

Universidade Federal Fluminense

ROGÉRIO GONCALVES SIMÕES

Aplicação do ELECTRE TRI na Classificação de  
Fornecedores de Indústria Automotiva

VOLTA REDONDA

2013

ROGÉRIO GONCALVES SIMÕES

## Aplicação do ELECTRE TRI na Classificação de Fornecedores de Indústria Automotiva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia. Área de Concentração: Otimização e Pesquisa Operacional.

Orientador:

Luís Alberto Duncan Rangel

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

VOLTA REDONDA

2013

S593 Simões, Rogério Gonçalves.

Aplicação do ELECTRE TRI na classificação de fornecedores de indústria automotiva. / Rogério Gonçalves Simões. – Volta Redonda, 2013.

86 f.

Monografia (Pós-Graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Fluminense.

Orientador: Luís Alberto Duncan Rangel.

1. Classificação de fornecedores. 2. Método ELECTRE TRI. 3. Sistema de tomada de decisão. 4. Apoio multicritério à decisão.

I. Rangel, Luís Alberto Duncan. II. Título.

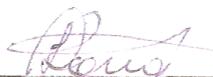
CDD 338.762

Aplicação do ELECTRE TRI na Classificação de Fornecedores de Indústria Automotiva

Rogério Gonçalves Simões

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia. Área de Concentração: Otimização e Pesquisa Operacional.

Aprovada por:



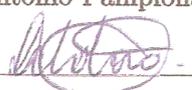
---

Prof. Luís Alberto Duncan Rangel, D.Sc. /  
MCCT-UFF (Presidente)



---

Prof. Valério Antônio Pamplona Salomon, D.Sc. / UNESP



---

Prof. Diomar Cesar Lobão, Ph.D. / MCCT-UFF



---

Prof. Cecilia Toledo Hernández, D.Sc. / MCCT-UFF

---

Volta Redonda, 10 de Outubro de 2013.

*Dedico este trabalho à minha esposa Fabiana que sempre esteve ao meu lado.*

# Agradecimentos

Para Deus, pela saúde e pela ajuda que mais ninguém pode dar. À minha família, em especial à minha mãe Maria Helena, à minha esposa Fabiana e à minha irmã Reneide, as três mulheres mais importantes de minha vida. Ao Prof. Gustavo Benitez e ao Prof. Diomar Cesar Lobão por me acompanhar e incentivar durante todo o curso. Agradeço também ao meu orientador o Prof. Luís Alberto Duncan Rangel.

# Resumo

Ter uma boa percepção sobre a qualidade dos produtos e serviços oferecidos por fornecedores é uma preocupação constante das organizações, sobretudo das indústrias automobilísticas. Para a realização das avaliações é necessário levar em consideração aspectos quantitativos, qualitativos e julgamentos subjetivos. Utilizou-se o Apoio Multicritério à Decisão como ferramenta para auxiliar na tomada de decisão com relação ao problema de classificação de uma indústria automobilística. Dentre dos métodos multicritério existentes, escolheu-se o ELECTRE TRI. Com os dados obtidos pelo grupo de decisores, foi possível apresentar de forma incontestável, com relação aos critérios e níveis de referência previamente estabelecidos, a categoria em que se enquadra cada fornecedor em duas versões: uma mais rigorosa (pessimista) e outra menos rigorosa (otimista).

# Abstract

Having a good perception about the quality of services and products offered by providers is the worry of organizations and the automotive industries. For conducting evaluations is necessary to consider quantitative and qualitative aspects and subjective judgments. It was used the Multicriteria Decision Making as tool to help in decision making with relative the problem of classification an automotive industry. Among the existing multi-criteria methods, picked up the ELECTRE TRI. With the data obtained by the group of decision-makers, it was possible to show the way certain with respect to the criteria and benchmarks previously established, the group that is each supplier in two versions: a more rigorous (pessimistic) and other less rigorous (optimistic).

