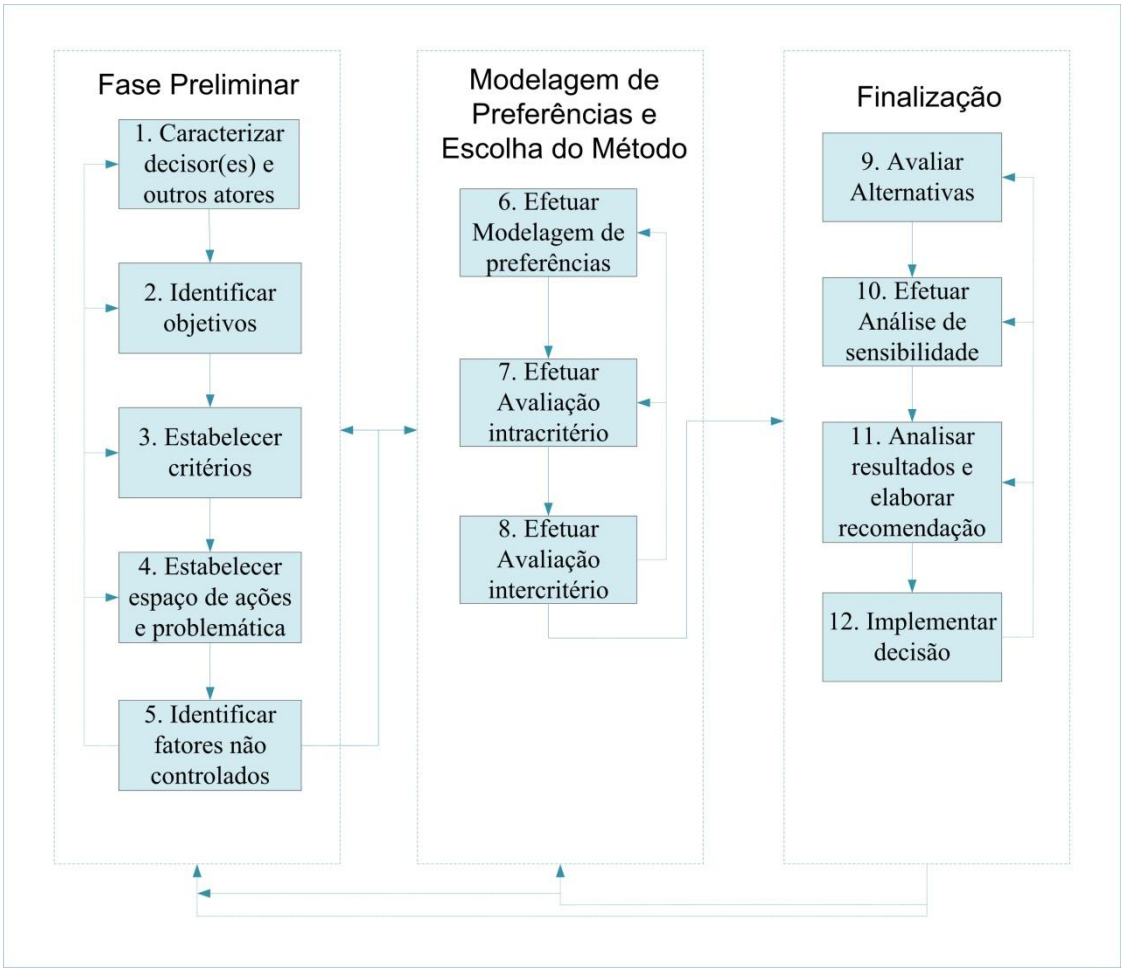


Figura 2.4 - Procedimento para resolução de um problema de decisão

Fonte: Almeida (2013)

Sendo assim Almeida (2013) relata que a fase preliminar constitui de cinco etapas básicas e iniciais onde ocorre a estruturação do problema de decisão. A Modelagem de Preferências e Escolha do Método ocorre de acordo com a estruturação dos fatores com maior influência na escolha do método de decisão multicritério a ser utilizado e sua construção. Uma vez ocorrido à consolidação do modelo, para realizar a etapa Finalização são desenvolvidas os passos finais para a resolução do problema e implantação da ação indicada, onde é possível retornar as fases anteriores para possíveis revisões ou atualizações do modelo.

Brunsson (2007) relata que a maneira como a decisão é tomada, influência diretamente as oportunidades de mobilização para implementação da ação escolhida.

2.5.2 Os Atores do Processo Decisório

Segundo Roy (1996), um ator do processo de decisão é a pessoa ou um grupo de pessoas que tem influência na decisão direta ou indiretamente.

Conforme Almeida (2013) os atores do processo decisório são destacados na Tabela 2.4:

Tabela 2.4 – Atores do processo decisório

Atores	Características
Decisor	É o responsável pela tomada de decisão e também possui poder na tomada de decisão em questionamento. É aquele que expressa experiências, além de avaliar possibilidades e objetivos.
Analista	Fornece suporte metodológico ao processo de decisão. Em muitos casos o analista executa um papel mais abrangente no envolvimento com um grupo de atores ou indivíduos para entender o problema em questão.
Cliente	Intermediário entre decisor e analista, o cliente que o indivíduo quem contrata o analista em momento de necessidade. Em muitas situações o cliente assessora o decisor.
Especialista	Fornece informações baseado em fatos do problema de estudo. É o profissional que tem conhecimento dos mecanismos de comportamento do problema de estudo e do ambiente que influência as variáveis que estão relacionadas ao problema de decisão em questão.

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Diante do exposto Roy (1996), os atores citados, também conhecidos como *Stakeholder*, busca influenciar o decisor, através de pressão, a tomar a decisão. O referido autor afirma ainda a existência de outros atores, também chamados de terceira parte, em que estes atores são afetados pela decisão a ser tomada e não têm um papel importante no processo de decisão.Por outro lado, o decisor pode completar as preferências dos atores.

2.5.3 Estrutura do problema de decisão

Para que um problema de decisão exista, é necessário a existência de pelo menos duas alternativas em que o decisor possa optar por uma escolha.

Roy (1996), identifica quatro tipos de problemáticas, são elas:

Tabela 2.5 – Problemáticas

Problemática.	Objetivo
Problemática P.α - Problemática de Escolha	Esclarecer a decisão pela escolha de um subconjunto do espaço de ações.
Problemática P.β - Problemática de Classificação	Alocar cada ação a uma classe. As diferentes categorias são definidas a *priori* a partir de normas aplicáveis ao conjunto de ações.
Problemática P.γ - Problemática de Ordenação	Ordenar as ações, criando um *ranking* das ações do conjunto.
Problemática P.δ - Problemática de Descrição	Apoiar a decisão por intermédio de uma descrição das ações do conjunto e de suas consequências.

Fonte: Adaptado de Almeida (2013)

Almeida (2013), considera ainda uma outra problemática:

- Problemática de portfólio: Esta problemática tem como objetivo escolher, de um conjunto de alternativas, um subconjunto que atenda os objetivos, de acordo com certas restrições.

2.5.4 Modelagem das Preferências do Decisor

A modelagem das preferências é uma fase de grande importância para a tomada de decisão onde pode ser elaborada por intermédio das relações de preferência.

De acordo com Vincke (1992), um decisor ao comparar duas ações, o mesmo poderá apresentar a seguinte atitude: indiferença entre as ações, preferência por uma das ações ou rejeição entre elas. Tais relações são caracterizadas como preferência (P), indiferença (I) e incomparabilidade (J).

O modelo de preferência mais tradicional considera que o decisor, diante de um par de elementos distintos de um conjunto, irá demonstrar preferência ou indiferença do conjunto.

Dessa maneira, Vincke (1992) relata o seguinte modelo de maximização de acordo com as preferências do decisor:

$aPb \leftrightarrow g(a) > g(b)$ (2.14)

$aIb \leftrightarrow g(a) = g(b)$ (2.15)

Onde:

g(a) - função valor da ação a

g(b) - função valor da ação b

De acordo com o exposto, Roy (1996) assegura que deve evitar o dilema da indiferença ou estrita preferência, oriundo do modelo tradicional, de acordo com o comportamento do analista:

- Não ser capaz de decidir: dados coletados de maneira errada e subjetivos, onde os mesmos são impróprios para o julgamento;
- Não saber como decidir: o decisor apresenta preferências sem fundamento, ou está inacessível;
- Não deseja decidir: necessidade de maiores estudos para formação da opinião, podendo acarretar em custos elevados e tempos excessivos.

Roy (1996) ainda descreve as relações de preferência como um modelo das preferências de um ator sobre o conjunto de ações potenciais, destacando-se os principais tipos como: Sistema Básico de Relações de Preferências (BSPR) e o Sistema Consolidado de Relações de Preferência (CSPR).

O Sistema Básico é formado pelas relações binárias de Indiferença (I), Preferência Fraca (Q), Preferência Estrita (P) e Incomparabilidade (J), demonstrados na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Relações básicas de preferência.

Situação	Definição	Relações Binárias
Indiferença *(I)*	Corresponde à existência de razões claras e positivas para justificar equivalência entre duas ações.	*I*: Relação reflexiva e simétrica
Preferência Estrita *(P)*	Corresponde à existência de razões claras e positivas para justificar uma preferência significativa em favor de uma das duas ações.	*P*: Relação assimétrica e irreflexiva
Preferência Fraca *(Q)*	Corresponde à existência de razões claras e positivas que invalidem a preferência estrita em	*Q*: Relação assimétrica e irreflexiva

	favor de uma de duas ações, mas que são insuficientes para deduzir cada preferência estrita em favor de outra ação ou indiferença entre duas ações, não permitindo que nenhuma das duas situações precedentes se distinga como apropriada.	
Incomparabilidade *(J)*	Corresponde na ausência de razões claras e positivas para justificar uma das três relações precedentes	*R*: Relação simétrica e irreflexiva

Fonte: Adaptado de Roy (1996)

Roy (1996) aponta as relações de preferência consolidadas, tais como: Não-Preferência (~), Preferência (>), J-Preferência (J), K-Preferência (K) e Sobreclassificação (S), todas descritas conforme na Tabela 2.7 a seguir:

Tabela 2.7 – Relações consolidadas de preferência.

Situação	Definição	Relações Binárias
Não-Preferência (~)	Corresponde a uma ausência de razões claras e positivas que justificam preferência estrita ou fraca em favor de uma ou duas ações e, assim, consolida situações de indiferença e incomparabilidade sem ser capaz de diferenciá-las.	$\sim: a \sim a' \leftrightarrow aIa'$ *ou* aRa'
Preferência (>)	Corresponde a existência de razões claras e positivas que justificam a preferência estrita ou fraca em favor de uma das duas ações e, assim consolidada situações preferenciais estritas e fracas sem ser capaz de diferenciá-las.	$>: a > a' \leftrightarrow aPa'$ *ou* aQa'
J-Preferência (J)	Corresponde a existência de razões claras e positivas que justificam as preferências fracas, não importa quão fraca, em favor de uma ação (identificada) das duas ações, ou, no limite, a indiferença entre as duas ações, mas sem significativa divisão estabelecida entre as situações de preferência fraca e indiferença.	$J: aJa' \leftrightarrow aQa'$ *ou* aIa'
K-Preferência (K)	Corresponde a existência de razões claras e positivas que justificam a preferência estrita em favor de uma (identificada) das duas ações ou incomparabilidade entre as duas ações, mas sem divisão significativa	$K: aKa' \leftrightarrow aPa'$ *ou* aRa'

	entre as situações de preferência e incomparabilidade.	
Sobreclassificação (S)	Corresponde a existência de razões claras e positivas que justificam preferência ou J-preferência em favor de uma (identificada) das ações, mas sem divisão significativa a ser estabelecida entre as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença.	*S: aSa′ ↔ aPa′ ou aQa′ ou aIa′*

Fonte: Adaptado de Roy (1996)

2.5.5 Classificação dos Métodos MCDA

Segundo Almeida (2013), existem vários métodos que são utilizados para lidar com problemas com múltiplos objetivos. Existem métodos que são classificados de acordo com o conjunto de alternativas: discreto e contínuo. Em que, o segundo tipo corresponde a utilização de métodos de programação matemática, destacando-se o PLMO (Programação Linear Multi-Objetivo), além de incluir a programação não-linear.

Roy (1996); Vincke (1992); Pardalos *et al.*, (1995), classificam os métodos MCDA, como:

- **Métodos de critério único de síntese –** envolvem os critérios em um único critério de síntese. Esses métodos possui uma idéia de agregação compensatória, que segundo Almeida (2013), podem compensar um menor desempenho em uma alternativa, dado um critério através de um melhor desempenho em outro critério, fato que não ocorre nos métodos não compensatórios. Neste grupo destaca-se a Teoria da Utilidade Multiatributo, conhecida por MAUT *(Multi-attribute Utility Theory)*, sendo este derivado da Teoria da Utilidade (Keeney e Raiffa, 1976);

- **Métodos Interativos –** métodos estes que podem está agregados a problemas discretos e contínuos. São muito utilizados na programação matemática. De acordo com Vincke (1992), esses métodos baseiam-se em mudar passos computacionais e a comunicação no decorrer do processo decisório com o decisor. Segundo Roy (1996), os métodos interativos podem ser empregado nos seguintes casos, como segue na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 – Utilização dos métodos Interativos

Problemáticas de Escolha	O decisor aceita solucionar um pequeno número de ações em A.
Problemáticas de Classificação	Ocorre as atribuições das ações de A pelo decisor, de acordo com as determinações das categorias.
Problemáticas de Ordenação	De acordo com as preferências do decisor, ocorre a estruturação de uma ordem completa ou parcial.

Fonte: Esta Pesquisa (2015).

- **Métodos de Sobreclassificação *(Outranking)*** – Superação, prevalência ou subordinação. Consiste de uma sobreclassificação com base em um conjunto de alternativas, geralmente discretas e através de alternativas comparadas em pares. Doumpos & Zopounidis (2004) relatam que estas técnicas funcionam em duas etapas: a primeira ocorre o vínculo de sobreclassificação e a segunda a exploração desse vínculo para avaliação das alternativas por classificação, ordenação e escolha.

De acordo com Almeida (2013) os métodos de sobreclassificação são mais indicados, pois apresentam resultados não compensatórios, onde alternativas com desempenho alto não compensa alternativas com um baixo desempenho. Destaca-se a família de métodos ELECTRE e PROMETHEE.

2.5.5.1 Família ELECTRE

Os métodos da família ELECTRE (*Elimination Et Choice Traduisant la Réalité*) estão enquadrados no grupo dos métodos de sobreclassificação. Desenvolvido por Roy (1996), o ELECTRE I foi o primeiro método dessa família.

Segundo Almeida (2013), esses métodos possui característica não compensatória. Assim, os métodos ELECTRE procuram explorar as preferências do decisor com base em um valor binário. Roy (1991) afirma que a sobreclassifica *a' (aSa')* se a é avaliada pelo menos tão bom em relação a *a'*. Sendo assim a alternativa *a* é estritamente preferível, fracamente preferível ou indiferente a alternativa *a'*, uma vez que não haja uma decisão em que uma das três situações dispostas seja a correta.

Os métodos dessa família usam uma relação de sobreclassificação com poder de veto, utilizando noções de concordância e discordância. A concordância está relacionada a intensidade da força da hipótese de uma alternativa ser pelo menos tão boa quanto a outra, já a discordância está relacionada a intensidade da força de evidências existentes contra essa hipótese, enfatizados por Belton & Stewart (2002).

Sendo assim, os índices de concordância e discordância são utilizados para mensurar a verdade da relação de sobreclassificação. De acordo com Almeida (2013), a concordância possui relação com um subconjunto de critérios, considerando uma alternativa *a* mais preferível a alternativa *b*, por outro lado a discordância condiz a situação de não existir critérios em que a preferência da alternativa *b* se relacionado a alternativa *a* excede um limite não aceitável.

A família ELECTRE é composta por métodos que são desenvolvidos em duas etapas, como citados por Roy & Vincke (1981). A primeira etapa incide na construção das relações de sobreclassificação, havendo uma comparação par a par dentre as alternativas. E a segunda etapa, ocorre a exploração da relação de sobreclassificação, onde a resolução do problema ocorre através da aplicação de um algoritmo.

A seguir são apresentados os métodos da família ELECTRE (Roy, 1996):

- ELECTRE I - As problemáticas de escolha são revolvidos com a utilização de critérios verdadeiros. Assim, escolha-se o menor subconjunto de ações, onde não ocorra nenhuma sobreclassificação das alternativas por outra ação do subconjunto.

- ELECTRE IS - Consiste de um *software* baseado no ELECTRE I, utilizando pseudocritérios para resolução de problemáticas de escolha;

- ELECTRE II - As problemáticas de ordenação são resolvidos com a utilização de critérios verdadeiros, ou seja, ocorre o ranqueamento das ações de modo decrescente;

- ELECTRE III - utilizados para problemáticas de ordenação, assim como no ELECTRE II, é utilizado ao se considerar uma família de pseudocritérios;

- ELECTRE IV - As problemáticas de ordenação são resolvidas através de um família de pseudocritérios. Este método difere dos anteriores por não utilizar pesos para os critérios;

- ELECTRE TRI - As problemáticas de classificação são resolvidos com a utilização de pseudocritérios.

Na Tabela 2.9, são destacados as principais características dos métodos ELECTRE, adaptado do trabalho de Roy (1991).

Tabela 2.9 – Características principais dos métodos ELECTRE

Família ELECTRE						
Método	I	II	III	IV	IS	TRI
Autor (s)	Roy	Roy e Bertier	Roy	Roy e Hugonnard	Roy e Skalka	Yu Wei
Ano	1968	1973	1978	1982	1985	1992
Tipo de Problemática	Escolha	Ordenação	Ordenação	Ordenação	Escolha	Classificação
Utiliza Pesos	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Considera Limiares de Preferência e/ou Indiferença	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Necessidata Quantificar a Impotância dos Critérios	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Resultado Final	Conjunto Kernel	Pré-ordem parcial	Pré-ordem parcial	Pré-ordem parcial	Conjunto Kernel	Classificação

Fonte: Esta pesquisa (2015).

2.5.5.1.1 Método ELECTRE TRI

O método ELECTRE TRI é utilizado para problemática de classificação, fazendo a distribuição de alternativas em categorias pré definidas. Essa distribuição de uma alternativa "a" implica da comparação dessa alternativa com alternativas conhecidas, classificadas como perfis, e esses são conhecidos como os limites das categorias (ALMEIDA, 2013).

Para Costa *et al.*(2007) o método ELECTRE TRI trabalha com problemáticas específicas e de classificação ordenada, dessa maneira, dado um conjunto de alternativas A, ocorre a associação dessas alternativas as classes ordenadas do conjunto $C = [C_1, C_2, \dots, C_n]$.

Sendo conhecidas as avaliações das alternativas para cada critério $\{g_{1,\dots,}g_{i,\dots,}g_m\}$ e um determinado conjunto de perfis $\{b_{1,\dots,}b_{h,\dots,}b_p\}$. Dado as categorias *(p + 1)*, onde b_h é o limite superior da categoria C_h e as categoria de limite inferior $C_{h+1}, h = 1, 2, \dots, p$.

De acordo com Szajubok, *et al*. (2006) os problemas tratados pelo ELECTRE TRI são modelados por uma família de pseudocritérios, onde os limiares de preferência e indiferença $p_j[g(b_h)]$ e $q_j[g(b_h)]$ constituem as informações intracritérios. Dessa maneira, $q_j[g(b_h)]$ explicita a maior diferença *gj(a) - gj(b_h)*, preservando a indiferença entre *a* e b_h no critério *gj* e $p_j[g(b_h)]$ é denominado como sendo a menor diferença *gj(a) - gj(b_h)*, compatível com uma preferência de *a* no critério *gj*.

A Figura 2.5 demonstra os posicionamentos dos perfis para os critérios.