# Palavras-chave

1. Classificação de Fornecedores
2. Método ELECTRE TRI
3. Sistema de Tomada de decisão
4. Apoio Multicritério à Decisão

# Lista de Abreviaturas

AHP: Analytic Hierarchy Process

AMD: Apoio Multicritério à Decisão

EDI: Electronic Data Interchange (Intercâmbio Eletrônico de Dados)

ELECTRE: ELimination Et Choix Traduisant la réalité

MACBETH: Measuring Attractiveness by Categorical Based Evolution Technique

MAUT: Teoria da Utilidade Multiatributo (Multiattribute Utility Theory)

PROMÉTHÉE: Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations

SMART: Simple Multi-Attribute Rating Technique

TODIM: Tomada de Decisão Interativa Multicritério

UTADIS: Utilités Additives Discriminantes

# Sumário

## Lista de Figuras

## Lista de Tabelas

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>15</b>
1.1	Justificativa . . . . .	16
1.2	Objetivos Gerais . . . . .	16
1.3	Objetivos Específicos . . . . .	16
1.4	Metodologia . . . . .	17
1.5	Delimitação desta pesquisa . . . . .	17
1.6	Estruturação da dissertação . . . . .	18
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>19</b>
2.1	Apoio Multicritério à Decisão . . . . .	19
2.2	Elementos do Apoio Multicritério à Decisão . . . . .	20
2.3	Elaboração dos Problemas em Apoio Multicritério à Decisão . . . . .	21
2.4	Vantagens e Desvantagens do Apoio Multicritério à Decisão . . . . .	22
2.5	Processo de decisão . . . . .	23
2.6	Execução da Análise Multicritério . . . . .	24
2.7	Problemáticas de Apoio Multicritério à Decisão . . . . .	26
2.8	Modelagem das Preferências em Apoio Multicritério à Decisão . . . . .	27
2.9	Estrutura de preferência . . . . .	28
2.10	Classificação dos métodos de Apoio Multicritério à Decisão . . . . .	29

2.11	Principais métodos Apoio Multicritério à Decisão . . . . .	34
2.11.1	Metodo MAUT . . . . .	34
2.11.2	Metodo SMART . . . . .	35
2.11.3	Método AHP . . . . .	36
2.11.4	Método MACBETH . . . . .	37
2.11.5	Método PROMÉTHÉE . . . . .	38
2.11.6	Método TODIM . . . . .	39
2.11.7	Método UTADIS . . . . .	40
2.11.8	Métodos ELECTRE . . . . .	40
2.12	Tipos de critérios utilizados no Apoio Multicritério à Decisão . . . . .	41
<b>3</b>	<b>Método ELECTRE TRI</b>	<b>44</b>
3.1	Introdução . . . . .	44
3.2	Relação de subordinação no ELECTRE TRI . . . . .	46
3.3	Condições a Serem Observadas . . . . .	47
3.4	Índices de Concordância Parcial e Global . . . . .	48
3.5	Índices de Discordância . . . . .	49
3.6	Nível de Corte . . . . .	50
3.7	Procedimentos de Alocação (classificação) . . . . .	50
<b>4</b>	<b>Avaliação de Fornecedores de Empresa Automotiva</b>	<b>53</b>
4.1	Introdução . . . . .	53
4.2	O Mercado Automobilístico nacional . . . . .	53
4.3	Posicionamento da Empresa em Relação ao Mercado . . . . .	55
4.4	A escolha do método . . . . .	56
4.5	Modelagem do problema . . . . .	57
4.6	Modelagem pelo ELECTRE TRI . . . . .	62

4.7 Implementação do Algoritmo . . . . .	67
<b>5 Conclusão</b>	<b>71</b>
<b>Referências</b>	<b>73</b>
<b>Apêndice</b>	<b>78</b>

# Lista de Figuras

2.1	Sistema de tomada de decisão - Schimidt e Vilas Boas [46, 50] . . . . .	24
2.2	Etapas do processo Apoio Multicritério à Decisão - Soares e Vilas Boas [48, 50] . . . . .	25
2.3	Fases de aplicação dos métodos Apoio Multicritério à Decisão - Gartner e Vilas Boas [16, 50] . . . . .	26
3.1	Esquema geral do ELECTRE TRI. Mousseau <i>et al</i> [35]. . . . .	44
3.2	Classes de equivalência no ELECTRE TRI. Mousseau <i>et al</i> [35]. . . . .	45
4.1	<i>Ranking</i> das montadoras em 2012. Fonte: Próprio autor . . . . .	55
4.2	Etapas de Aplicação do ELECTRE TRI. Madeira [29] . . . . .	58
4.3	Exemplo de Alocação pessimista - Fonte próprio autor. . . . .	63
4.4	Exemplo de Alocação pessimista - Fonte próprio autor. . . . .	63
4.5	Classificação Pessimista para os níveis de corte $\lambda$ . . . . .	64
4.6	Classificação Otimista para os níveis de corte $\lambda$ . . . . .	65
4.7	Diagrama do código. Fonte:próprio autor . . . . .	68

# Lista de Tabelas

2.1	Escala de Valores para Comparação Paritária - Saaty [45]	37
2.2	Métodos da Família ELECTRE. Gomes, Araya e Carignano [19].	41
4.1	Métodos Apoio Multicritério à Decisão. Fonte próprio autor.	56
4.2	Escala dos graus de importância.	59
4.3	Pesos dos Critérios.	59
4.4	Classes de equivalência.	60
4.5	Notas dos Fornecedores.	61
4.6	Matriz de credibilidade $\sigma(a, b_h)$ .	64
4.7	Matriz de credibilidade $\sigma(b_h, a)$ .	65
4.8	Resultado das alocações otimista e pessimista para $\lambda$ igual 0.9.	66
4.9	Resultado das alocações otimista e pessimista para $\lambda$ igual 0.7.	66
4.10	Resultado das alocações otimista e pessimista para $\lambda$ igual 0.5.	67

# Capítulo 1

## Introdução

Para uma organização sobreviver em um mercado altamente acirrado é necessário que seus produtos atendam aos requisitos de qualidade, tenham preços competitivos e cheguem aos clientes no prazo em que foram solicitados. Para tanto, as organizações investem em diversos tipos de tecnologias que proporcionem a redução progressiva de custos de fabricação, aumentando o rigor nos controles de qualidade e controle de processo.

A indústria automotiva em questão está buscando implantar a filosofia *Lean Manufacturing* (do inglês, manufatura enxuta) para aumentar participação no mercado, e como consequência, os lucros. Esta filosofia prega que sejam eliminados os desperdícios dentro da cadeia produtiva. Logo, o sucesso deste sistema depende diretamente do nível de serviço prestado por seus fornecedores, pois eles são o início do processo e caso estes falhem causarão prejuízos para empresa.

Esta dissertação tem por objetivo classificar de fornecedores com base nos conceitos de apoio multicritério, apresentando uma sistemática robusta para se trabalhar toda a cadeia de suprimentos. O Apoio Multicritério à Decisão é um segmento dentro da área de Pesquisa Operacional utilizada no meio acadêmico, na indústria em geral e nos órgãos governamentais entre outros.

O Apoio Multicritério à Decisão possui um conjunto de métodos e procedimentos que facilitam a compreensão de um problema. Para tanto, múltiplos critérios são utilizados nas avaliações, dentre estes muitos critérios conflitantes. Ao utilizar a abordagem de superação através do emprego do método *ELimination Et Choix Traduisant la réalité TRI* (ELECTRE TRI), um subconjunto de um conjunto finito de alternativas e classificado ou ordenado. Os métodos de superação também podem ser chamados de sobreclassificação, prevalência ou subordinação e síntese [3, 18].

## 1.1 Justificativa

Para a indústria automotiva em questão implantar a filosofia *Lean* [11], classificação dos fornecedores faz-se necessária para:

- Identificar os fornecedores que estão abaixo do desempenho esperado;
- Tomar a decisão quanto à exclusão de fornecedores do quadro, ou à aplicação de treinamento;
- Estabelecer um *benchmarking* para fornecedores candidatos a participar da cadeia.

O Apoio Multicritério à Decisão auxiliará a efetuar as comparações necessárias de forma mais lógica, reduzindo os erros inerentes num processo decisório, causados muitas vezes pela falta de tempo hábil para uma análise mais profunda, aos prazos reduzidos dos projetos, ou por opiniões ou preferências da alta direção. O Apoio Multicritério à Decisão será uma ferramenta empregada na escolha dos melhores fornecedores.