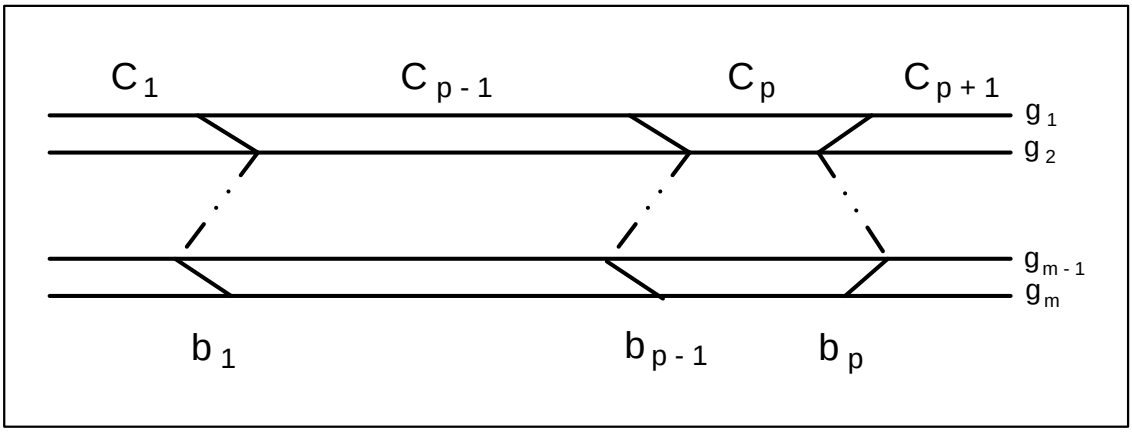


Figura 2.5 – Posicionamento dos perfis para os critérios

Fonte: Adaptado de Almeida (2013).

A forma de preferência com pseudocritérios impede um deslocamento repentino entre a preferência estrita e indiferença, ocorrendo uma hesitação, demonstrada pela preferência fraca. A Figura 2.6 mostra a estrutura de preferência com pseudocritérios sem o índice h para simplificação.

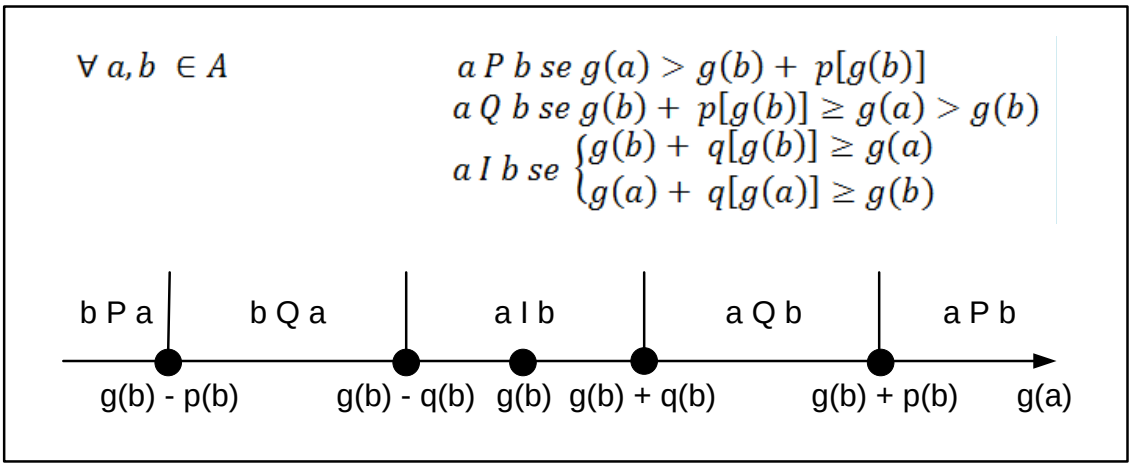


Figura 2.6 – Estrutura de preferência com pseudo critérios sem o índice h

Fonte: Adaptado de Almeida (2013).

As construções das relações de sobreclassificação S são realizadas através de comparações das alternativas e os perfis, ou seja, aSb_h *(ou* b_hSa*)*. De acordo com o exposto, para validar a afirmação aSb_h, dois conceitos devem ser constatados:

- Concordância - grande parte dos critérios devem ser favoráveis a aSb_h $(ou\ b_hSa)$para que a sobreclassificação aSb_h ocorra.
- Não discordância - nenhum dos critérios deve se opor fortemente a aSb_h ou $(ou\ b_hSa)$, quando a condição de concordância for atendida.

"No método ELECTRE TRI, para a construção de S é utilizado um conjunto de limiares veto $(v_1(b_h), v_2(b_h), \dots, v_m(b_h))$, usado no teste de discordância. $v_j(b_h)$ representa a menor diferença $gj(b_h)$ - $gj(a)$, incompatível com a afirmação aSb_h" (ALMEIDA , 2013).

Mousseau *et al*,. (1999) descreve que a relação de classificação deve ser elaborada de acordo com os seguintes passos:

a) Computar o índice parcial de concordância $c_j(a, b_h)$ *e* $c_j(b_h, a)$;
b) Computar o índice total de concordância $c(a, b_h)$;
c) Computar o índice parcial de discordância $d_j(a, b_h)$ *e* $d_j(b_h, a)$;
d) Computar a relação de sobreclassificação *fuzzy*, conforme o índice de credibilidade $\sigma(a, b_h)$;

e) Obter o limite de corte *(λ – cut)* da relação *fuzzy* para gerar a relação de sobreclassificação, ou seja, se $\sigma(a, b_h) \geq \lambda \rightarrow aSb_h$.

Segundo Costa *et al*.(2007) a relação de subordinação *fuzzy* S é gerada a partir de um nível de corte, onde esse nível é caracterizado como sendo o menor valor do índice de credibilidade compatível com a alegação onde "*a* subordina b_h". Isto significa que, aSb_h se e somente se $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$.

Diante do exposto os índices de concordância parcial, concordância e discordância parcial são gerados, como segue:

Concordância parcial

$$c_j(a,b) = \begin{cases} 0, \text{se: } g_j(b_h) - g_j(a) \geq g_j(b_h) \\ 1, \text{se: } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h) \\ \dfrac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)}, \text{ de outra forma} \end{cases} \quad (2.16)$$

Concordância

$$c(a,b) = \frac{\sum_{j \in F} k_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j \in F} k_j} \quad (2.17)$$

Discordância parcial

$$d_j(a,b) = \begin{cases} 0, \text{se: } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \\ 1, \text{se: } g_j(b_h) - g_j(a) \leq v_j(b_h) \\ \dfrac{g_j(b_h) + g_j(a) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - p_j(b_h)}, \text{ de outra forma} \end{cases} \quad (2.18)$$

Szajubok *et al*, (2006) afirma que o método ELETRE TRI calcula o índice de credibilidade *σ(b$_h$,a)* que avalia como a alternativa b_h é maior que a alternativa *a*. *σ(a, b$_h$) ∈ [0,1]* onde a afirmação aSb_h é verdadeira caso *σ(a, b$_h$) ≥ λ*, em que λ é o parâmetro de corte localizado entre o intervalo (0,5 e 1). Tal índice é encontrado em função da concordância entre os pares de alternativas, como segue na equação a seguir:

$$\sigma(a, b_h) = c(a, b_h). \prod_{j \in \overline{F}} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - c(a, b_h)}, \text{ onde } \overline{F}\{j \in F: d_j(a, b_h) > c(a, b_h)\} \quad (2.19)$$

Assim a classificação das alternativas é realizada através de um procedimento otimista ou pessimista.

De acordo com Yu (1992) e Moussean *et al* (2000), o ELECTRE TRI é um método que faz a associação de funções dando apoio para o decisor durante o processo de preferência, reduzindo assim o esforço de cognição na realização da modelagem.

2.5.5.2 Família PROMETHEE

BRANS e VINCKE (1985) foram os primeiros a referenciar o método PROMETHEE é um método discreto que pertence a categoria dos métodos de relações de subordinação.

O PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Evoluation)* foi apresentado pela primeira vez em 1982 no Canadá por Jean-Pierre Brans. O referido modelo consiste de um método de sobreclassificação, permitindo a ordenação das alternativas da melhor para a pior (Araz & Ozkaran, 2007).

Chen *et al.* (2011) relata que para o desenvolvimento deste modelo, é indispensável adquirir dados relativos a significância dos critérios analisados e a preferência do decisor.

Uma das vantagens da utilização do método PROMETHEE de acordo com Cavalcante *et al.*, (2010) está na forma de como cada critério é analisado e avaliado, sendo possível determinar a intensidade das avaliações de cada alternativa com cada critério. Segundo Brans & Vincke (1985), o PROMETHEE tem como principal vantagem o fácil entendimento do método pelo decisor.

Segundo Brans & Mareschal (2002) a principal dificuldade na utilização do método PROMETHEE, consiste na dificuldade que o decisor possui em compreender as funções de preferência, gerando um obstáculo que afeta a sua aplicação.

De acordo com Almeida (2011) os métodos da família PROMETHEE podem ser classificados em duas etapas:

1) Primeira etapa - Construção das relações de sobreclassificação, atribuindo dados relativos aos critérios e as alternativas;
2) Segunda etapa - Consiste da exploração das relações de apoio á decisão.

Segundo Almeida (2013) essa exploração de apoio á decisão, é apresentado como se segue:

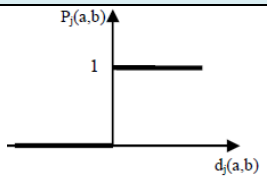
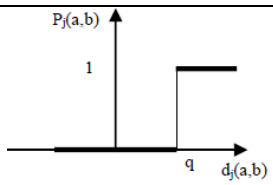
a) Estrutura de avaliação dos métodos PROMETHEE

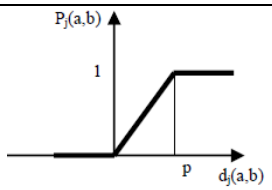
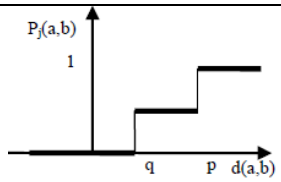
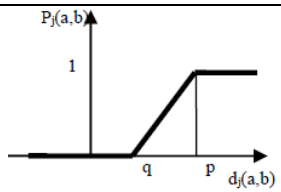
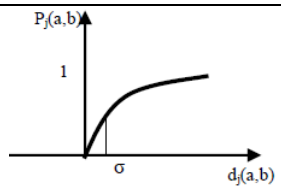
A utilização dos métodos dessa família exige primeiramente uma informação intercritério, onde o decisor fundamenta um peso para cada critério, onde esses pesos determinam a importância de cada critério. Uma vez determinado os pesos é adquirido o grau de sobreclassificação da alternativa *a* em relação à alternativa *b*, para cada par de alternativas *(a, b)* conforme a Equação 2.20, estabelecendo as preferências do decisor com base no desempenho das alternativas.

$$\pi(a,b) = \sum_{i=1}^{n} p_i F_i(a,b), \quad \text{onde} \sum_{i=1}^{n} p_i = 1 \tag{2.20}$$

De acordo com Almeida (2013), $F_i(a,b)$ é a função da diferença $[g_i(a) - g_i(b)]$ entre o desempenho das alternativas para cada critério i, podendo admitir qualquer valor entre 0 e 1. $F_i(a,b)$ aumenta se a diferença de desempenho de uma alternativa se relacionada a outra aumenta, e é igual a zero se o desempenho de uma alternativa é igual ou inferior ao da outra. Como maneira de facilitar o processo, seis funções são expostas ao decisor, onde o mesmo pode retratar suas preferências para cada critério, conforme a intensidade de suas preferências, de acordo com a Tabela 2.10:

Tabela 2.10 - Os seis tipos de critérios generalizados para o PROMETHEE

Tipologia de Critério	**Relação de Diferença**	**Definição Analítica**	**Representação Gráfica**	**Parâmetros**
(I) Critério Usual:	$g_i(a) - g_i(b) > 0$ $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = 0$		-
(II) Quase Critério:	$g_i(a) - g_i(b) > q$ $g_i(a) - g_i(b) \leq q$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = 0$		q

(III) Limiar de Preferência:	$g_i(a) - g_i(b) > p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = \frac{g_j(a) - g_j(b)}{p}$ $F(a,b) = 0$		p
(IV) Pseudo Critério:	$g_i(a) - g_i(b) > p$ $q < g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq q$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = 1/2$ $F(a,b) = 0$		q e p
(V) Área de Indiferença:	$g_i(a) - g_i(b) > p$ $q < g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq q$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = \frac{g_j(a) - g_j(b) - q}{p - q}$ $F(a,b) = 0$		q e p
(VI) Critério Gaussiano:	$g_i(a) - g_i(b) > 0$ $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$	$F(a,b) = 0$ A preferência aumenta segundo uma distribuição normal.		σ

Fonte: Adaptado de Almeida (2013).

Onde:

- q é o limiar de indiferença onde quanto maior o valor para a diferença $[g_i(a) - gib$, abaixo do qual existe uma indiferença;
- p é o limiar de preferência, onde o menor valor para $[g_i(a) - g_i(b)]$ acima do qual existe uma preferência estrita.

b) Fluxos de Sobreclassificação

Esta fase de exploração da relação de sobreclassificação faz uso de dois indicadores (ALMEIDA, 2013), conforme descritos a seguir:

1. Fluxo de Sobreclassificação de saída $\Phi^+(a)$ da alternativa a: representa a intensidade de preferência de *a* sobre todas as alternativas *b* no conjunto *A*, em que quanto maior o valor de $\Phi^+(a)$, melhor será a alternativa. Esse fluxo pode ser obtido através da Equação 2.21.

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a,b) \qquad (2.21)$$

2. Fluxo de Sobreclassificação de entrada $\Phi^{-}(a)$ da alternativa a: representa a intensidade de preferência de todas as alternativas b no conjunto A, em que quanto menor o valor de $\Phi^{-}(a)$, melhor será a alternativa. Esse fluxo pode ser obtido através da Equação 2.22.

$$\Phi^{-}(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{b \in A} \pi(b,a) \tag{2.22}$$

Uma vez obtido os fluxos de saída e de entrada é possível calcular o fluxo de sobreclassificação líquido Φ(a), conforme a Equação 2.23:

$$\Phi(a) = \Phi^{+}(a) - \Phi^{-}(a) \tag{2.23}$$

As alternativas serão ordenadas e de acordo com os fluxos de sobreclassificação. A utilização do fluxo dependerá da versão do método selecionado. Caso os fluxos sejam normalizados, tem-se valores entre -1 e 1 do fluxo de sobreclassificação líquido.

A Tabela 2.11 demonstra as implementações dos métodos PROMETHEE.

Tabela 2.11 - Implementação dos Métodos PROMETHEE

Método PROMETHEE	**Problemática**	**Estrutura**
I	Ordenação	Pré-ordem parcial
II	Ordenação	Pré-ordem completa
III	Ordenação	Pré-ordem completa (Fluxos Intervalares)
IV	Escolha e Ordenação	Pré-ordem parcial ou completa
V	Ordenação com Otimização	Pré-ordem completa com restrições de segmentos
VI	Escolha e Ordenação	Pré-ordem parcial ou completa

Fonte: Esta pesquisa (2015).

2.5.5.2.1 PROMETHEE I

Sendo utilizado em problemáticas de ordenação, o PROMETHEE I constitui uma pré ordem parcial entre as alternativas através dos fluxos de sobreclassifcação de entrada $\Phi^{-}(a)$ e de saída $\Phi^{+}(a)$. A pré-ordem parcial do PROMETHEE I é adquirida através da intersecção de duas pré-ordens, a partir das três relações de preferências, citados na Tabela 2.12: preferência (P), indiferença (I) e incomparabilidade (R), (BRANS; MARESCHAL, 2002):

Tabela 2.12 – Relações de preferências

Preferência: aPb se:	$\Phi^{+}(a) > \Phi^{+}(b)$ e $\Phi^{-}(a) \leq \Phi^{-}(b)$; ou $\Phi^{+}(a) = \Phi^{+}(b)$ e $\Phi^{-}(a) < \Phi^{-}(b)$.
Indiferença: aIb se:	$\Phi^{+}(a) = \Phi^{+}(b)$ e $\Phi^{-}(a) = \Phi^{-}(b)$.
Incomparabilidade: aRb se:	$\Phi^{+}(a) > \Phi^{+}(b)$ e $\Phi^{-}(b) < \Phi^{-}(a)$; ou $\Phi^{+}(b) > \Phi^{+}(a)$ e $\Phi^{-}(a) < \Phi^{-}(b)$.

Fonte: Esta pesquisa (2015).

2.5.5.2.2 PROMETHEE II

Empregado em problemáticas de ordenação é baseado na utilização do fluxo líquido o método PROMETHEE II é uma pré-ordem completa segundo Brans *et al*. (1985). O fluxo líquido é obtido da seguinte forma:

$$\Phi(a) = \Phi^{+}(a) - \Phi^{-}(a) \tag{2.24}$$

De acordo com Almeida (2013), considerando o indicador $\Phi(a)$, as alternativas são organizadas em ordem decrescente, indicando uma pré-ordem completa entre as alternativas, através das seguintes relações:

- Preferência: aPb se: $\Phi(a) > \Phi(b)$.
- Indiferença: aIb se: $\Phi(a) = \Phi(b)$.

O PROMETHEE II estabelece uma pré-ordem completa, quando a relação de indiferença não é provável.

2.5.5.2.3 PROMETHEE III

O PROMETHEE III pode ser empregado tanto para problemática de escolha como para ordenação. Este método agrega para cada ação a, um intervalo $[X_a, X_b]$, definindo uma ordenação intervalar (P, I), (Brans *et al.*, 1984), conforme estabelecido abaixo:

$$\begin{cases} aPb\ se & x_a > y_b \\ aIbse & x_a \leq y_b\ e\ x_b \leq y_a \end{cases} \tag{2.25}$$

Em que o intervalo $[X_a, X_b]$ é obtido por:

$$\begin{cases} x_a = \overline{\Phi}(a) - \alpha\sigma_a \\ y_a = \overline{\Phi}(a) + \alpha\sigma_a \end{cases} \tag{2.26}$$

Uma vez que:

$$\begin{cases} \overline{\Phi}(a) = \dfrac{1}{n}\displaystyle\sum_{b \in A}(\pi(a,b) - \pi(b,a)) = \dfrac{1}{n}\Phi(a) \\ \sigma_a^2 = \dfrac{1}{n}\displaystyle\sum_{b \in A}(\pi(a,b) - \pi(b,a) - \overline{\Phi}(a))^2 \\ \alpha > 0 \end{cases} \tag{2.27}$$

Onde n representa o número de ações.

2.5.5.2.4 PROMETHEE IV

De acordo com Almeida (2013), o PROMETHEE IV constitui uma pré-ordem parcial ou completa de um conjunto contínuo de ações A que aparece quando as ações são por exemplo: investimentos, percentagens, etc.

2.5.5.2.5 PROMETHEE V

"Nesse método, após se obterem as avaliações das alternativas com base no PROMETHEE II, são consideradas restrições, identificadas no problema, e então se aplica a seleção de um conjunto de alternativas, tratando da problemática de portfólio, com otimização inteira 0 - 1". (ALMEIDA, 2013).

De acordo com Abu-Taleb & Mareschal (1995), o método PROMETHEE V possui duas fases:

a) Avalia o problema multicritério sem qualquer tipo de restrição, em seguida os fluxos líquidos das alternativas são calculados através da utilização do método PROMETHEE II;
b) Nesta fase ocorre a integração das restrições ao problema, adotando a programação linear (0 – 1) a seguir:

$$Max \sum_{i=1}^{k} \Phi\,(a_i)x_i \tag{2.28}$$

Uma vez que:

$x_i \in \{1, 0\} \quad i = 1, 2, 3, \ldots, n$

n é o número de alternativas

s.a:

$$\sum_{i=1}^{n} a_i x_i \leq C \tag{2.29}$$

Assim:

a_i - valores das avaliações realizadas para todas as alternativas;

x_i - variável de decisão;

C – valor da restrição.

Por intervenção da programação linear inteira, é gerado um subconjunto de alternativas satisfatórias as restrições do problema, sendo gerado um fluxo líquido, em que se x por 1 (a alternativa é a melhor, sendo a escolhida), caso seja 0 (a alternativa é a pior).

2.5.5.2.6 PROMETHEE VI

Quando o decisor não é capaz de definir pesos aos critérios, o mesmo pode determinar intervalos de valores prováveis ao invés de um valor determinado para cada peso. O próximo passo ocorre a ordenação dos intervalos relativos as preferências do decisor.

2.6 Considerações do Capítulo

Este capítulo abordou a fundamentação teórica, com o objetivo de embasar esta dissertação, demonstrando a importância do estudo no tocante a manutenção e a evolução que a mesma apresentou no decorrer dos últimos anos.

O capítulo, ainda, apresentou dentro da fundamentação teórica conteúdos que constitui esta pesquisa, tais como: principais conceitos, políticas de manutenção e suas características, manutenção produtiva total, a importância da utilização do *Delay Time* no contexto da manutenção e a utilização das estruturas no apoio a tomada de decisão multicritério para resolução de problemas.

Foram ainda conceituados a aplicação de vários métodos de apoio a decisão multicritério em destaque dois deles, o ELECTRE TRI e o PROMETHEE II, os quais foram utilizados de maneira integrada para o desenvolvimento do referido estudo, com o intuito de enfatizar a importância da aplicação desses métodos para solucionar problemas pertinentes a manutenção.

3 MODELOS PROPOSTOS

Neste capítulo são descritos os dois modelos propostos, ambos apresentados através de um modelo de multicritério de apoio à decisão, voltado para a manutenção de uma linha de massas alimentícia. É importante salientar que todos os dados abordados foram obtidos através de aplicação numérica, uma vez que a referida pesquisa revela-se em demonstrar a aplicabilidade e importância dos modelos.

"O apoio Multicritério à Decisão pode ser definido como a atividade daquele (analista de decisões ou homem de estudo) que, baseado em modelos claramente apresentados, mas não necessariamente formalizados, ajuda na obtenção de elementos de resposta às questões de um agente de decisão no decorrer de um processo. Esses elementos têm como objetivo esclarecer cada decisão e, normalmente, recomendá-la ou, simplesmente, favorecê-la" (GOMES *et al.* 1998).

O primeiro modelo proposto consiste na utilização do método ELECTRE TRI para classificação de equipamentos críticos para melhoria do planejamento da manutenção em uma linha produtora de massas alimentícias. O objetivo é classificar os equipamentos considerados mais críticos. Uma vez determinado estes equipamentos, será aplicado um segundo modelo, PROMETHEE II, para determinação de períodos de inspeções.

Para utilização do modelo PROMETHEE II foi necessário avaliar as alternativas sob dois critérios (custo e disponibilidade), os dados gerados para caracterização dos mesmos foram obtidos através da revisão bibliográfica de *Delay Time* para componentes únicos e com o auxílio do SAD (Sistema de Apoio a Decisão). Nas seções a seguir serão apresentados os modelos que foram primordiais para o desenvolvimento da pesquisa, assim como, também, será apresentados as suas distinções.

3.1 Descrição do Modelo Electre TRI

Tendo em vista que uma das finalidades da manutenção de equipamentos em um sistema fabril consiste em aumentar a disponibilidade dos mesmos a custos aceitáveis, considerando que cada equipamento possui desempenhos variados, não sendo possível em situações distintas exercer a manutenção em todo o complexo fabril a não ser naqueles equipamentos mais críticos e significativos para o processo industrial. De acordo com o

exposto, a organização deve adotar estratégias adequadas de gerenciamento para garantir a funcionalidade do processo com a adoção correta da política de manutenção.

De acordo com Gomes *et al.* (2009) o processo de decisão consiste no conjunto de possíveis alternativas, associadas em sua forma, onde essas apresentam perdas ou ganhos. O ato de decisão é retratado na busca por informações, tornando-as significativas, para encontrar soluções validas e para depois finalmente realizar uma seleção das alternativas.

Ressaltando que o problema de estudo é caracterizado como sendo discreto, uma vez que as alternativas e os critérios abordados nesta pesquisa, possuem uma quantidade numérica finita, é plausível estabelecer e classificar os equipamentos críticos, caracterizados como sendo as alternativas, de acordo com os seus desempenhos, dentro de um conjunto de critérios definidos.

Sendo assim, essa classificação atribui as alternativas às classes ou categorias pré-determinadas, onde as alternativas são avaliadas diante um conjunto determinado de critérios, para fins comuns. A determinação das categorias são realizadas pelos limites.

Com o objetivo de demonstrar a aplicabilidade do método é apresentado na Figura 3.1 às etapas pertinentes para a simulação do ELECTRE TRI:

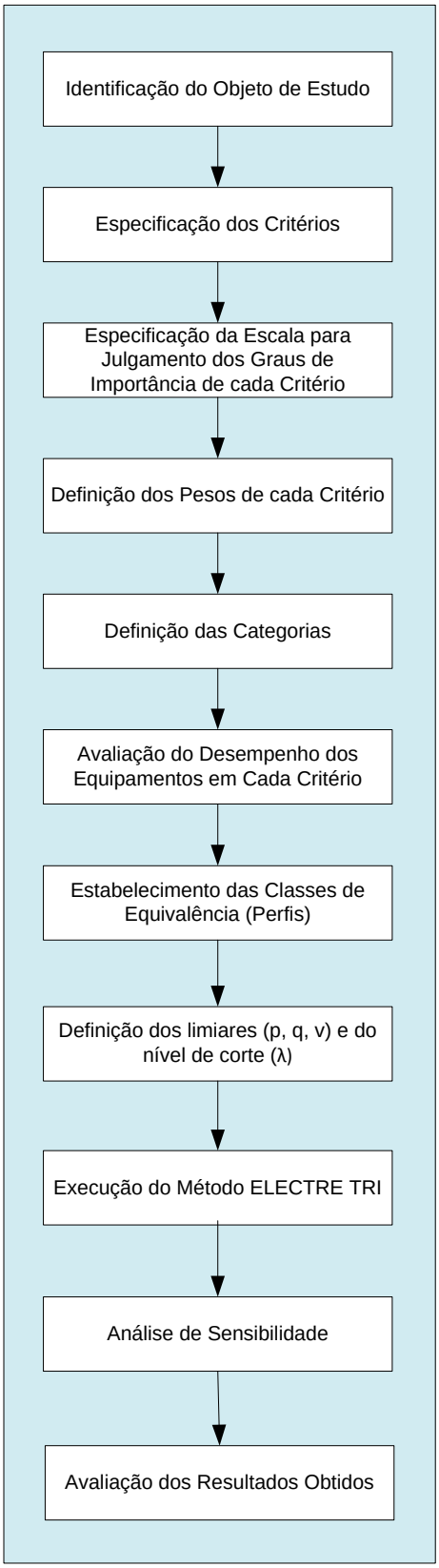


Figura 3.1 - Procedimento para aplicação do modelo ELECTRE TRI

Fonte: Esta pesquisa (2015).

De acordo com Belton e Stewart (2002) os problemas MCDA de classificação tem como característica principal a análise de decisões, onde essas devem ser direcionada ao desenvolvimento de um procedimento de avaliação, sendo utilizado como suporte para decisões futuras, para este estudo com respeito a classificação dos equipamentos críticos do processo. Os autores relatam a importância do sistema de avaliação como sendo aceitável e acessível que necessite implantá-lo, especificando como os equipamentos deverão ser avaliados com cada critério e agregados de forma geral.

Almeida (2011) descreve um procedimento para resolução do modelo de apoio a decisão, com as seguintes etapas: 1) Caracterização dos decisores; 2) Identificação dos objetivos; 3) Especificação dos critérios; 4) Especificação das alternativas; 5) Avaliação intra-critério; 6) Avaliação inter-critério; 7) Estabelecimento das classes de equivalência e dos perfis; 8) Seleção do método multicritério de apoio a decisão; 9) Definição dos limiares e do nível de corte (λ); 10) Análise de Sensibilidade.

Na seção a seguir são relatadas estas etapas conforme expostas por Almeida (2011) para especificar a aplicabilidade do modelo. É importante ressaltar que para aplicabilidade do modelo foram utilizados dados numéricos fictícios embasados com a revisão da literatura e com auxílio do SAD (Sistema de Apoio a Decisão) para o desenvolvimento da simulação do referido modelo.

3.1.1 Caracterização dos Decisores

Vale ressaltar que para aplicação desde modelo, o problema é caracterizado como tendo um único decisor e todas as avaliações foram executadas pelo mesmo.

A fase inicial de uma modelagem multicritério consiste na caracterização do decisor. Dessa forma, o decisor com o apoio do analista deverá avaliar os equipamentos conforme os critérios instituídos e sua classificação de modo a facilitar o processo decisório.

O decisor é aquele que indiretamente ou diretamente irá determinar a melhor escolha com base nas alternativas estabelecidas. Em muitos casos, grande parte das tomadas de decisões são determinadas por este indivíduo.

Após a classificação dos equipamentos, os mesmos deverão ser avaliados nos critérios definidos com o intuito de estabelecer aqueles considerados críticos ao processo, os que obtiverem as maiores notas nos critérios estabelecidos, farão parte das classes dos equipamentos mais críticos, podendo corroborar para um melhor planejamento na

manutenção. Ainda é necessário lembrar que, para este estudo os equipamentos utilizados, fazem parte de uma linha de massa alimentícia.

3.1.2 Identificação dos Objetivos

Esta fase consiste na identificação do objetivo de estudo, neste caso, quais os equipamentos (alternativas) que serão avaliados. Para esta pesquisa foram definidos 15 equipamentos de uma linha de massas alimentícias: $\{X_{01}, X_{02}, \ldots, X_{15}\}$.

Segundo Keeney (1992) a acuidade em uma decisão só incide através do alcance dos objetivos, visto que a escolha de uma tomada de decisão não acontece simplesmente através da identificação dos objetivos. É importante caracterizar, formar, investigar e compreender os objetivos, o que em muitos casos é algo bem difícil de fazer. O referido autor afirma, ainda, que a construção dos objetivos facilita o entendimento de decisão, fornecendo uma base sólida para aplicação de qualquer modelo de aspecto quantitativo.

É importante destacar que não houve a realização de entrevistas com o decisor, no entanto os dados que estruturam este trabalho, foram embasados através da revisão bibliográfica.

A Figura 3.2 demonstra a hierarquia dos objetivos para utilização do método ELECTRE TRI.

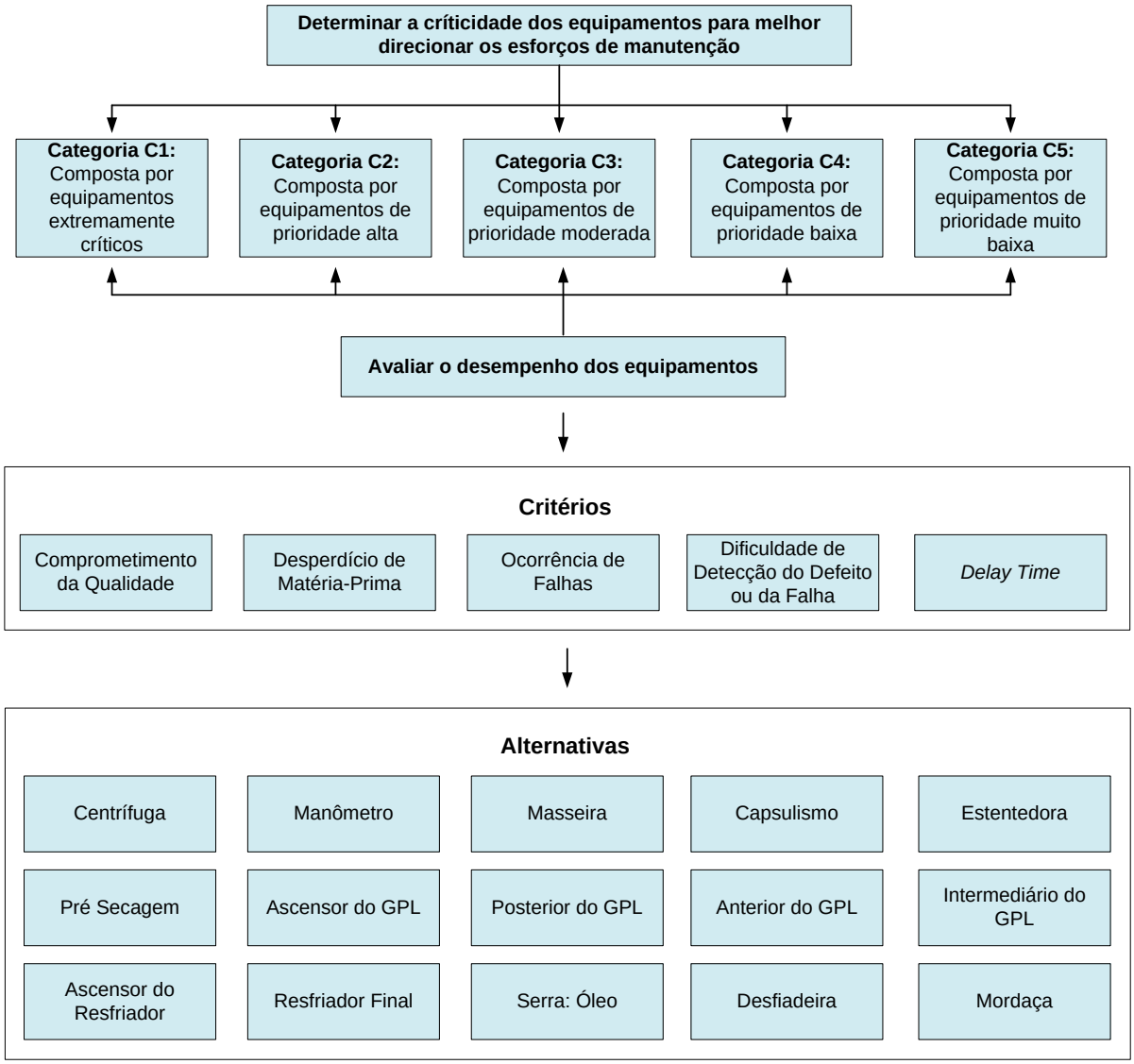


Figura 3.2 - Hierarquia dos objetivos para utilização do método ELECTRE TRI

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Através da Figura 3.2 é possível observar o principal objetivo para utilização do método ELECTRE TRI que é determinar a criticidade dos equipamentos da linha de massas alimentícia, para melhor direcionar os esforços de manutenção. Conforme o nível de criticidade apresentado, será possível avaliar o desempenho dos equipamentos ou alternativa, tornando-se possível classificar a qual categoria os equipamentos pertencem, conforme a avaliação em cada critério estabelecido.

3.1.3 Especificação dos Critérios

O critério versa em um instrumento usado para comparar as alternativas como meio para atingir um objetivo específico (GOMES *et al.* 2006).

"Um critério é uma função que reflete as preferências do decisor quanto a um atributo, no sentido de que, como toda função, pode indicar, por intermédio de um conjunto de regras, se um par de alternativas pertence ao conjunto dos pares indiferentes ou não comparáveis, ou ao conjunto em que a primeira alternativa é preferível à segunda" (GOMES *et al.* 1998).

Dessa forma para possibilitar a classificação para o problema de estudo, foram avaliados os critérios, os quais definem as características mais significativas. Os critérios utilizados nesta pesquisa foram: Comprometimento da Qualidade (g1); Desperdício de Matéria Prima (g2); Ocorrência de Falhas (g3); Dificuldade de Detecção do Defeito ou Falha (g4) e *Delay Time* (g5). Os respectivos critérios são descritos na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Grupo de Critérios utilizados no modelo

Critério	Descrição
Comprometimento da Qualidade (g1)	Refere-se a produzir o item de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos pela empresa. O pleno desempenho dos equipamentos irá proporcionar a fabricação de produtos com qualidade.
Desperdício de Matéria Prima (g2)	Refere-se à perda de capital resultante das falhas geradas durante o processo que ocasionou perda de matéria prima. Custos referentes as falhas humanas ou de maquinário.
Ocorrência de Falhas (g3)	Verificação das ocorrências de falhas dos equipamentos envolvidos.
Dificuldade de Detecção do Defeito ou Falha (g4)	Complexidade em encontrar um defeito ou falha (Colapso). Inicialmente quando ocorre um defeito, o mesmo pode não ficar visível ao operador ou responsável da manutenção.
***Delay Time* (g5)**	Representa o tempo que surgiu o defeito até o colapso do sistema. Equipamentos com *delay time* reduzido, apresentam tempos de reparo menores.

Fonte: Esta pesquisa (2015).

A definição de cada critério contribui para o alcance dos objetivos e, consequentemente, para a tomada de decisão, onde estes critérios são elaborados para a classificação dos equipamentos em níveis. Assim a descrição dos critérios ocorre por intermédio das escalas de avaliação dos mesmos, onde essa descrição é primordial para evitar interpretações incorretas. A caracterização dessas escalas é abordada na avaliação intra-critério.

3.1.4 Especificação das alternativas

Para Gomes *et al.* (1998) o decisor fica na presença de um conjunto de escolha ou conjunto de alternativas, que é denominado por A.

Como discutido anteriormente para este estudo, 15 alternativas foram consideradas para o problema de classificação, onde os mesmos foram avaliados conforme os critérios já definidos posteriormente. Sendo assim, foram classificados conforme seus desempenhos nos níveis que serão estabelecidos na seção 3.1.5.

As alternativas avaliados nesta pesquisa podem ser visualizados na Figura 3.3:

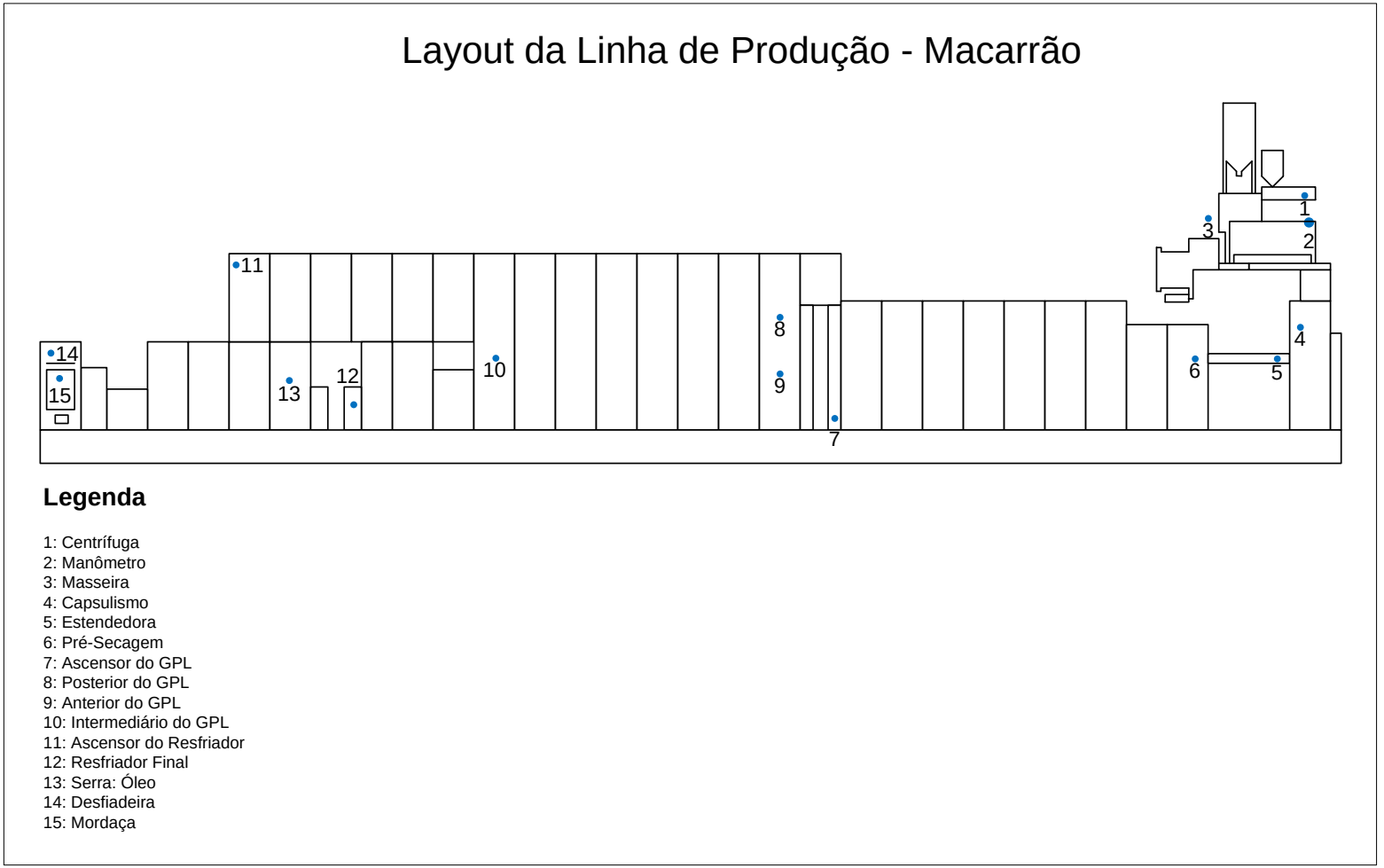


Figura 3.3 - Layout da linha de produção de massas alimentícias

Fonte: Esta pesquisa (2015).