## 1.2 Objetivos Gerais

Busca-se neste trabalho de pesquisa, a utilização do Apoio Multicritério à Decisão para classificar os fornecedores de uma forma racional, baseado em modelos matemáticos para realizar esta avaliação. Ao lidar com critérios quantitativos e qualitativos, este método permite que seja levada em consideração a subjetividade inerente ao processo de avaliação de desempenho, trabalhando a questão de ordenação e classificação de fornecedores.

## 1.3 Objetivos Específicos

É importante para a organização que as respostas às demandas aos mais diversos problemas tenham embasamento técnico e forneçam informações para argumentação. A confiabilidade destas informações é que ajudarão os decisores a direcionar melhor os recursos.

A utilização da ferramenta Apoio Multicritério à Decisão proporcionará ao processo uma avaliação sistemática e flexível, visando reduzir o tempo e a complexidade na avaliação dos fornecedores, tendo como benefícios da classificação e ordenação:

- Aprofundar os conhecimentos em Apoio Multicritério à Decisão;

- Levantar as informações com relação aos fornecedores;
- Desenvolver ferramenta computacional para resolução do método ELECTRE TRI.

## 1.4 Metodologia

Para elaboração deste trabalho é realizada uma Revisão Bibliográfica. Esta fase consiste na pesquisa, estudo e compreensão dos métodos Apoio Multicritério à Decisão disponíveis principalmente em livros, artigos de periódicos e materiais disponibilizados na *internet*. Tem por objetivo principal gerar conhecimento e embasamento teórico para aplicação prática dirigida ao estudo de caso [33].

Na fase do estudo de caso, a primeira atividade a ser feita é a descrição do problema para melhor entendimento da problemática a ser resolvida. Em seguida, será feito o levantamento de todos os dados necessários à modelagem de acordo com as premissas em Apoio Multicritério à Decisão. De posse de todos os dados necessários, será realizada a implementação do método em uma linguagem de programação. Ao final, ponderações e conclusões serão feitas à luz dos resultados obtidos pela modelagem, bem como a viabilidade da utilização deste tipo de abordagem [33].

## 1.5 Delimitação desta pesquisa

Segundo Bouyssou e Marchant [9] os métodos de classificação comparam as alternativas com valores pré-determinados pelo decisor, o que normalmente expressa o seu nível de aspiração com relação àquelas alternativas.

O método ELECTRE TRI [52], é empregado para classificar alternativas ou ações potenciais com níveis de referência estabelecidos previamente para qualificá-las, por exemplo, em boas ou ruins. Desta forma, este método não é apropriado para realizar outros tipos de modelagem como a ordenação ou seleção de alternativas dentro de um universo. Caso queira-se ordenar ou selecionar alternativas, outros métodos devem ser empregados, como por exemplo, TODIM (Tomada de Decisão Interativa Multicritério) [21] ou ELECTRE II [43].

## 1.6 Estruturação da dissertação

No Capítulo 1 foi apresentando os objetivos da pesquisa. Este trabalho é organizado da seguinte maneira:

- Capítulo 2 - revisão bibliográfica, para se obter conhecimento a respeito do Apoio Multicritério à Decisão para justificar a escolha do método.
- Capítulo 3 - descrição detalhada do Método ELECTRE TRI.
- Capítulo 4 - aplicação prática do ELECTRE TRI. Para o estudo do método, escolheu-se avaliar fornecedores de uma empresa automotiva.
- Capítulo 5 - conclusão baseada nos resultados obtidos, bem como propostas para trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## Revisão Bibliográfica

Este capítulo se dedica à busca de conhecimento que irá sustentar a elaboração desta dissertação. É feita uma revisão sobre o Apoio Multicritério à Decisão: histórico, classificação, métodos disponíveis e justificativa para escolha do método ELECTRE.

### 2.1 Apoio Multicritério à Decisão

Apoio Multicritério à Decisão é uma área da Pesquisa Operacional que trata de problemas decisórios que empregam vários critérios, geralmente conflitantes, para analisar as alternativas que se apresentam como soluções do problema abordado. Os resultados obtidos em problemas desta natureza apresentam certo grau de complexidade, justificando a sua utilização como ferramenta poderosa a um custo acessível na busca da melhor solução [40]. O objetivo principal do Apoio Multicritério à Decisão é empregar um método para fazer uma análise sistemática do problema de decisão, elegendo desta forma a melhor alternativa.