3.1.5 Avaliação intra-critério

A avaliação intra-critério ocorre quando é preciso construir as preferências parciais em um critério específico (GOMES *et al.* 2009). Na avaliação intra-critério cada alternativa i é avaliada em cada critério j, levando a função $v_j(a_i)$ (ALMEIDA, 2013).

É importante destacar que os critérios deste estudo possui natureza qualitativa e quantitativa, sendo importante a elaboração de escalas para avaliar o desempenho de cada alternativa com cada critério. Dessa maneira, a escolha da escala é significativa para avaliar o julgamento do decisor garantindo a credibilidade do modelo utilizado.

Com o intuito de avaliar o desempenho dos equipamentos nos critérios definidos anteriormente, foi definida as escalas numéricas que variam de 1 a 5, onde o valor 5 representa o maior grau de importância, por apresentar um pior desempenho. Já o valor 1 representa o menor grau de importância, o que consiste em um melhor desempenho no critério avaliado. Para este estudo, o sentido da escala a ser utilizada, será do maior valor para o menos menor, ou seja, será avaliado as alternativas que apresentarem baixos desempenhos nos critérios estabelecidos. As escalas de julgamento para cada critério podem ver visualizadas nas Tabelas 3.2 a 3.6.

A Tabela 3.2 demonstra a escala para julgamento de valor no critério comprometimento da qualidade.

Tabela 3.2 – Escala para julgamento de valor referente ao critério comprometimento da qualidade

Caracterização	Descrição	Escala Numérica
Macarrão em Conformidade	Qualidade Muito Alta	1
Macarrão Caneado ou Colado	Qualidade Alta	2
Macarrão Trincado	Qualidade Moderada	3
Macarrão Seco ou Úmido	Qualidade Baixa	4
Macarrão Mole	Qualidade Muito Baixa	5

Fonte: Esta pesquisa (2015).

É possível observar na Tabela 3.2 que o critério compromisso da qualidade, consiste em fabricar o produto conforme os padrões de qualidade exigidos pela empresa e o desempenho apresentado pelo equipamento está diretamente ligado a qualidade do produto, que neste caso é o macarrão. Um desempenho muito alto será alcançado caso o macarrão seja produzido conforme as especificações de qualidade; Macarrão colado ou caneado apresenta um

desempenho alto sem afetar as especificações de qualidade; Macarrão trincado é produzido devido as variações da temperatura, causando trincas no produto, mais sem afetar os padrões e exigências; Já macarrão seco, úmido ou mole são fabricados por problemas causados ao longo da linha de produção, não havendo intervenção da manutenção dos equipamentos para correção dos mesmos.

A Tabela 3.3 demonstra a escala para julgamento de valor no critério perda de matéria prima.

Tabela 3.3 – Escala para julgamento de valor referente ao critério desperdício de matéria prima

Caracterização	**Descrição**	**Escala Numérica**
Perda de 0 a 200 kg dia	Desperdício Muito Baixo	1
Perda de 201 a 400 kg dia	Desperdício Baixo	2
Perda de 401 a 800 kg dia	Desperdício Moderado	3
Perda de 801 a 1000 kg dia	Desperdício Alto	4
Perda de mais de 1000 kg dia	Desperdício Muito Alto	5

Fonte: Esta pesquisa (2015).

A Tabela 3.3 caracteriza o desperdício de matéria prima que podem ser gerados na linha de produção que afetará diretamente o desempenho do sistema fabril. Uma perda de material que ocorre entre 0 a 200 kg por dia, representa uma perda pequena em relação a produção total desde dia, e neste caso apresenta um desempenho muito alto; Já uma perda de produção de mais 1000 kg ao dia, consiste em um desempenho muito baixo quando comparado a produção real. São diversas as causas de perda de matéria prima na linha de produção, dentre elas podem ser destacados: falha operacional, material contaminado por graxa das correias que movimentam o produto, material que cai ao longo da linha de produção, material não conforme aos padrões de qualidade, entre outros.

A Tabela 3.4 demonstra a escala para julgamento de valor no critério ocorrência de falhas.

Tabela 3.4 – Escala para julgamento de valor referente ao critério ocorrência de falhas

Caracterização	Descrição	Escala Numérica
Ocorrência de Falha Muito Baixa	Falhou de 0 a 2 vezes por dia	1
Ocorrência de Falha Baixa	Falhou de 3 a 5 vezes por dia	2
Ocorrência de Falha Moderada	Falhou de 6 a 8 vezes por dia	3
Ocorrência de Falha Alta	Falhou de 9 a 11 vezes por dia	4
Ocorrência de Falha Muito Alta	Falhou mais de 11 vezes por dia	5

Fonte: Esta pesquisa (2015).

O critério ocorrência de falhas, apresentado na Tabela 3.4 está relacionado a quantidade de falhas gerados no dia ao longo da linha de produção em todos os equipamentos envolvidos. Falhas muito frequentes, ou seja, com ocorrência maior que 11 vezes ao dia irá gerar um desempenho muito baixo, afetando a disponibilidade de operação da linha, gerando custos altos pela falta de produção, isto é, prejudicando a eficiência e eficácia do processo. A ocorrência de falhas de equipamento inferiores a 2 vezes ao dia, são vistos como ocorrências normais em um sistema de produção, e em muitos casos ocasionados pelo próprio operador sem afetar significativamente a eficiência do sistema, e neste caso o desempenho pode ser considerado muito alto.

A Tabela 3.5 demonstra a escala para julgamento de valor no critério dificuldade de detecção do defeito ou falha.

Tabela 3.5 – Escala para julgamento de valor referente ao critério dificuldade de detecção do defeito ou falha

Caracterização	Descrição	Escala Numérica
Muito Fácil	Detecção imediata, realizada por profissionais especializados e capacitados	1
Fácil	Detecção rápida, realizada por profissionais capacitados	2
Moderada	Detecção moderada, realizada por profissionais com pouca experiência	3
Difícil	Detecção difícil, realizada com profissionais com nenhuma experiência	4
Praticamente Impossível	Detecção impossível, realizada por indivíduos com nenhuma experiência e capacitação na área	5

Fonte: Esta pesquisa (2015).

A Tabela 3.5 trata do critério dificuldade em detectar um defeito ou falha. O equipamento muitas vezes pode está operando com defeito e este problema pode não ser facilmente identificado no processo. Tal problema pode ser identificado ao ser avaliado as especificações de qualidade do produto, gerando grandes prejuízos a organização. Por se tratar de uma linha de fabricação e esta é formada por vários equipamentos, quando ocorre um defeito ou falha, dependendo da complexidade do problema a detecção do mesmo pode ser praticamente impossível ou muito fácil. Neste caso é necessário que a equipe de manutenção seja formada por profissionais bem treinados para garantir que o defeito ou falha seja rapidamente detectada e corrigida.

A Tabela 3.6 demonstra a escala para julgamento de valor no critério *Delay Time*.

Tabela 3.6 – Escala para julgamento de valor referente ao critério Delay Time

Caracterização	**Descrição**	**Escala Numérica**
Delay Time Muito Alto	Delay Time de mais de 60 unidades de tempo	1
Delay Time Alto	Delay Time de 46 a 60 unidades de tempo	2
Delay Time Moderado	Delay Time de 31 a 45 unidades de tempo	3
Delay Time Baixo	Delay Time de 16 a 30 unidades de tempo	4
Delay Time Muito Baixo	Delay Time de 0 a 15 unidades de tempo	5

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Na Tabela 3.6 é apresentado o critério *Delay Time*, que consiste no tempo que surgiu o defeito até a falha do mesmo. A mensuração desse tempo é difícil e não se sabe ao certo, desde o surgimento do defeito quando o sistema irá entrar em modo de falha. Quanto maior o tempo de permanência do defeito, antes do surgimento da falha, maior será o tempo em que a equipe de manutenção terá para solucionar o problema antes do colapso do sistema.

De acordo com o exposto, a Tabela 3.7 representa a matriz de desempenho das alternativas com os critérios.

Tabela 3.7 – Matriz de desempenho das alternativas com os critérios

Matriz de Desempenho	**Critério**				
Tipo de Critério	**Min.**	**Min.**	**Min.**	**Min.**	**Máx.**
Alternativa	**(g1)**	**(g2)**	**(g3)**	**(g4)**	**(g5)**
X01 - Centrífuga	4	4	3	5	2
X02 - Manômetro	3	2	4	2	3
X03 - Masseira	5	5	4	4	4
X04 - Capsulismo	1	1	1	2	3
X05 - Estendedora	1	1	4	5	2
X06 - Pré Secagem	2	1	3	5	4
X07 - Ascensor do GPL	1	2	2	4	5
X08 - Posterior do GPL	2	1	1	1	2
X09 - Anterior do GPL	3	1	5	3	3
X10 - Intermediário do GPL	2	3	4	5	3
X11 - Ascensor do Resfriador	2	1	3	2	1
X12 - Resfriador Final	5	3	4	5	1
X13 - Serra - Óleo	3	4	3	2	1
X14 - Desfiadeira	1	1	3	2	4
X15 - Mordaça	4	3	2	4	2

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Na seção a 3.1.6 é demonstrado à avaliação inter-critério para definição dos pesos (ou graus de importância) para cada critério que foi estabelecido.

3.1.6 Avaliação inter-critério

A avaliação inter-critério é utilizada para caracterizar a significância de cada critério de acordo com as preferências estabelecidas pelos critérios, neste caso são atribuídos pesos para cada um, onde o critério mais importante apresenta o maior peso e o critério de menor importância possui o menor peso.

Para o decisor, em virtude das preferências adotadas, alguns critérios serão mais importantes se relacionados a outros, isto é, o grau de importância dos critérios para o decisor é classificado de peso ou ponderação (Gomes, *et al.* 1998).

A Tabela 3.8 descreve a atribuição dos pesos dada para cada critério.

Tabela 3.8 – Estabelecimentos dos pesos dos critérios

Critério	Peso
Comprometimento da Qualidade (g1)	0,30
Desperdício de Matéria Prima (g2)	0,26
Ocorrência de Falhas (g3)	0,19
Dificuldade de Detecção do Defeito ou Falha (g4)	0,15
Delay Time (g5)	0,10

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Conforme visualizado na Tabela 3.8, foi atribuído o maior peso ao critério comprometimento da qualidade (g1), uma vez que por se tratar de equipamentos utilizados para produção alimentícia, a qualidade é um fator primordial na fabricação do alimento, garantindo a saúde dos clientes que consumem o produto fabricado.

Neste caso, a adoção correta de uma política de manutenção garante uma produção com qualidade. Em seguida, o critério desperdício de matéria-prima (g2) apresentou o segundo maior peso, uma vez que, a manutenção deverá garantir a continuidade do processo, evitando paradas, perdas de matérias primas ou financeiras. Em ordem decrescente os critérios (g3, g4 e g5) receberam os menores pesos.

3.1.7 Estabelecimento das classes de equivalência e dos perfis

A problemática de classificação é utilizada com a finalidade de classificar os equipamentos (alternativas) em categorias, definidas por limites superiores e inferiores, onde a alocação das alternativas serão determinadas por estes limites, denominando assim a qual categoria pertencem.

Para este estudo foram definidos cinco categorias, onde as mesmas foram ordenadas conforme o grau de importância para o planejamento e aplicação de medidas de manutenção. A Figura 3.4 descreve as etapas de classificação das alternativas.

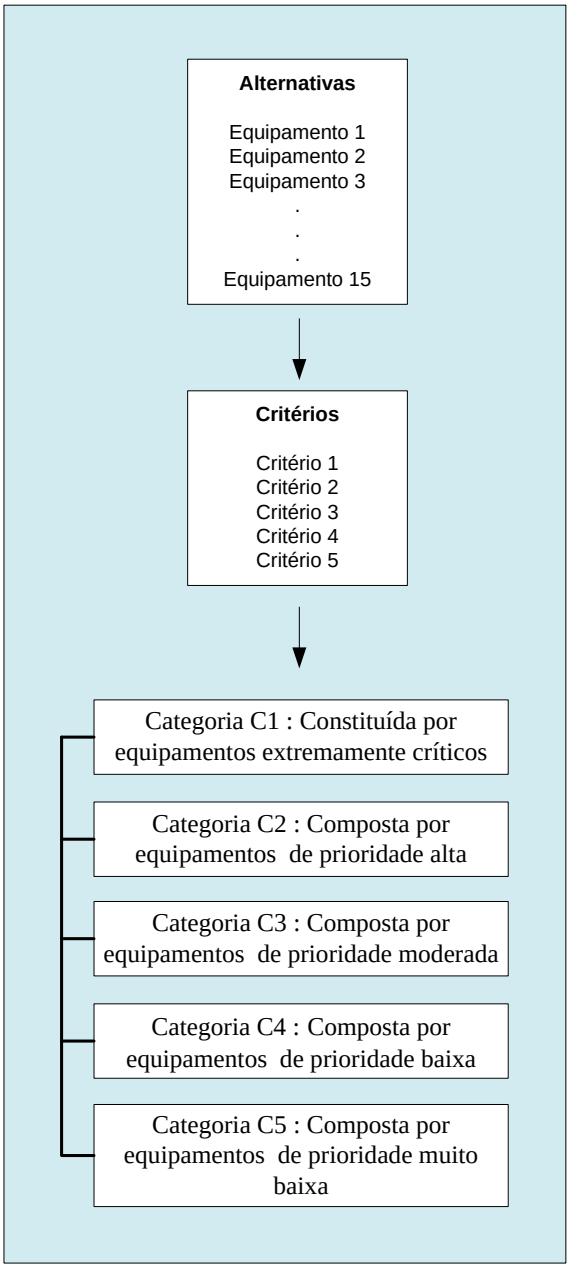


Figura 3.4 - Etapas de classificação das alternativas

Fonte: Esta pesquisa (2015).

É possível observar na Figura 3.4 que o conjunto de alternativas são formados pelos equipamentos $\{x_1, x_2, x_3, \ldots, x_{15}\}$, sendo os mesmos avaliados pelos critérios $\{g_1, g_2, g_3, g_4, g_5\}$, e conforme o desempenho obtido pelos mesmos critérios, as alternativas devem se enquadrar em uma das cinco categorias $\{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$, conforme descrito na Tabela 3.9 a seguir.

Dessa forma, a Tabela 3.9 descreve as categorias consideradas para esta pesquisa.

Tabela 3.9 – Estabelecimentos das Categorias

Categoria	Descrição
Categoria C_1: Constituída por equipamentos extremamente críticos	A ocorrência de falhas nesses equipamentos poderá gerar prejuízos significativos para a empresa. Geralmente o equipamento está trabalhando fora das especificações determinadas de operação, produzindo itens não conformes, e caso não ocorra uma intervenção da manutenção para correção dos defeitos, o equipamentos pode entrar em colapso e grandes custos serão necessários para colocar o equipamento em operação.
Categoria C_2: Composta por equipamentos de prioridade alta	O equipamento trabalha normalmente até um certo ponto não muito distante do surgimento de uma falha. Antes da falha o equipamento opera fora dos padrões de qualidade, podendo produzir bens sem qualidade e degradando os componentes do equipamento com o passar do tempo.
Categoria C_3: Composta por equipamentos de prioridade moderada	O equipamento permanece operante por um período maior quando comparado com os equipamentos enquadrados dentro das categorias C_1 e C_2. Porém, sendo necessária uma intervenção a médio prazo. O equipamento pode produzir itens com falha, onde os mesmos poderão ser reprocessados depois para devidas correções.
Categoria C_4: Composta por equipamentos de prioridade baixa	Esta categoria é formada com equipamentos onde um defeito não acarretará danos significativos a médio ou curto prazo. O equipamento permanecerá operante por um tempo maior, sem afetar o processo. Ex: Vazamento de Óleo.
Categoria C_5: Composta por equipamentos de prioridade muito baixa	Manutenção de certa forma negligenciada. Formada por equipamentos que não oferecem ameaça de falha a longo prazo, desde o surgimento do primeiro defeito.

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Como medida para determinar a qual categoria cada alternativa pertence, é necessário a determinação dos perfis que delimitem cada alternativa, onde o desempenho das alternativas serão confrontados com os perfis estabelecidos.

A Tabela 3.10 descreve as categorias estabelecidas anteriormente e seus limites.

Tabela 3.10 – Categorias e seus limites

Categorias	Limite Superior	Limite Inferior
$\mathbf{C_1}$	5,0	4,5
$\mathbf{C_2}$	4,5	3.5
$\mathbf{C_3}$	3,5	2,5
$\mathbf{C_4}$	2,5	1.5
$\mathbf{C_5}$	1.5	1,0

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Conforme os dados apresentados na Tabela 3.10 os equipamentos classificados dentro da categoria C_1 farão parte daqueles considerados extremamente críticos ao processo, sendo atribuído neste caso maiores investimentos financeiros para pleno funcionamento dos mesmos.

Por outro lado, já aqueles equipamentos enquadrados da categoria C_5 serão denominados ou compostos por equipamentos de prioridade muita baixa, não sendo necessário investimentos financeiros de manutenção a longo prazo.

A classificação dos equipamentos nas categorias descritas possibilita uma melhor estratégia de manutenção, garantindo investimentos emergenciais naqueles equipamentos considerados realmente críticos ao processo, evitando desperdícios financeiros, materiais, tempo, pessoal, dentre outros, naqueles considerados não críticos ao sistema. Esta classificação dos equipamentos possibilitará o correto direcionamento dos esforços da manutenção no que é realmente necessário, aumentando a eficiência e eficácia da manutenção prestada.

3.1.8 Modelo multicritério de apoio a decisão adotado para classificação dos equipamentos

A escolha de um método multicritério para modelagem de um problema, passa por uma série e considerações, conforme exposto por Almeida (2013) durante a análise do processo de decisão, diversos métodos podem ser aplicados. Todavia, na medida que a modelagem se desenvolve, ocorre uma filtragem das possibilidades de modelos que poderão ser utilizados, sob a ótica de elementos diversos, tais como: utilização de limiares, estrutura de preferência, entre outros.

Para esta etapa da pesquisa, foi utilizado o método ELECTRE TRI para modelar a classificação dos equipamentos conforme a criticidade apresentada pelos mesmos em categorias já estabelecidas nesta pesquisa.

A seleção do método ELECTRE TRI para a classificação dos equipamentos foi estabelecida conforme algumas premissas, servindo para fazer uma filtragem dos diversos métodos que existem. As premissas utilizadas para seleção do método abordado foram:

- O método abordado utiliza critérios quantitativos e qualitativos o que gera relações conflitantes;
- Segundo (Yu e Roy, 1992, e Maystre *et al.* 1994) deve-se utilizar as seguintes relações finais de preferência para tornar o modelo mais próximo da realidade: Preferência (>) e Incomparabilidade (R);
- É necessário que se tenha a ordenação das alternativas nas categorias, ou seja, o equipamento com o maior valor nos critérios estabelecidos será classificado na categoria mais critica, já aqueles equipamentos dotados de menores valores, farão parte da categoria inferior e neste caso a manutenção pode ser de certa forma negligenciada;
- Os critérios utilizados devem apresentar desempenhos equilibrados, ou seja, um desempenho fraco em um critério não deve ser compensado por um bom desempenho em outro critério. Em outras palavras, não existe compensação entre critérios;
- O modelo deve apresentar os julgamentos do decisor.

Na seção 2.5.5.1.1 a metodologia e as principais características referentes ao modelo ELECTRE TRI foram descritas com maiores detalhes.