Na década de 1960, a pesquisa operacional era basicamente voltada para a formulação adequada de problemas de otimização, buscando encontrar um valor ou conjunto de valores ótimos. Esta abordagem apresentava como características principais um conjunto bem definido de alternativas, uma única função de valor  $f$  que mostra precisamente as preferências do decisor e uma boa formulação matemática do problema [44].

Porém, a partir de 1970, aumentou o interesse pelas metodologias multicritério, dada a necessidade de se tratar sistemicamente uma crescente multiplicidade de alternativas as quais as organizações se deparam dentro de um contexto de crescente instabilidade e incertezas. Surgiram, então, os primeiros métodos de Apoio Multicritério à Decisão,

com o intuito de enfrentar situações específicas, nas quais um decisor deveria resolver um problema onde havia vários os objetivos a serem alcançados de forma simultânea [19]. Estes métodos criam uma estrutura organizada, de forma a haver coerência entre os valores subjacentes, objetivos, metas e a decisão final, escolhendo, classificando ou triando alternativas.

Os componentes básicos dos métodos de apoio á decisão são: um conjunto finito ou infinito de ações, no mínimo dois critérios e um decisor [15]. O decisor pode ser um indivíduo ou um grupo de indivíduos que tomam a decisão de acordo com suas preferências ou desempenho das alternativas ou ambos os casos; decisão é o processo que leva á escolha de uma ou mais alternativas dentre todas apresentadas, e alternativa é uma das possibilidades que compõem o objeto da decisão, qualificada como potencial quando existe algum interesse no âmbito do processo decisório ou quando esta pode ser implementada, e pode ser identificada no início ou no decorrer do processo.

## 2.2 Elementos do Apoio Multicritério à Decisão

Em um problema de decisão com múltiplos critérios é necessário fazer algumas definições dos termos que são utilizados e as suas respectivas notações. Segundo Bouyssou [10], os elementos básicos de um problema de decisão multicritério são:

- **Decisores:** indivíduos que fazem escolhas e assumem preferências, como uma entidade única, agente ou tomador de decisão. Neste contexto pode-se considerar também como decisor um grupo de pessoas ou uma única pessoa dentro de um problema.
- **Analista/Agente de Decisão:** pessoa encarregada de interpretar e quantificar as opiniões dos decisores, estruturar o problema, elaborar o modelo matemático e apresentar os resultados. Conhecedora das técnicas irá promover a análise decisória buscando elementos que possam ser agregados a esta, de modo a enriquecer de informação a abordagem do problema, fornecendo as respostas ao decisor para auxiliar na tomada de decisão.
- **Especialistas:** pessoa com grande conhecimento técnico e vivência em uma área específica da abordagem do problema. No processo de formulação do problema eles são consultados e emitem pareceres, muitas vezes subjetivos, que são incorporados na análise decisória de maneira decisiva.

- **Pessoas Afetadas pela decisão:** são aquelas pessoas que de maneira direta ou indiretamente são afetadas pela decisão. Estas pessoas têm normalmente que participar de alguma forma do processo decisório.
- **Modelo:** conjunto de regras e operações matemáticas que permitem transformar as preferências e opiniões dos decisores em um resultado quantitativo.
- **Alternativas:** ações que podem ser avaliadas isoladamente. Representam diferentes cursos de ação, diferentes hipóteses sobre a natureza de uma característica, diferentes conjuntos de características entre outras.
- **Critérios:** ferramentas que permitem a comparação das ações em relação a pontos de vista particulares de modo que seja significativo comparar duas alternativas de acordo com um ponto de vista particular.

Em muitos problemas as funções das pessoas envolvidas em um problema de decisão se confundem, pois o agente de decisão pode ser um especialista e este além do conhecimento específico numa área pode ser também um decisor.

## 2.3 Elaboração dos Problemas em Apoio Multicritério à Decisão

Nos problemas Apoio Multicritério à Decisão, os decisores buscam determinar a melhor solução em função do problema abordado. Logo, as metodologias do Apoio Multicritério à Decisão são elaboradas de modo que [37, 39]:

- Todas as soluções previstas devem ser mutuamente exclusivas;
- O conjunto de soluções deve ser bem definido;
- A solução pode ser listada de modo incontestável da pior para a melhor [37, 39].

Segundo Bouyssou [10], uma abordagem multicritério apresenta as seguintes vantagens:

- Constituição de uma base para o diálogo entre os diferentes agentes de decisão (interventores);
- Possibilidade concreta de se trabalhar com subjetividades e incorporar incertezas e imprecisões;

- Visualização de cada solução potencial satisfatória como compromisso entre os diferentes pontos de vista em conflito;
- Considerar explicitamente os possíveis resultados, realçar fatores chave, facilitar de projetos com riscos diferentes, explicitar os julgamentos sobre risco e tomar decisões que envolvam investimentos complexos.

Os procedimentos que devem ser considerados ao se elaborar um modelo de decisão são[10]:

- Efetuar o levantamento de informações pelos especialistas envolvidos;
- Realizar a formulação do problema de acordo com os dados levantados, envolvendo processos estatísticos e variáveis qualitativas;
- Demonstrar as alternativas viáveis a serem analisados aplicando diferentes técnicas de Apoio Multicritério à Decisão;
- Escolher um (s) modelo (s) Apoio Multicritério à Decisão;
- Comparar os resultados encontrados pelos métodos usados, com os devidos valores de pesos de comparação inseridos para cada método;
- Escolher o modelo ideal a ser aplicado na tomada de decisão.

## 2.4 Vantagens e Desvantagens do Apoio Multicritério à Decisão

Quando é levada em consideração a utilização das abordagens multicritério, têm-se as seguintes vantagens:

1. Definir e evidenciar a responsabilidade do decisor;
2. Melhorar a transparência do processo de decisão;
3. Criar um consenso geral em um grupo multidisciplinar na tomada de decisão, não sendo necessário que todos concordem com a importância relativa dos critérios ou o *ranking* das alternativas, mas as conclusões devem ser realizadas em conjunto [30];
4. Construir uma base para o diálogo entre analistas e decisores que possuem pontos de vista comuns;

5. Facilitar a inclusão de incertezas aos dados sobre cada ponto de vista;
6. Interpretar as alternativas como um acordo entre objetivos conflitantes e a divisão do processo de construção do modelo;

Como desvantagens pode-se citar:

1. O problema pode estar sujeito a uma série de restrições, surgindo conflitos entre a maximização ou minimização dos objetivos.
2. O nível de informações requeridas para modelagem do problema pode ser muito grande, dependendo do método utilizado;
3. Dificuldade no estabelecimento das metas a serem atingidas.

## 2.5 Processo de decisão

O processo de decisão em um ambiente complexo normalmente envolve informações imprecisas e/ou incompletas, múltiplos critérios de escolha e vários agentes de decisão [20]. Outro fator importante é que os problemas de decisão normalmente envolvem múltiplos objetivos conflitantes entre, ou seja, a escolha por um deles implica em prejuízo do outro [22].

A tomada de decisão deve buscar a opção que apresente o melhor resultado e as suas disponibilidades em adotá-la, considerando a relação entre elementos objetivos e subjetivos [48]. De acordo com Bana e Costa e Vansnick [6] este é um sistema aberto, composto pelos atores, seus valores e seus objetivos.

Uma representação esquemática do processo de decisão é apresentada na Figura 2.1. Observa-se que os atores são identificados como facilitadores e decisores. O facilitador esclarece o processo de avaliação e negociação, melhorando a comunicação entre os atores, e constrói um modelo que considere os pontos de vistas dos atores e seus juízos de valores [23]. Já os decisores são aqueles a quem foi delegado o poder de decisão, podendo intervir na construção e na utilização do modelo como ferramenta de avaliação [14].

Logo, a tomada de decisão pode ser definida como um esforço para resolver questões relativas aos objetivos conflitantes, o que impede a existência de uma solução ótima e conduz para a procura da solução de melhor acordo [46]. Nota-se, portanto, que a complexidade da tomada de decisão justifica a utilização de métodos de apoio à decisão.