3.1.9 Definição dos limiares e do nível de corte (λ)

De acordo com Yu e Roy (1992) devem ser conhecidos os limites de indiferença $q_i(b_i)$, de preferência $p_i(b_i)$ e de veto $v_i(b_i)$ para cada critério i. O nível de corte (λ) situado no intervalo [0,5 e 1], representa o menor valor do grau de credibilidade, $\sigma_s(a, b)$, onde podemos afirmar que *a* supera *b*. Maiores detalhes estão descritos na seção 2.5.5.1.1.

Para este estudo foi adotado limiares de indiferença *(q) = 0* e de preferência *(p) = 0* para todos os critérios estabelecidos mediante a estruturação dos critérios e conforme a utilização de uma escala de julgamento discreta com valores inteiros, o que aumenta as possibilidades de

realizar uma avaliação mais precisa do desempenho das alternativas com seus respectivos critérios.

Optou-se por não utilizar os limiares de veto. Nesta pesquisa foi determinado que não seria necessário a aplicação do modelo de Mousseau e Slovinshi (1998), uma vez que o decisor é capaz de determinar todos os parâmetros pertinentes para a utilização do método ELECTRE TRI.

3.1.10 Análise de Sensibilidade

Tem por finalidade verificar os impactos gerados no modelo ao variar os parâmetros, verificando os resultados obtidos com essas mudanças. Assim a análise de sensibilidade pode verificar a robustez do modelo, além de verificar a sensibilidade dos dados para o decisor.

Almeida (2013) relata que a referida análise contribui para revisão de certos parâmetros, uma vez que o decisor estiver convicto dos parâmetros estabelecidos, caso aconteça variação nos resultados, pode proceder com a decisão estabelecida, se ocorrer o inverso, o decisor deve verificar os dados.

Os parâmetros que podem ser alterados para que ocorra a análise de sensibilidade para este estudo são os limiares de preferência, indiferença, veto e os níveis de corte (λ). Segundo GOMES *et al.* (1998), "Para valores de λ mais elevados, os quais caracterizam as decisões em que se procuram minimizar as diferenças de incertezas, a ocorrência da relação de incomparabilidade entre alternativas poderia ser mais freqüente, mantendo-se inalteradas todas as outras condições do problema". Ainda, segundo o referido autor, escolhendo-se um valor menor de λ, havendo um nível de exigência menor se comparado as incertezas, haveria um aumento nas ocorrência das relações de indiferença.

3.1.11 Vantagens e Desvantagens do Método ELECTRE TRI

Uma das vantagens na utilização do método ELECTRE TRI é que o mesmo trata com critérios quantitativos e qualitativos, onde através dos limiares de preferência, indiferença e de veto é possível observar a imprecisão dos julgamentos do decisor, sendo possível através do aumento ou redução do nível de corte realizar a classificação das alternativas através de um modo pessimista ou otimista.

O método apresenta também uma desvantagem com relação a aplicabilidade numérica, onde não pode ter uma aplicação generalizada pelo fato que esta pesquisa adotou dados que

foram gerados em *software* e através da revisão bibliográfica, diante disso, é notório que esses pontos não represente a realidade.

O aperfeiçoamento do modelo poderia ocorrer através de uma aplicação prática, diretamente com o decisor, sendo possível determinar de uma maneira mais adequada os objetivos, as consequências, os valores e as restrições referentes à decisão.

Na seção 4.1 é realizada a aplicação numérica do método, onde os dados foram gerados com o auxílio do *software* ELECTRE TRI e através da revisão literária do método.

3.2. Modelo *Delay Time* para um único componente

Na seção 4.2.1 são descritos os parâmetros adotados para as distribuições e através da aplicação numérica das fórmulas para um único componente, será possível determinar os critérios custos e disponibilidade para cada alternativa de tempo.

3.3. Modelo PROMETHEE II

Segundo GOMES *et al.* (1998), "O método Promethee II tem por objetivo a resolução de problemas do tipo Pγ, obtendo como resultado final uma pré-ordem completa".

Para Brans & Mareschal (2005), os métodos da família PROMETHEE possuem dois graus de liberdade, sendo necessário determinar a estrutura de preferência, os limiares e os pesos. Ainda segundo os mesmos autores esses métodos possuem duas principais fases: a primeira que consiste na determinação das relações de sobreclassificação e uma segunda fase que consiste na exploração dessas relações.

Como o método adotado para esta pesquisa é o PROMETHEE II, o ranqueamento das alternativas é realizado com base no conceito do fluxo líquido Φ (a), onde quanto maior o ranque da alternativa, melhor este será para o decisor. Por esta razão a utilização de um método de apoio a decisão multicritério corrobora ao decisor a tomar a melhor decisão entre as alternativas, que em muitas situações são conflitantes entre si.

3.3.1 Determinação das alternativas

Uma alternativa de decisão consiste do ato de alcançar determinados objetivos para o decisor. Para Gomes *et. al* (2006), o decisor tem que saber identificar as desvantagens, vantagens e os riscos que as alternativas apresentam, para auxiliar na escolha da melhor resolução do problema abordado. Para esta pesquisa foram adotadas vinte alternativas de tempo, onde as mesmas serão submetidas a uma avaliação para determinar a alternativa ideal

que represente o melhor período de tempo em que as inspeções devem ser realizadas através da aplicação numérica do modelo.

3.3.2 Determinação dos critérios

Para a escolha da melhor alternativa, o decisor deve definir critérios, onde será realizado um estudo de decisão com relação a melhor alternativa a ser utilizada. Para a determinação dos critérios foram considerados dois: custo e disponibilidade. Na manutenção de máquinas industriais é fundamental garantir uma maior disponibilidade a um determinado custo, sem que este último venha a comprometer financeiramente a organização. A definição dos critérios corretos é fundamental para eficácia e eficiência do método. Na Tabela 3.11 são demonstrados os critérios adotados neste estudo.

Tabela 3.11 – Descrição dos critérios custo e disponibilidade

Critério	**Descrição**
Custo C (T)	Corresponde ao valor monetário investido para manutenção do equipamento, tais como: troca de componentes e peças, mão de obra, etc.
Disponibilidade A (T)	Corresponde na realização da manutenção do equipamento para garantir a máxima permanência do mesmo em operação, evitando problemas de atraso de processo no sistema produtivo.

Fonte: Esta pesquisa (2015).

3.3.3 Definição dos pesos de cada critério

Nesta etapa, define-se os pesos de cada critério conforme as preferências do decisor, dessa forma é realizado uma avaliação dos pesos, representando a importância de cada critério de acordo com o objetivo a ser alcançado. Antes de determinar os pesos para cada critério, o decisor deve compreender como os critérios devem ser avaliados de acordo com a importância de cada um.

Deve ser claramente definido pelo decisor a importância que o critério representa em relação aos outros, assim, o peso representa uma medida de importância relativa entre os critérios.

3.3.4 Avaliação das alternativas com os critérios

Para esta pesquisa as alternativas de tempo são avaliadas com base nos critérios custo e disponibilidade. A escolha da melhor alternativa deve ser realizada para proporcionar a maior disponibilidade de máquina possível com um custo aceitável, sem gerar custos desnecessários ao sistema fabril.

3.3.5 Avaliação das funções de preferência

A etapa de escolha das funções de preferência, consiste do processo em que o decisor deve apresentar conhecimento sobre os critérios. Determinadas funções exigem que o decisor estabeleça os limiares de preferência e indiferença de uma alternativa em relação a outra, e os parâmetro p e q. Além disso, o decisor deve escolher uma das seis funções recomendadas pelo PROMETHEE, que são apresentados na Tabela 2.10 na seção 2.5.5.2 desta pesquisa.

3.3.6 Matriz de Avaliação

A próxima etapa consiste na construção de uma matriz de avaliação das alternativas de preferência relacionadas com um critério específico, sendo necessário neste caso a definição de uma função de preferência $F_j(a,b)$ que específica a preferência de uma alternativa *a* em relação a alternativa *b* com um critério *j*.

Uma vez determinado os dados das funções de preferência e estabelecidos os pesos de cada critério é determinado o índice de preferência π *(a, b)* que representa o grau de sobreclassificação da alternativa *a* em relação a alternativa *b*.

O próximo passo consiste em determinar os fluxos positivos $Q^+(a)$, que notifica o quanto uma alternativa *a* sobreclassifica as outras alternativas e o fluxo negativo $Q^-(a)$, que diz o quanto uma alternativa *a* é sobreclassificada em relação as outras alternativas.

Determinado os fluxos positivos e negativos, é possível obter o fluxo líquido de cada alternativa, através da diferença entre ambos. Para evitar incomparabilidade das alternativas é realizado a ordenação completa das mesmas através do método PROMETHEE II.

Na seção 4.2.2 foi abordada a aplicação numérica do método PROMETHEE II onde os resultados do mesmo foram obtidos com auxílio de um *software*.

3.4. Considerações do Capítulo

O referido capítulo apresentou os dois modelos que compõe esta pesquisa, descrevendo os procedimentos adotados para simulação dos mesmos. Ambos os modelos com aplicação fictícia em uma linha de massas alimentícia.

O primeiro modelo proposto que consiste da aplicação do ELECTRE TRI foi utilizado para classificar os equipamentos da linha de massas de acordo com sua criticidade. O objetivo neste primeiro método, foi de classificar o equipamento mais crítico nos critérios estabelecidos com os menores desempenhos.

Classificado o equipamento mais crítico através do ELECTRE TRI, o modelo PROMETHEE II, foi aplicado para determinar períodos de inspeções com base nas alternativas de tempo submetidas à avaliação e os critérios envolvidos.

4 APLICAÇÃO NUMÉRICA DOS MODELOS

Na seção 3.1 foram detalhados todos os parâmetros e dados pertinentes, tornando-se possível a aplicação numérica do modelo ELECTRE TRI na seção 4.1. Nas seções 4.2.1 e 4.2.2 serão apresentados além dos parâmetros e dados para as aplicações numéricas dos modelos *Delay Time* e PROMETHEE II, os seus resultados obtidos, assim como, a explicação detalhada para obtenção dos mesmos.

4.1. Aplicação Numérica do Método ELECTRE TRI

Nesta seção será demonstrada a aplicação do método ELECTRE TRI, onde o mesmo foi elaborado com o auxílio do *software* ELECTRE TRI (versão 2.0), disponibilizado no site da LAMSADE - CNRS UMR 7243 - *Université Paris Dauphine*.

Como já relatado na referida pesquisa, o nível de corte (λ) pode apresentar qualquer valor no intervalo de 0,5 a 1,0. Sendo assim, foram determinado diversos valores de nível de corte (λ), onde esses variavam dentro dessa faixa com o intuito de realizar uma análise de sensibilidade para demonstrar o comportamento dos resultados obtidos.

Como maneira de constatar a estabilidade do modelo e verificar a sensibilidade dos parâmetros adotados pelo decisor. Essa análise é realizada com vários níveis de corte (λ) com valores de (0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) e por fim o parâmetro utilizado para este estudo que foi λ = 0,54. A análise de sensibilidade é necessária devido os resultados que se apresentam de maneira variada e se referem aos limiares de preferência, indiferença, de veto, o nível de corte e tendo em vista que os limiares foram estabelecidos como igual a zero para esta aplicação numérica.

Primeiramente foi adotado um nível de corte λ = 0,5 onde foi possível obter o resultado apresentado na Figura 4.1.

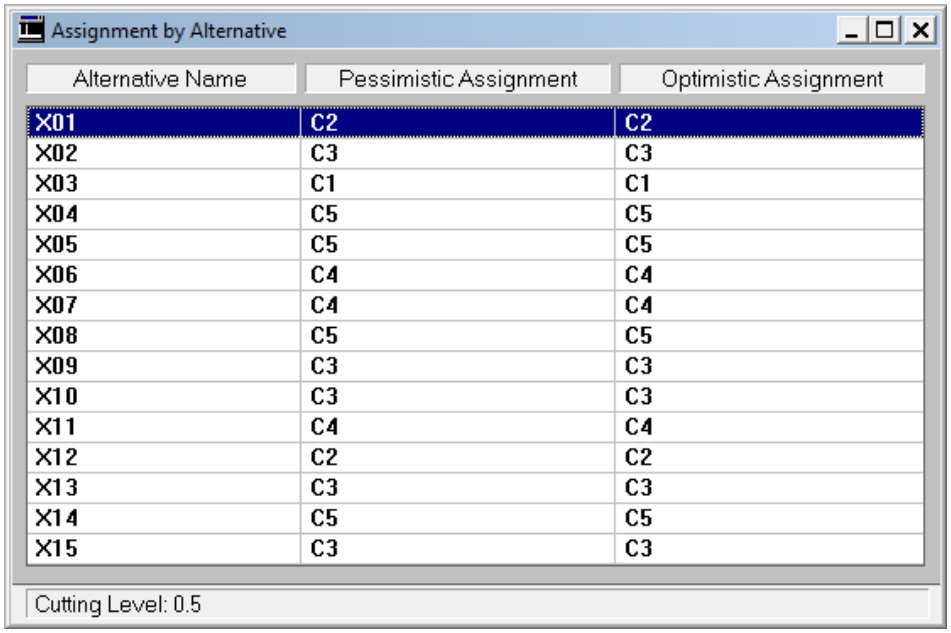


Figura 4.1 – Resultado da aplicação do método ELECTRE TRI para λ = 0,5

Fonte: Esta pesquisa (2015).

É possível observar na Figura 4.1 que todas as alternativas (equipamentos) avaliadas estão enquadradas em uma das cinco categorias que foram estabelecidas. Onde a alternativa X03 pertence à categoria constituída por equipamentos extremamente críticos (C1); as alternativas (X01 e X012) pertencem à categoria composta por equipamentos de prioridade alta (C2); as alternativas (X02, X09, X10, X13 e X15) foram enquadradas dentro da categoria (C3) que é formada por equipamentos de prioridade moderada; os equipamentos ou alternativas (X06, X07 e X11) pertencem a categoria (C4) formada por equipamentos de prioridade baixa e por último os equipamentos que fazem parte daqueles de prioridade muito baixa e pertencentes a categoria (C5) foram os equipamentos (X04, X05, X08 e X14).

Diante do resultado obtido, foi possível fazer uma demonstração na Figura 4.2 da verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil, resultando nas seguintes relações: Preferência Estrita (>) e Preferência Fraca (<).

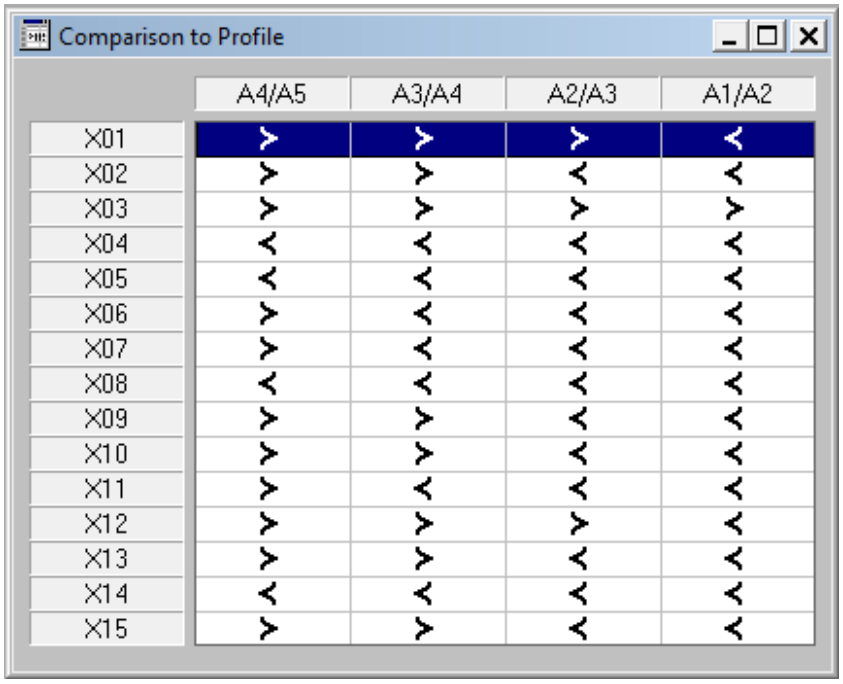


Figura 4.2 – Verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil com λ = 0,5

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Na Figura 4.2 é possível observar que o desempenho dos equipamentos é comparado com os perfis que delimitam as categorias, desta maneira na Figura 4.1 duas classificações foram estudadas: Pessimista e Otimista. Com um nível de corte de λ = 0,5 representa um índice de credibilidade baixo na atribuição das alternativas as classes.

Para o nível de corte adotado todas as alternativas analisadas apresentaram convergência. Não foi verificado nenhuma divergência nas atribuições pessimista e otimista das alternativas. Caso tivesse ocorrido alguma divergência nas comparações, seria possível verificar que o decisor adotasse uma atribuição pessimista, sendo mais rigoroso ou otimista se fosse mais flexível. Vale ressaltar que não houveram relações de incomparabilidade na comparação com os perfis das categorias, devido o nível de corte ser pouco exigente.

Como maneira de facilitar a visualização das alternativas as categorias estabelecidas, para o nível de corte de λ = 0,5 a Figura 4.3 representa a alocação pessimista e otimista.

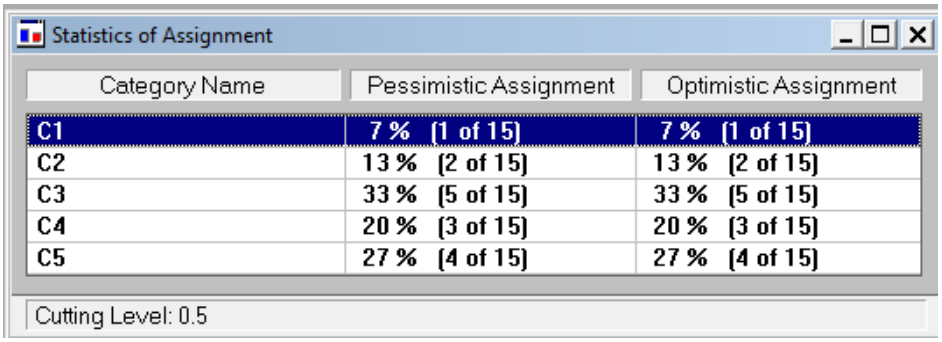


Figura 4.3 – Alocação pessimista e otimista com λ = 0,5

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Como é possível observar na Figura 4.3 de todos os equipamentos avaliados 33% pertencem a categoria (C3), totalizando 5 equipamentos; 27% pertencem a categoria (C5), totalizando 4 equipamentos; 20% pertencem a categoria (C4), totalizando 3 equipamentos; 13% pertencem a categoria (C2), totalizando 2 equipamentos e por fim 7% dos equipamentos pertencem a categoria (C1), representando 1 equipamento presente nesta categoria.

Para um nível de corte λ = 0,6 o resultado pode ser visualizado na Figura 4.4.

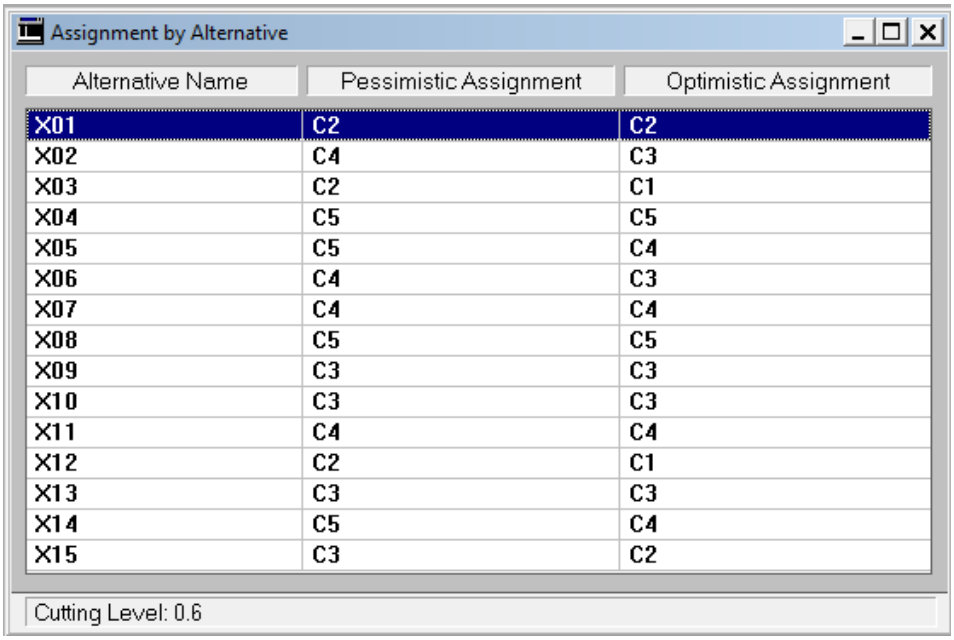


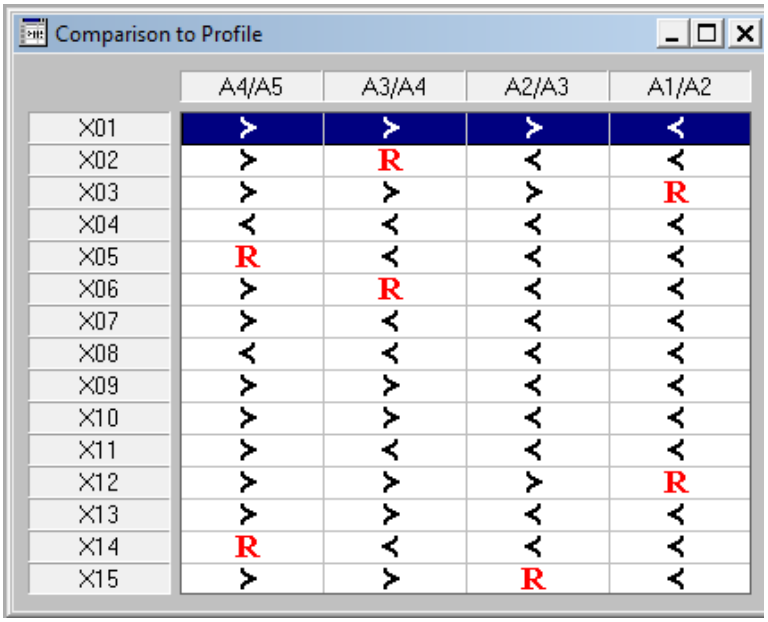
Figura 4.4 – Resultado da aplicação do método ELECTRE TRI para λ = 0,6

Fonte: Esta pesquisa (2015).

É possível observar na Figura 4.4 na alocação pessimista, que nem todas as alternativas avaliadas estão enquadradas em uma das cinco categorias que foram estabelecidas.

Para um nível de corte de λ = 0,6 nenhum equipamento pertence à categoria constituída por equipamentos extremamente críticos (C1); as alternativas (X01, X03 e X12) pertencem à categoria composta por equipamentos de prioridade alta (C2); as alternativas (X09, X10, X13 e X15) foram enquadradas dentro da categoria (C3) que é formada por equipamentos de prioridade moderada; os equipamentos ou alternativas (X02, X06, X07 e X11) pertencem a categoria (C4) formada por equipamentos de prioridade baixa e por último os equipamentos que fazem parte daqueles de prioridade muito baixa e pertencentes a categoria (C5) foram os equipamentos (X04, X05, X08 e X14).

Diante do resultado obtido, foi possível fazer uma demonstração na Figura 4.5 da verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil, resultando nas seguintes relações: Preferência Estrita (>), Preferência Fraca (<) e Incomparabilidade (R).



	A4/A5	A3/A4	A2/A3	A1/A2
X01	>	>	>	<
X02	>	R	<	<
X03	>	>	>	R
X04	<	<	<	<
X05	R	<	<	<
X06	>	R	<	<
X07	>	<	<	<
X08	<	<	<	<
X09	>	>	<	<
X10	>	>	<	<
X11	>	<	<	<
X12	>	>	>	R
X13	>	>	<	<
X14	R	<	<	<
X15	>	>	R	<

Figura 4.5 – Verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil com λ = 0,6

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Na Figura 4.5 é possível notar que o desempenho dos equipamentos é comparado com os perfis que delimitam as categorias. Assim o nível de corte de λ = 0,6 representa um índice de credibilidade um pouco maior se comparado com o nível de corte adotado anteriormente.

De acordo com o exposto, para o nível de corte adotado as alternativas (X01, X04, X07, X08, X09, X10, X11 e X13) analisadas apresentaram convergência. Já para as alternativas (X02, X03, X05, X06, X12, X14 e X15) apresentaram divergência nas atribuições pessimista e otimista.

Foi possível notar que algumas alternativas apresentaram incomparabilidade na comparação dos perfis das categorias. As alternativas com incomparabilidade foram (X02, X03, X05, X06, X12, X14 e X15).

As relações de incomparabilidade pode corroborar em: 1 - Com dados insuficientes o decisor não é capaz de realizar a decisão; 2 - O decisor não consegue realizar a decisão, não sendo possível determinar suas preferências devido sua ausência; 3 - O decisor não quer realizar a decisão, devido a demora ou custo elevado da informação.

Dessa maneira, em estudos aplicados, baseados na experiência, os mesmos devem ser revistos e verificado os casos de incomparabilidade e caso necessário deve ocorrer a revisão dos parâmetros utilizados.

Como modo de facilitar a visualização das alternativas as categorias estabelecidas, para o nível de corte de $\lambda = 0{,}6$ a Figura 4.6 representa a alocação pessimista e otimista.

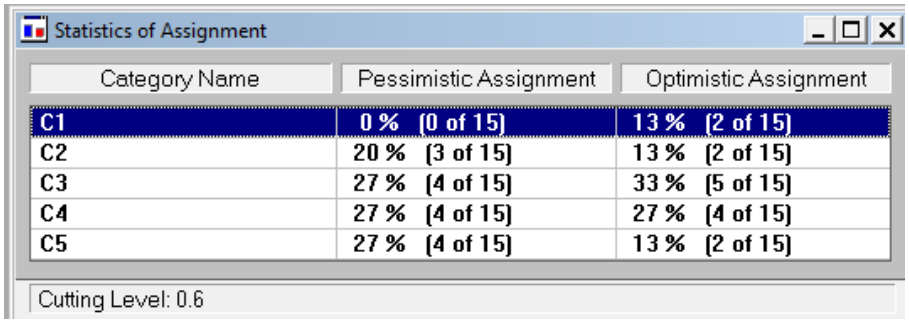


Figura 4.6 – Alocação pessimista e otimista com $\lambda = 0{,}6$

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Como é possível observar na Figura 4.6 de todos os equipamentos avaliados na alocação pessimista: 20% das alternativas (C2), totalizando 3 equipamentos; cerca de 80 % dos equipamentos pertencem as respectivas categorias (C3, C4 e C5), totalizando 12 equipamentos presentes nessas 3 categorias; e nenhum equipamento pertence a categoria (C1). Já para a alocação otimista: 33% das alternativas se enquadram na categoria (C3), totalizando 5 equipamentos; 27% pertencem a categoria (C4), totalizando 4 equipamentos presentes nesta categoria e 39% dos equipamentos estão presentes respectivamente nas categorias (C1, C2 e C5), totalizando 6 equipamentos nas respectivas categorias.

Para um nível de corte $\lambda = 0{,}7$ o resultado obtido pode ser visualizado na Figura 4.7.

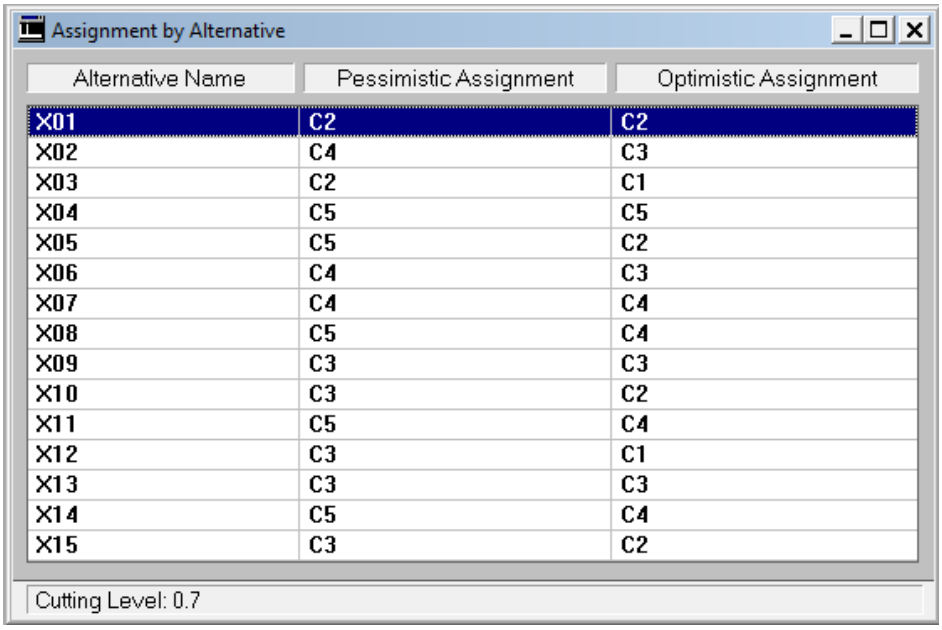


Figura 4.7 – Resultado da aplicação do método ELECTRE TRI para λ = 0,7

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Para alocação pessimista é possível observar na Figura 4.7 que nem todas as alternativas avaliadas estão enquadradas em uma das cinco categorias que foram estabelecidas. Para um nível de corte de λ = 0,7 nenhum equipamento pertence a categoria constituída por equipamentos extremamente críticos (C1), fato que se repetiu para o nível de corte com λ = 0,6; as alternativas (X01 e X03) pertencem a categoria composta por equipamentos de prioridade alta (C2); as alternativas (X09, X10, X12, X13 e X15) foram enquadradas dentro da categoria (C3) que é formada por equipamentos de prioridade moderada; os equipamentos ou alternativas (X02, X06 e X07) pertencem a categoria (C4) formada por equipamentos de prioridade baixa e por último os equipamentos que fazem parte daqueles de prioridade muito baixa e pertencentes a categoria (C5) foram os equipamentos (X04, X05, X08, X11 e X14).

Diante do resultado obtido foi possível fazer uma demonstração na Figura 4.8 da verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil, resultando nas seguintes relações: Preferência Estrita (>), Preferência Fraca (<) e Incomparabilidade (R).

Comparison to Profile

	A4/A5	A3/A4	A2/A3	A1/A2
X01	>	>	>	<
X02	>	R	<	<
X03	>	>	>	R
X04	<	<	<	<
X05	R	R	R	<
X06	>	R	<	<
X07	>	<	<	<
X08	R	<	<	<
X09	>	>	<	<
X10	>	>	R	<
X11	R	<	<	<
X12	>	>	R	R
X13	>	>	<	<
X14	R	<	<	<
X15	>	>	R	<

Figura 4.8 – Verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil com λ = 0,7

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Na Figura 4.8 é possível observar que o desempenho dos equipamentos é comparado com os perfis que delimitam as categorias. Assim o nível de corte de λ = 0,7 representa um índice de credibilidade moderado. Para o nível de corte adotado as alternativas (X01, X04, X07, X09 e X13) analisadas apresentaram convergência. Já para as alternativas (X02, X03, X05, X06, X08, X10, X11, X12, X14 e X15) apresentaram divergência nas atribuições pessimista e otimista.

É notório o aumento das relações de incomparabilidade na comparação dos perfis das categorias, na medida que se aumenta o valor do nível de corte, caracterizando neste caso um aumento da dificuldade em estabelecer os julgamentos do decisor. As alternativas com incomparabilidade foram (X02, X03, X05, X06, X08, X10, X11, X12, X14 e X15). Como maneira de facilitar à visualização das alternativas as categorias estabelecidas, para o nível de corte de λ = 0,7 a Figura 4.9 representa a alocação pessimista e otimista.

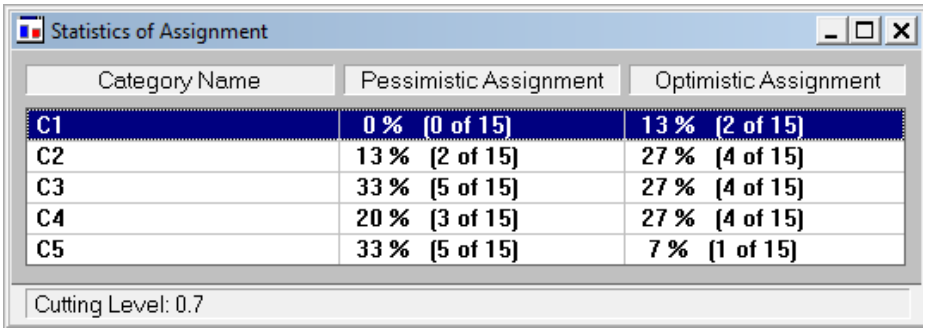


Figura 4.9 – Alocação pessimista e otimista com λ = 0,7

Fonte: Esta pesquisa (2015).

É possível analisar na Figura 4.9 que em todos os equipamentos avaliados na alocação pessimista: 33% das alternativas pertencem a categoria (C3), totalizando 5 equipamentos; 33% das alternativas pertencem a categoria (C5), totalizando 5 equipamentos; 20% das alternativas pertencem a categoria (C4), totalizando 3 equipamentos; 13% das alternativas pertencem a categoria (C2), totalizando 2 equipamentos pertencentes a esta categoria e que nenhum equipamento foi classificado para a categoria (C1).

Já para a alocação otimista: 27% das alternativas se enquadram na categoria (C2), totalizando 4 equipamentos; 27% pertencem a categoria (C3), totalizando 4 equipamentos presentes nesta categoria; 27% das alternativas se enquadram na categoria (C4), totalizando 4 equipamentos; 13% das alternativas se enquadram na categoria (C1), totalizando 2 equipamentos; e representando 7% das alternativas, 1 equipamento está presente na categoria (C5).

Para um nível de corte $\lambda = 0,8$ foi possível observar que houve mais uma vez o aumento das relações de incomparabilidade na comparação dos perfis das categorias, este fato sempre irá ocorrer ao se aumentar o nível de corte. A Figura 4.10 é possível verificar as comparações entre todas as alternativas para cada perfil com um valor de corte de $\lambda = 0,8$.

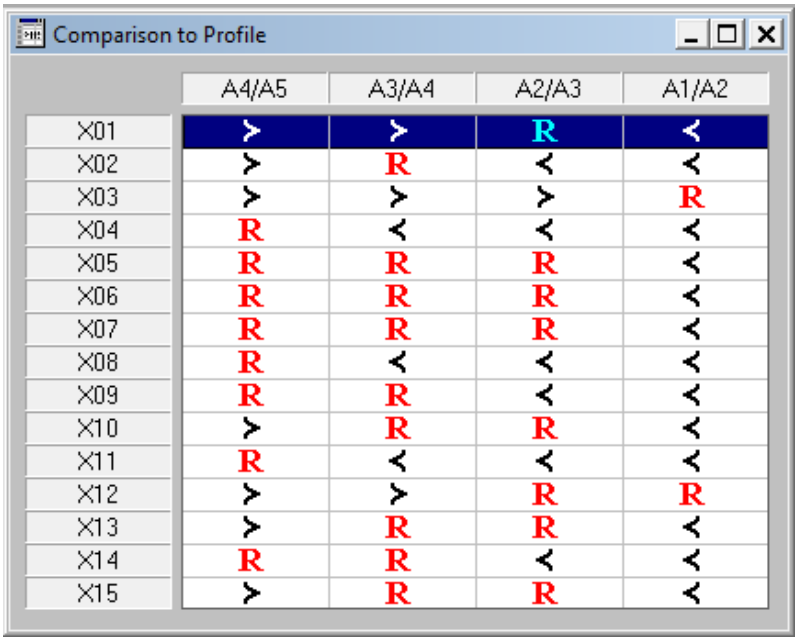


Figura 4.10 – Verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil com λ = 0,8

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Para um nível de corte λ = 0,9 e λ = 1, a verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil se comportou conforme pode ser verificado nas Figuras 4.11 e 4.12.

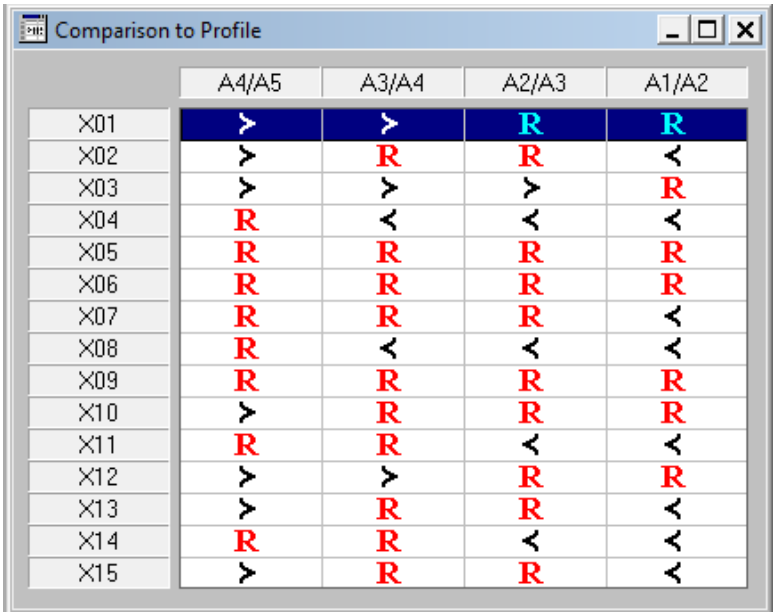


Figura 4.11 – Verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil com λ = 0,9

Fonte: Esta pesquisa (2015).

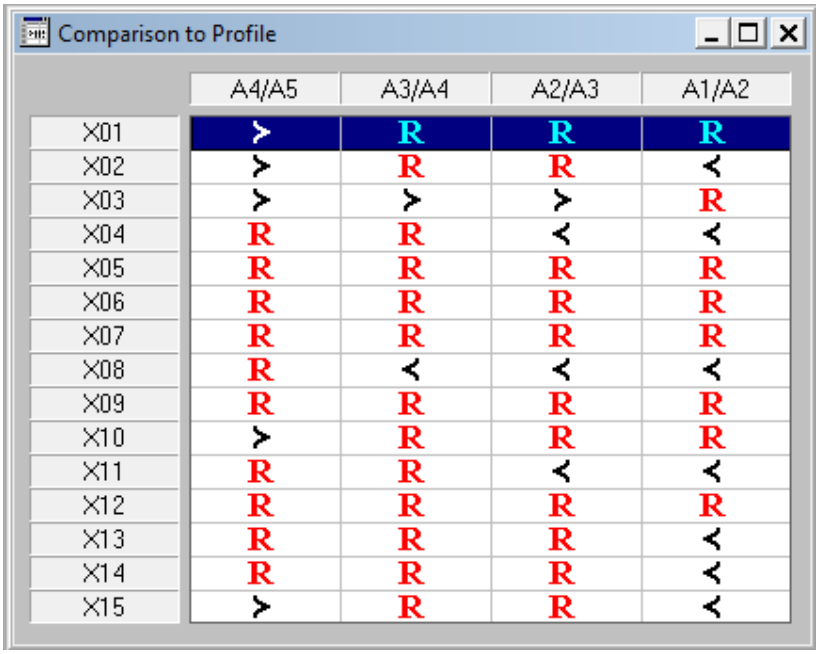


Figura 4.12 – Verificação das comparações entre todas as alternativas para cada perfil com λ = 1

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Aumentando-se o nível de credibilidade referentes às relações de preferências, foi possível constatar um aumento considerável nas relações de incomparabilidade entre as alternativas e os perfis das categorias. Para os níveis de corte de λ = 0,9 e λ =1, onde este último representa o nível absoluto e aceitável, os resultados obtidos não apresentaram mudanças expressivas.

Para esta pesquisa foi utilizado um nível de corte de λ = 0,54 o que apresentou resultados significativos e importantes, o que torna possível a adoção do segundo método desta pesquisa (PROMETHEE II).