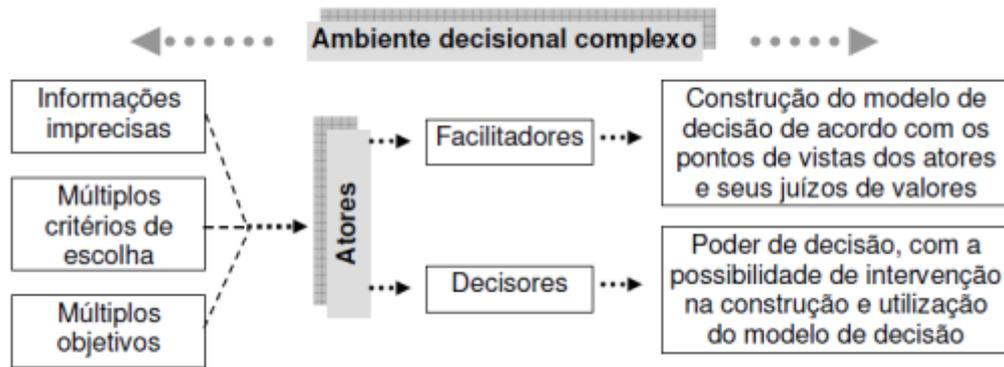


Figura 2.1: Sistema de tomada de decisão - Schmidt e Vilas Boas [46, 50]

## 2.6 Execução da Análise Multicritério

Segundo Soares [48], as etapas da análise multicritério são:

1. Formulação do problema: o problema a ser resolvido deve ser descrito de forma simples, de maneira a gerar informações sobre o objeto de decisão.
2. Determinação de um conjunto de alternativas que atendam ao problema.
3. Definição de um conjunto de critérios que permita avaliar os efeitos causados pela ação ao meio ambiente. Ao se realizar a construção de critérios, é normal utilizar parâmetros e indicadores. Eles indicarão quais são os critérios que devem ser avaliados.
4. Avaliação dos critérios através da criação de uma matriz de desempenho onde as linhas correspondem à ações a avaliar, e as colunas, os respectivos critérios estabelecidos.
5. Determinação de pesos dos critérios e limites de discriminação. Os pesos representam a importância relativa de cada critério.
6. Agregação dos critérios, que tem por objetivo associar as avaliações dos diferentes critérios para cada ação. As ações são comparadas entre si por um julgamento relativo do valor de cada ação.

A Figura 2.2 apresenta, de forma esquemática, as etapas do processo de análise multicritérios de apoio à decisão.