Para um nível de corte λ = 0,54 os resultados obtidos foram idênticos aos resultados gerados com um nível de corte de λ = 0,5. É possível observar esses resultados na Figura 4.13. Para este nível de corte não foi verificado quaisquer relações de incomparabilidade entre as alternativas e os perfis das categorias. Os resultados gerados foram importantes, tornando-se possível a aplicação do método PROMETHEE II.

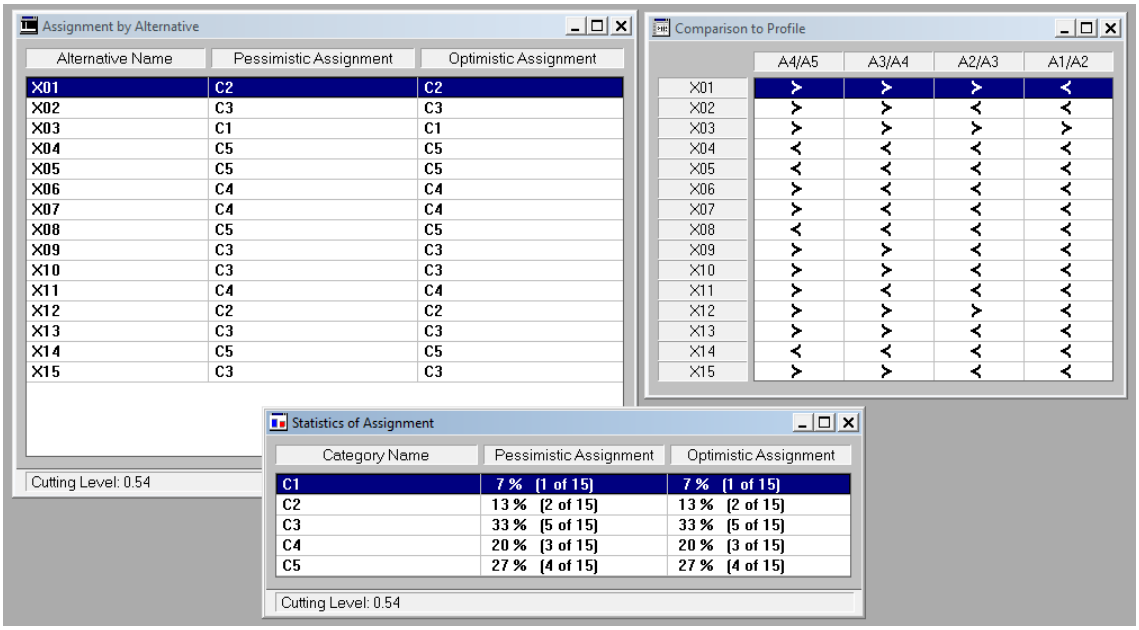


Figura 4.13 – Resultados da aplicação do método ELECTRE TRI para λ = 0,54

Fonte: Esta pesquisa (2015).

De acordo com o exposto e adotando para esta pesquisa um nível de corte λ = 0,54 com os resultados gerados foi possível identificar que o equipamento X03 - Masseira, classificado dentro da categoria (C1) que é formada por equipamentos extremamente críticos, sendo necessário que maiores esforços relativos à manutenção sejam depositados neste equipamento. Classificado o equipamento mais crítico, a próxima etapa da pesquisa consiste da utilização do método PROMETHEE II para determinação de tempos de inspeção em um único componente (sensor) presente no equipamento, neste caso a masseira, já que este representa o equipamento que apresenta um único modo de falha. Maiores detalhes serão apresentados na seção 4.2.

4.2. Aplicação Numérica do Método Delay Time e PROMETHEE II

4.2.1 Aplicação Numérica do Método Delay Time para um único componente

Antes da aplicação do método PROMETHEE II é necessário determinar os critérios que serão avaliados durante a realização da manutenção no componente escolhido (sensor da masseira).

Conforme mencionado anteriormente, os tempos de inspeções apresentam consequências, sendo necessário abordar conflitos existentes entre os critérios, analisando as preferências do decisor com os parâmetros empregados.

Nesta pesquisa o modelo empregado foi fundamentado no modelo de Jia & Christer (2002), onde os critérios adotados para esta pesquisa são: Custo e Disponibilidade. Vale enfatizar que o critério disponibilidade é importante para um pleno planejamento da manutenção, mas o referido critério não pode ser mantido a um custo qualquer.

Como descrito anteriormente, a garantia da disponibilidade não deve ser conseguida a um custo alto, ou seja, na manutenção de equipamentos não é conveniente ter uma disponibilidade alta a um custo elevado e nem uma disponibilidade baixa a um custo baixo. É imprescindível que tenha um bom desempenho em ambos os critérios e, para este estudo, os critérios referentes aos períodos de inspeção são considerados e avaliados.

Sendo assim, as melhores políticas de manutenção devem avaliar a existência de um equilíbrio com os critérios disponibilidade e custo, permitindo que as preferências do decisor seja respeitado e corretamente abordada.

Como já declarado o modelo adotado baseia-se no modelo de Jia & Christer, o conceito empregado é o *Delay Time*. Neste estudo específico por menores que sejam as interrupções no processo produtivo da linha de massas alimentícias, mais especificamente na funcionalidade do sensor da masseira, qualquer que seja o problema identificado, isto pode implicar em problemas significativos à organização envolvida podendo afetar a qualidade do produto, atrasos no processo e consequentemente no atendimento da demanda e elevação nos custos em geral. Diante disto, é primordial caracterizar tempos de inspeções para melhor planejamento das atividades de manutenção para adoção da melhor estratégia a ser definida.

No referido modelo, as hipóteses e fórmulas referentes ao conceito *Delay Time* utilizadas para o cálculo dos critérios custo e disponibilidade foram detalhadas na seção 2.4.2 desta pesquisa. É importante ressaltar que no decorrer desse estudo, as alternativas de tempo serão determinadas com a finalidade de definir os tempos de inspeções. Para cada alternativa de tempo, os mesmos serão avaliados sob os dois critérios já determinados.

Como o objeto do presente estudo a ser avaliado é o sensor da masseira, o mesmo está propicio a apresentar falha podendo gerar danos consideráveis ao processo. Os parâmetros de forma (β), de escala (η) em horas e a taxa de falha (λ) em 1/horas, ou seja, os dados de falha do sensor da masseira adotados para esta pesquisa podem ser visualizados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Parâmetros associados às distribuições

$f_x(x)$	$f_h(x)$
Weibull	**Exponencial**
$\beta = 1{,}9$ e $\eta = 3400$	$\lambda = 1/230$

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Para este tipo de sensor, devem ser realizados testes de inspeções. Alguns valores foram parametrizados para simulação desse modelo. Os tempos em horas e os custos em unidades monetárias referentes a este modelo podem ver visualizados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Tempos e Custos referentes às intervenções de manutenção

Custos	**Tempos**
$C_i = 115$	$d_i = 0{,}1$
$C_p = 500$	$d_p = 2$
$C_f = 4250$	$d_f = 8$

Fonte: Esta pesquisa (2015).

É importante destacar como já foi descrito na seção 2.4.2 desta pesquisa que $d_i < d_p < d_f$ e que $C_i < C_p < C_f$. Em que d_i representa ações de inspeção, d_p refere-se a substituição preventiva, d_f é a substituição devido a ocorrência de falha, C_i é o custo relativo a inspeção, C_p representa o custo relacionado a substituição preventiva e C_f é o custo gerado devido a falha.

Para definição das alternativas de tempo para a realização das inspeções, foram definidos tempos múltiplos de 2 dias. Ainda é importante destacar que as alternativas de tempo foram analisadas até 40 dias, o que representa o tempo limite suportado pelo equipamento para uma intervenção de manutenção preventiva.

Vale enfatizar que este intervalo estabelecido de tempo do equipamento não apresenta qualquer tipo de defeito ou falha. Matematicamente as funções de custo e disponibilidade não deve causar grandes impactos negativos na empresa, e sim contribuir para facilitar as atividades gerenciais. As alternativas de tempos adotadas para serem submetidas a avaliação estão na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Alternativas de tempo

Alternativas de Tempo (T)									
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
22	24	26	28	30	32	34	36	38	40

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Determinados as alternativas de tempo, estes puderam ser avaliados com relação aos critérios custos e disponibilidade, com o auxílio do *software Mathcad*, de acordo com o que está exposto na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Alternativas de tempo com seus respectivos critérios

Alternativas de Tempo (T)	**Custo C(T)**	**Disponibilidade A(T)**
2	2,68856	0,99656
4	1,61074	0,99599
6	1,31136	0,99398
8	1,19698	0,99118
10	1,15030	0,98779
12	1,13323	0,98394
14	1,13018	0,97972
16	1,13385	0,97520
18	1,14056	0,97043
20	1,14835	0,96547
22	1,15617	0,96034
24	1,16347	0,95509
26	1,16997	0,94975
28	1,17553	0,94433
30	1,18014	0,93885
32	1,18380	0,93334
34	1,18658	0,92781
36	1,18852	0,92260
38	1,18971	0,91671
40	1,19020	0,91117

Fonte: Esta pesquisa (2015).

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 4.4 as alternativas com melhores desempenhos nos critérios custos, não representam as melhores alternativas no desempenho disponibilidade.

É necessário investimentos financeiros para garantir grandes disponibilidades, assim, é imprescindível que se tenha um bom desempenho a um custo aceitável, isto é, analisar alternativas que tenha um bom desempenho nos dois critérios (custo e disponibilidade) e que estejam alinhados as preferências ou necessidades do decisor.

Os dados obtidos nos critérios custos e disponibilidades podem ser melhor visualizados nas Figuras 4.14 e 4.15.

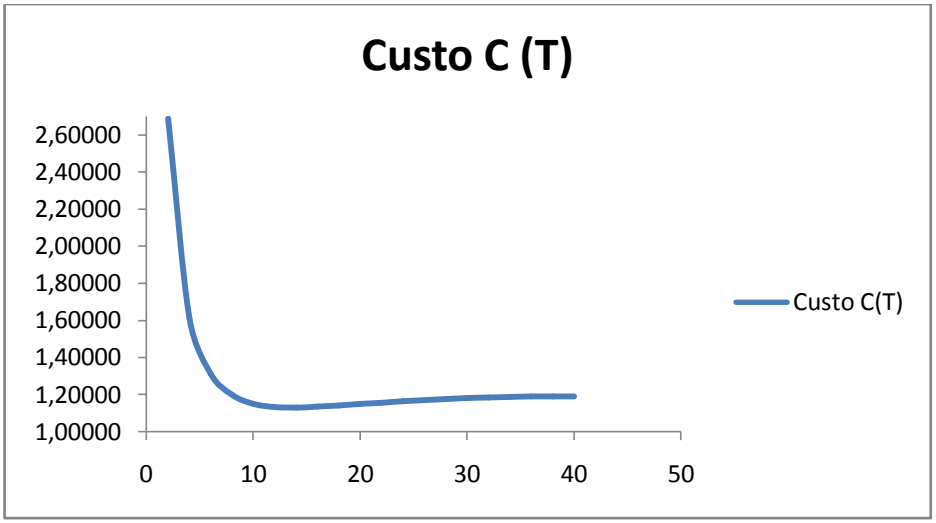


Figura 4.14 – Desempenho do critério custo para o conjunto de alternativas

Fonte: Esta pesquisa (2015).

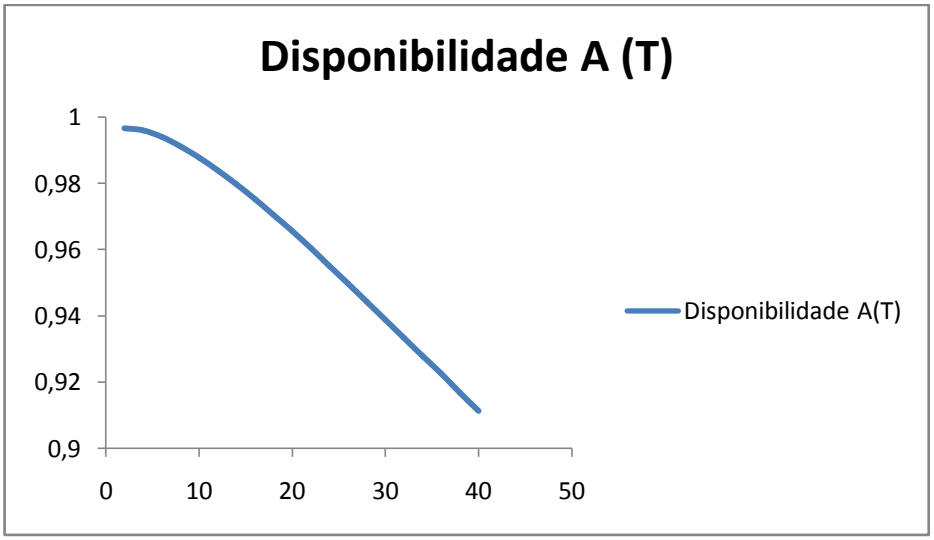


Figura 4.15 – Desempenho do critério disponibilidade para o conjunto de alternativas

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Diante dos resultados de custos e disponibilidade obtidos para cada uma das alternativas avaliadas conforme podem ser visualizados na Tabela 4.4, antes da utilização do método PROMETHEE II para determinar os tempos de inspeção, será necessário fazer uma relação de dominância com os resultados gerados para eliminar as alternativas dominadas, prática esta pouco utilizada, mais importante em problemas multicritério.

"A relação de dominância *D*, entre dois elementos *a* e *b*, representada por *aDb*, ocorre quando para *m* critérios, considerando g_j a função valor para o critério *j*, tem-se" (ALMEIDA, 2011):

$$g_j\,(a) \geq g_j\,(b), j = 1, 2, 3, m$$

Onde no mínimo um dos critérios *j* a desigualdade é estrita (>).

Analisando na Figura 4.16 o comportamento simultâneo dos critérios custo e disponibilidade, é possível visualizar uma região de conflito entre os critérios. A região destacada apresenta alternativas com desempenho alto no critério disponibilidade e desempenhos baixos no critério custo e vice-versa, o que destaca um conflito intenso entre os dois critérios. Por outro lado, as alternativas que se localizam fora dessa região de conflito, tendem a apresentar um comportamento de dominância em relação as alternativas presentes na região destacada, fato esse, onde os critérios respectivamente fora dessa região de conflito apresentam alternativas com desempenhos baixos.

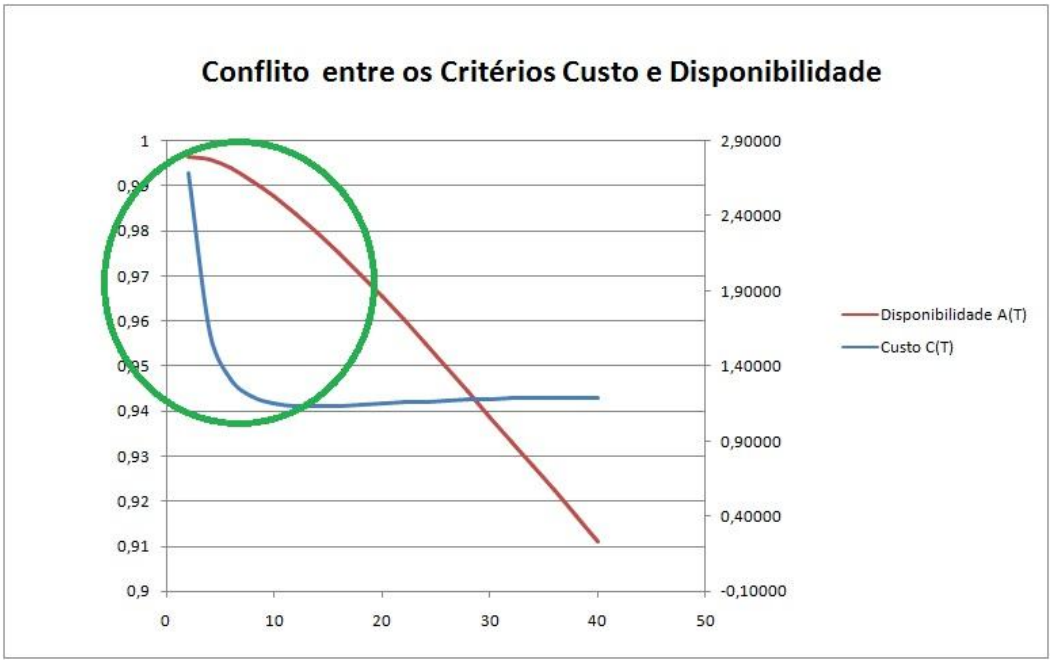


Figura 4.16 – Conflito entre os Critérios Custo e Disponibilidade

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Para análise de um problema multicritério, a tarefa inicial a ser realizada consiste em eliminar todos os elementos dominados. Após a verificação da relação de dominância com os resultados presentes na Tabela 4.4, apenas 7 alternativas de tempo, totalizando 35% de todas as alternativas abordadas, conforme a Tabela 4.5 poderão ser utilizadas, tornando possível a aplicação do método PROMETHEE II para determinar os tempos de inspeção, conforme será descrito na próxima seção.

Tabela 4.5 – Alternativas de tempo com seus respectivos critérios após a verificação da relação de dominância

Alternativas de Tempo (T)	Custo C(T)	Disponibilidade A(T)
2	2,68856	0,99656
4	1,61074	0,99599
6	1,31136	0,99398
8	1,19698	0,99118
10	1,15030	0,98779
12	1,13323	0,98394
14	1,13018	0,97972

Fonte: Esta pesquisa (2015).

4.2.2 Aplicação Numérica do Método PROMETHEE II

Seguindo-se as etapas conforme estabelecidos e detalhados nas seções 2.5.5.2 e 2.5.5.2.2, o decisor declara as relações de preferências e os pesos de cada critério, de acordo com o exposto na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Parâmetros dos critérios custo e disponibilidade

Critérios	C(T)	A(T)
Tipo de Função	Critério Usual	Linear
Parâmetros	_	p = 0,001; q = 0,002
Peso	0,45	0,55

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Os resultados que serão exposto na Tabela 4.7 foram obtidos com o auxílio do *software Mathcad*. Dessa forma os resultados gerados da fase exploratória das relações de sobreclassificação, o fluxo líquido obtido é utilizado para fazer o ranqueamento das alternativas de tempo descritas anteriormente. Estes resultados podem ser visualizados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Fluxos líquidos para cada alternativa de tempo

Alternativas de Tempo (T)	ϕ+	ϕ-	ϕ(T)
2	0,3063	0,4500	-0,1437
4	0,3617	0,3750	-0,0133
6	0,3905	0,3068	0,0837
8	0,3926	0,3051	0,0875
10	0,3907	0,3626	0,0281
12	0,4004	0,4312	-0,0308
14	0,4500	0,4617	-0,0117

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Na Figura 4.17 é fácil visualizar com maior detalhe o comportamento para que seja possível escolher o melhor tempo de inspeção. Neste caso, com o aumento do fluxo líquido é possível determinar a melhor decisão de escolha. Visualizando a Figura 4.16 a maximização do fluxo líquido acontece para T = 8 dias, sendo especificado a melhor alternativa de tempo conforme as preferências estabelecidas pelo decisor.

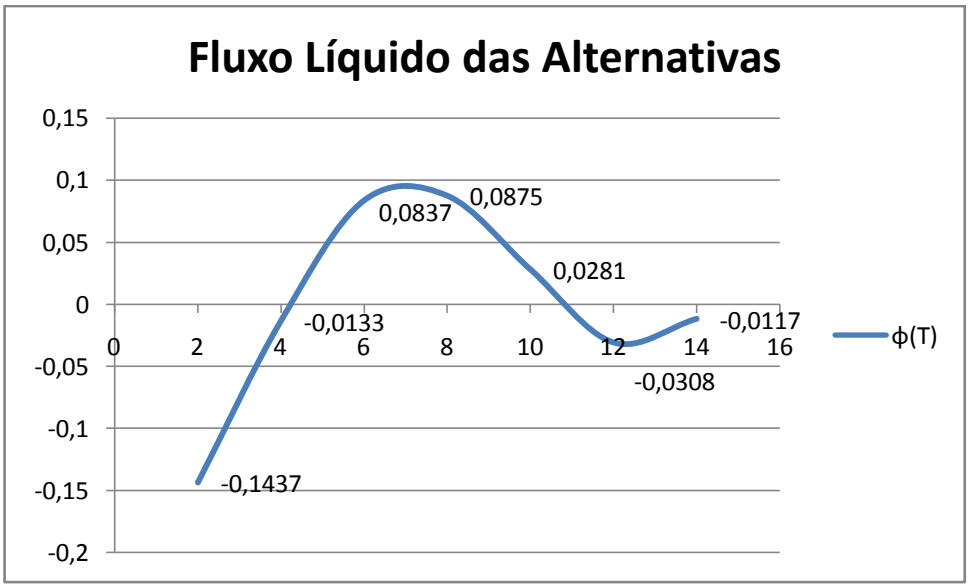


Figura 4.17 – Fluxo líquido das alternativas em relação aos tempos de inspeção

Fonte: Esta pesquisa (2015).

A ordenação dos resultados obtidos do fluxo líquido na Tabela 4.7 podem ser vistos na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Alternativas ordenadas

Alternativas de Tempo T	ϕ(T)
8	**0,0875**
6	0,0837
10	0,0281
14	-0,0117
4	-0,0133
12	-0,0308
2	-0,1437

Fonte: Esta pesquisa (2015).

Diante dos resultados obtidos com a aplicação numérica do método PROMETHEE II nem sempre a melhor alternativa de tempo caracteriza na melhor disponibilidade a um custo baixo.

Foi demonstrado também que a realização de mudanças nos valores dos pesos caracterizam variações nas melhores alternativas de tempo, assim como no comportamento do decisor, onde o mesmo é o responsável na determinação dos pesos que irá definir as alternativas que serão analisadas. Dessa forma uma abordagem multicritério é significantemente importante para esses casos.

4.3. Considerações do Capítulo

O presente capítulo expôs a aplicação numérica dos modelos assim como os resultados obtidos, onde para o primeiro modelo foi realizado uma análise de sensibilidade dos resultados gerados.

Com a aplicação do método ELECTRE TRI foi possível classificar e determinar o equipamento de maior criticidade do sistema produtivo da linha de massas. Neste caso, dentre os quinze equipamentos avaliados aquele que apresentou os piores resultados dentre os cinco critérios avaliados foi o equipamento masseira, este foi classificado pertencente a categoria C1, constatando que maiores esforços referentes a manutenção devem ser depositados neste equipamento.

Com o segundo método, PROMETHEE II, foi possível fazer um estudo mais detalhado referente ao equipamento masseira para determinar em quanto tempo deveria ser estabelecido os tempos de inspeções considerando os critérios custos e disponibilidade de um único componente (Sensor da masseira).

A determinação destes critérios para cada alternativa foram avaliadas com base da aplicação do método *Delay Time*. Uma vez que, foi determinado os parâmetros de custos e disponibilidade das alternativas, a aplicação numérica entrou em vigor.

Com a aplicação numérica do método PROMETHEE II foi possível determinar inspeções, estas segundo os resultados devem ser realizados a cada 8 dias conforme os dados e parâmetros que foram utilizados neste estudo.

Dessa maneira, melhores planejamentos da manutenção podem proporcionar uma estratégia de negócio para a linha de estudo, possibilitando o correto investimento na manutenção dos equipamentos considerados mais críticos, evitando esforços desnecessários relativos a custos e tempo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das obras realizadas pelo ser humano, não existe nada que seja indestrutível, mais a vida dessas obras podem ser aumentadas significativamente com a intervenção de certas atividades, para manter ou restaurar um componente ao estado de funcionamento desse dispositivo (Cavalcante, 2011). A utilização de um modelo de manutenção com a correta adoção da estratégia pode resolver problemas variados e garantir o pleno funcionamento do sistema produtivo de uma organização.

Dessa maneira, esta pesquisa teve por finalidade o desenvolvimento de modelos teóricos e simulados para representar problemas que ocorrem no mundo real, e como os mesmos devem ser tratados.

Para aplicação desse estudo, foi escolhido uma linha de produção de massas alimentícias, onde a mesma é composta por vários equipamentos, teve como finalidade utilizar o método ELECTRE TRI para realizar a criticidade dos equipamentos envolvidos. Uma vez determinado o equipamento considerado mais critico, foi utilizado o método PROMETHEE II em um único componente deste equipamento para determinar intervalos periódicos de inspeções para melhor direcionar os esforços da manutenção.

Para atingir os objetivos específicos dessa pesquisa foi realizada uma revisão bibliográfica dos métodos adotados como forma de facilitar o entendimento dos assuntos tratados, tornando-se possível a simulação dos mesmos.

A aplicação do estudo foi realizado através de um Sistema de Apoio a Decisão, e foram utilizados dados numéricos gerados para simulação dos métodos abordados. Mesmo que o estudo não tenha tido um direcionamento prático, os resultados obtidos foram importantes para demonstrar a importância da utilização de modelos de apoio a decisão multicritério, para resolver ou solucionar problemas reais e frequentes que ocorrem nas organizações.

Ao se tratar de equipamentos complexos, a abordagem desses métodos, possibilitará um tratamento eficiente dos dados, adotando as melhores e adequadas estratégias de manutenção de acordo com as preferências do decisor para solucionar um problema específico.

5.1. Dificuldades e Limitações da Pesquisa

Apesar do estudo ter atingido o objetivo geral e os objetivos específicos, é importante destacar as limitações do estudo:

- Os resultados obtidos nesta pesquisa foram gerados através de dados simulados, o que dificulta caracterizar os reais problemas vivenciados nas organizações;
- Não foi possível fazer uma abordagem prática, uma vez que seria necessário coletar dados sigilosos e muitas empresas não são aptas a dispô-los pois representam uma estratégia de negócio;
- Outra dificuldade foi a determinação dos parâmetros utilizados nesta pesquisa, onde os mesmos foram empregados para gerar resultados mais próximos do que sucede na realidade.

5.2. Recomendações para Trabalhos Futuros

Esta pesquisa pode contribuir para outros estudos, principalmente para aumentar a eficiência e adoção das estratégias de manutenção das organizações, maximizando a disponibilidade dos equipamentos com a redução dos custos.

Os modelos de apoio a decisão multicritério podem ser úteis para facilitar a adoção das corretas estratégias de manutenção, possibilitando um melhor direcionamento dos gastos financeiros no que é realmente necessário melhorar, evitando esforços muitas vezes desnecessários.

Além disso, a aplicabilidade dos modelos abordados na pesquisa podem ser adotadas em situações reais, proporcionando a melhoria da qualidade dos serviços de manutenção assim como, garantir a solução de problemas críticos que afetam o sistema como um todo.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 5462*. Confiabilidade e Mantenabilidade. Rio de Janeiro, 1994.

ABU-TALEB & MARESCHAL, B. Water resources planning in the Middle East: application of the PROMETHEE V multicriteria method. *European Journal of Operational Research*, v.81, p. 500-511, 1995.

ALMEIDA, A. T. *O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio à decisão.* Recife, Editora Universitária UFPE, 2011.

ALMEIDA, A. T. *Processo de decisão nas organizações: Construindo modelos de decisão multicritério.* Recife, Editora Atlas S.A. - 2013.

ALLAOUI H., LAMOURI S., ARTIBA A., AGHEZZAF E. Simultaneously Scheduling n Jobs and the Preventive Maintenance on the Two-machine Flow Shop to Minimize the Makespan. International Journal of Production Economics 112: 161–167. 2008.

ANDRADE, E. L. Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para análises de decisores, Rio de Janeiro, LTC, 2009.

ANDRADE, J. J. O. Emprego da confiabilidade na gestão estratégica da manutenção: estudos de caso. In: Simpósio Internacional de Confiabilidade– SIC, Fortaleza, 2011.

ÁNGEL-BELLO, F., ÁLVAREZ A., PACHECO J., MARTÍNEZ I., A Heuristic Approach for a Scheduling Problem with Periodic Maintenance and Sequence-dependent Setup Times. Computers & Mathematics with Applications 61: 797–808. 2011.

ACKOFF, R.L. & SASIENI, M.W. Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1975.

ARAZ, C. & OZKARAHAN, I. Supplier Evaluation and Management System for Strategic Sourcing Based on a New Multicriteria Sorting Procedure. *International Journal of Production Economics.*106 (2): 585-606, 2007.

BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R. B.; ALBADVI, A.; AGHDASI, M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. European Journal of Operational Research (2009), doi: 10.1016/j.ejor.2009.01.021.

BELTON, V. & STEWART, T.J. *Multiple Criteria Decision Analysis*.S.l., Kluwer Academic Publishers, 2002.

BRANCO FILHO, G. A Organização, o planejamento e o controle da manutenção. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna LTDA, 2008.

BRANS, J. P. & MARESCHAL, B. & VINCKE, P. PROMETHEE: In PROCEEDINGS OF IFORS CONFERENCE. Washington, United States. *A New Family of Outranking Methods in Multicriteria Analysis.*1984.

BRANS, J. P.; VINCKE, P.A preference ranking organization method (The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making). *Management Science*, v. 31, p. 647-656, 1985.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. PROMETHEE – GAIA: une méthodologie d'aide à La décision em présence de critèresmultiples. Bruxelles: Éditions de L'Université de Bruxelles, 2002.

BROWN, M. V. (2003). Applying the Predictive Approach. New Standard Institute, Inc. Disponívelem: http://www.plantservices.com/knowledge_centers/nsi/assets/Applying_the_Predictive_Approach.pdf

BRUNSSON, N. (2007) The Consequences of Decision-Making, Oxford University Press.

CAJAZEIRA, C. L. B. Estudo dos Fatores RAM na Fase de Operação e Manutenção de Aerogeradores. Universidades do Minho - Escola de Engenharia, 2012.

CAVALCANTE, C.A.V.; MORAIS, D.C.; ALMEIDA, A.T. DE. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. *Pesquisa Operacional*. 30 (1): 15-32, 2010.

CAVALCANTE, C. A. V. Minuta de Apostila - Engenharia de Manutenção. Recife, 2011.

CAVALCANTI, A. M.; CARDOSO, W. Z. Estudo de caso: Aplicação do conceito de manutenção como função estratégica, em uma empresa de transporte aéreo não regular. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, salvador, BA, Brasil, 2013.

CHEN, Y. & CHAO, R. Supplier Selection Using Consistent Fuzzy Preference Relations. *Expert Systems with Applications.*s.l.39 (12): 3233-3240, 2012.

ÇINLAR, E., (1975): *Introduction to Stochastic Processes*. Prentice–Hall, Inc., New Jersey.

COSTA, H. G.; JÚNIOR, H. P. G. S.; HADDAD, A. N. Uma contribuição do método ELECTRE TRI á obtenção da classificação de riscos industriais. Associação Portuguesa de Investigação Operacional, p.179-197, 2007.

CHRISTER, A.H.; WALLER, W. M. (1984a). Delay time models of industrial inspection maintenance problems. Journal of the Operational Research Society 35, No. 5, 401-406.

CHRISTER, A.H.; WANG, W. 1995.*A delay-time based maintenance model for a multi-component system.* IMA Journal of Management Mathematics 6(2), 205-222, 1995.

CHRISTER, A. H. (1999). Developments in delay time analysis for modeling plant maintenance. *Journal of the Operational Research Society*, 50. (1) 1120-1137.

DEKKER, R. *Applications of maintenance optimization models: a review and analysis*. Elsevier, 1996.

DHILLON, B.S. *Applied Reliability and Quality - Fundamentals, Methods and Procedures, Springer* – Verlag, 2007.

DOUMPOS, M. & ZOPOUNIDIS, C. *Multicriteria Decision Aid Classification Methods.* Kluwer Academic Publishers, 2004.

FERREIRA, R. J. P.; ALMEIDA, A. T. de.; CAVALCANTE, C. A. V. (2009). A multicriteria decision model to determine inspection intervals of condition monitoring based on delay time analysis. Reliability Engineeringand System Safety 94, 905-912.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. Confiabilidade e Manutenção Industrial.1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. Tomada de decisões em cenários complexos. São Paulo: Thomson, 1998.

GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A.T. Tomada de Decisão Gerencial: enfoque multicritério. Rio de Janeiro: Editora Atlas, 3a ed., 2009.

GOMES, L. F. A. M. & ARAYA, M. C.G. & CARIGNANO, C. Tomada de decisões em cenários complexos; introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão. São Paulo, Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*. 2ª edição. São Paulo: Thomson, 2006.

HAMMOND, J. S.; KEENEY, R. L.; RAIFFA, H.*The hidden traps in decision making. Harvard Business Review.* Sept./Oct. 1998.

HEO, J.H.; KIM, M.K, LYU, J.H. *Implementation of Reliability-Centered Maintenance for transmission components using Particle Swarm Optimization*, Vol.55, Páginas 238-245. 2014.

KEENEY, R. L. (1992) Value Focused Thinking. Havard

KEENEY, R. L. Value-focused thinking: a path to creative decisionmaking. Harvard College, 1992.

KOMAL; SHARMA, S.P; KUMAR, D.; (2010), "RAM analysis of repairable industrial systems utilizing uncertain data," Applied Soft Computing, vol. 10, Issue 4, pp. 1208-1221.

LAFRAIA, J. R. B. *Manual de confiabilidade, mantenabilidade e disponibilidade*. Qualitymark: Petrobras. Rio de Janeiro, 2001.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso PETROBRÁS. Manual de confiabilidade, mantenabilidade e disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark; PETROBRÁS, 2001. 374 p.

LAMSADE - Université Paris Dauphine. ELECTRE TRI software – Demo version. Available at: http://www.lamsade.dauphine.fr/spip.php?article244 Acesso em 14/09/2014.

LOURENÇO, F. Estudo de Confiabilidade de baterias de chumbo-ácido e o impacto de tempo de pátio na sua confiabilidade. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

LUNDTEIGEN, M. A.; RAUSAND, M.; UTNE, I. B.; (2009) "*Integrating RAMS engineering and management with the safety life cycle of IEC 61508,*" Reliability Engineering and System Safety. Science Direct. Elsevier.

MANTOVANI, C. M. B. M.; FEBA L. F. T.; OLIVEIRA, R. M.; NUNES, V. C. Manual de Normas Técnicas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos. PresidenteEpitácio – SP, 2013.

MATHSOFT - Mathsoft Engineering & Education, Inc. – Demo version, 2005. Disponível no laboratório RANDOM, do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco.

MARCONI, M. A. & LAKATOS, E. M. Fundamentos da metodologia científica. 7. ed. São Paulo, Editora Atlas, 2010.

MAYSTRE, L. Y.; PICTET, J.; SISMOS, J. MéthodesmulticritèresElectre. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Francia, 1994.

MIGUEL, P. A. D., coord. Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Rio de Janeiro, Elsevier, 2010.

MOREIRA, D. A. Pesquisa Operacional: curso introdutório. 2. Ed. São Paulo, Cengage Learning, 2010.

MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. ELECTRE TRI 2.0a methodological guide and user's manual. Document du LAMSADE, Université Paris-Dauphine, Paris: Fev. 1999.

Mousseau, V., Slowinski, R. e Zielniewicz (2000) A user-oriented implementation of the ELECTRE-TRI method integrating preference elicitation support, Computers & Operations Research, Vol.27, No 7, pp. 757-777.

NAKAJIMA, Seiichi. Introdução ao TPM – Total Productive Maintence. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda.; 1989, 11 e 12p.

NASCIMENTO NETO, L. P.; ARAÚJO, H. A. B.T.; LOPES, R. S.; GOMES, G. R. S.; CAVALCANTE, C. A. V. Uso da análise SNAPSHOT e do conceito de delay time para definição de tempos de inspeção: Um Estudo de Caso para o planejamento de manutenção de frotas. XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2012.

NBR-5462, Confiabilidade e Mantenabilidade, Normas Técnicas Brasileiras - NBR, 1994.

NIQUELE, Jamur. Avaliação do desempenho da gestão de ativos após a suspensão do programa de manutenção autônoma em uma indústria de cartões de PVC.89f . Trabalho de Conclusão de Curso Especialização de Gerência de Manutenção, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2012.

OTANI, M.; MACHADO, W.V.; A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. Vol. 04, Páginas 01-16, 2008.

PARDALOS, P.M.; SISKOS, Y.; ZOPOUNIDIS, C. (Org.). *Advances in multicriteria analysis*.Kluwer Academic Publishers, 1995.

PAULO, A.A., (2004): *Metodologias de Caracterização e Previsão das Secas – Modelação Espacial e Temporal*. Doutoramento em Engenharia Agronómica, Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 2004.

RAUSAND, M.; HOYLAND, A. *System reliability theory: models and statistical methods*. 2ed. New York: John Wiley & Sons, 2003.

ROY, B. & VINCKE, P. Multicriteria Analysis: Survey and New Directions. *European Journal of Operational Research,* 8(3): 207-218, 1981.

ROY, B. The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods.*Theory and Decision,* 31(1): 49-73, 1991.

ROY, B. Multicriteria Methodology for Decision Aiding. Netherlands, KluwerAcademicPublishers, 1996.

RUSSO, J. E.; SCHOEMAKER, P. J. H. Tomada de decisões - armadilhas, tradução de Nivaldo Montingelli Jr. São Paulo: Ed. Saraiva, 1993.

SANCHES, Iara Del'Arco; FABRICIO, Marcio Minto. A importância do projeto na manutenção de HIS. *Anais...* VI SIBRAGEC, Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. João Pessoa, 21 a 23 de outubro de 2009.

SCAPIN, C. A. Análise sistêmica de falhas. Belo Horizonte: DG, 2007, c1999. 168 p.

SCARF, P. A. *On application of mathematical models in maintenance*. Elsevier, 1997.

SCHEFFER, C., PARESH GIRDAR (2004). *Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance*, Elsevier.

SELLITTO, M. A.; FACHINI, S. J.; Análise Estratégica da Gestão da Manutenção Industrial de uma empresa de Metal-Mecânica. Tecnologias para a Competitividade Industrial, Florianópolis, v.07, nº 1, 2014.

SILVA, A,C.M. Modelo para o planejamento de manutenção baseado em parâmetros de degradação. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

SLACK, N.; JONHSTON, R.; CHAMBERS, S. Administração da Produção. 3º Edição, São Paulo: Atlas, 2009.

SMITH, C. O. *Introduction to reliability in design.* Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha, 1976.

SOUZA, Valdir Cardoso. Organização e Gerência da Manutenção –Planejamento, Programação e Controle da Manutenção. 3ª Ed, revisada. São Paulo: All Print, 2013. 285 p.

SZAJUBOK, N. K.; MOTA, C. M. M.; ALMEIDA, A.T. uso do método multicritério ELECTRE TRI para classificação de estoques na construção civil. Pesquisa Operacional, v.26, n.3, p.625-648, Setembro a Dezembro de 2006.

TSAROUHAS, P. H.; VARZOUKAS, H. T.; ARVANITOYANNFS, I.S. (2009)-*Reliability and maintainability analysis of strudel production line with experimental data* – A case study. JournalofFoodEngineering 91, 250–259.

VASCONCELOS, R.; CAVALCANTE, C. A. V.; LOPES, R. Modelo Multicritério para suporte a definição de tempos de inspeção baseado no método Promethee II. XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Ubatuba, SP, Brasil, 2011.

VERGARA, S. C. Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração. São Paulo: Atlas, 14ª Edição, 2013.

VIANA, H. R. G. Planejamento e Controle da Manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

VILLEMEUR, A. *Reliability, availability, maintainability and safety assessment. Chippenham*, WIL: John Wiley & Sons, 1992. v. 1: methods and techniques.

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

YANG, F.; KWAN, C.M., CHANG, C.S.; Multiobjective Evolutionary Optimization of Substation Maintance Using Decision-Varying Markov Model, Volume 23, Páginas 1328-1335, 2008.

YU, W. ELECTRE TRI: aspects methodologiqueset guide d' utilization. Document do LAMSADE, 74, Université de Paris – Dauphine, 1992.

XENOS, Hirilaus G. *Gerenciando a Manutenção Produtiva*: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. Nova Lima: INDG, 2004.

ZAIONS, Douglas Roberto. Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada na Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel. 2003.219f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ZHOU, Y.; LEUNG, H. (2007).Predicting software-oriented maintainability using multivariate adaptive regression splines.The Journal of Systems and Software80, 1349–1361, 2007.