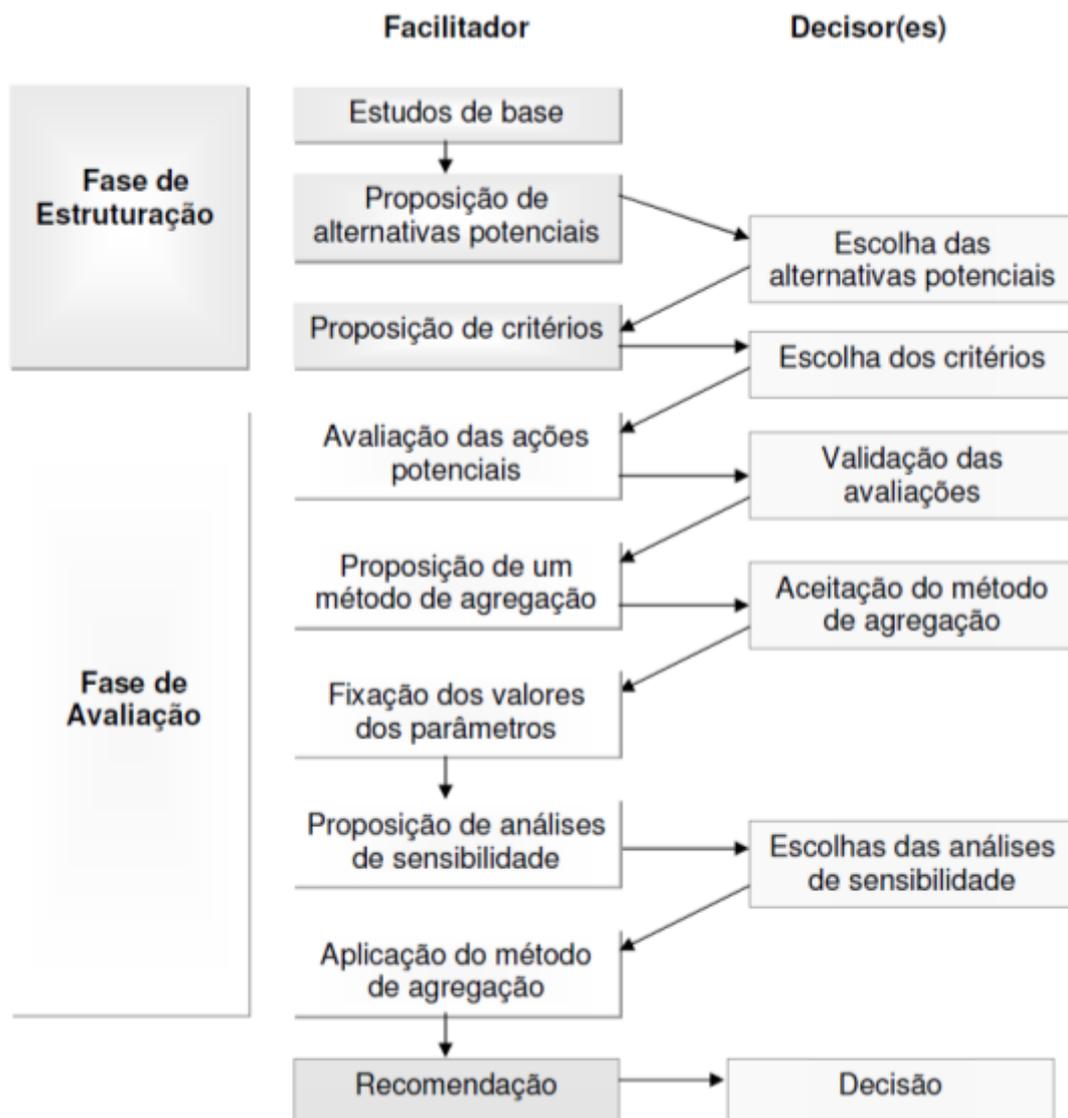


Figura 2.2: Etapas do processo Apoio Multicritério à Decisão - Soares e Vilas Boas [48, 50]

As etapas acima descritas consistem em uma fase de estruturação, onde o modelo é efetivamente construído levando em consideração todos os aspectos. Esta fase os estudos conduzem à identificação, caracterização e hierarquização dos principais atores intervenientes e à explicitação das alternativas de decisão potenciais que se pretendem comparar à luz de um conjunto de critérios de avaliação que são definidos de acordo com os pontos de vista dos atores [6].

Outra fase é a de avaliação, onde são criadas formas de medir os aspectos considerados importantes. Aqui a análise de sensibilidade e robustez se esclarece a escolha, com a valoração das alternativas através da articulação e modelagem das preferências [6].

Por fim, são propostas as recomendações aos decisores. A Figura 2.3 ilustra bem esse processo.

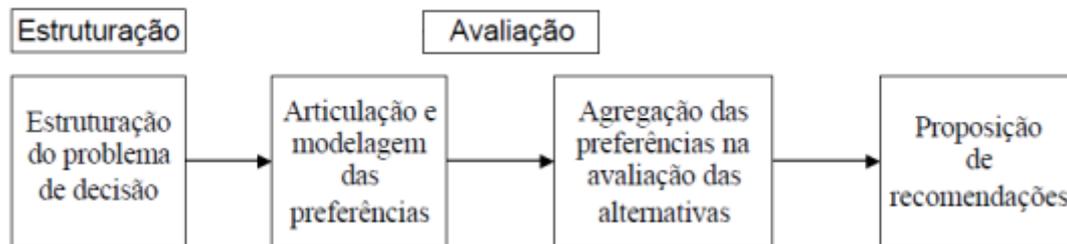


Figura 2.3: Fases de aplicação dos métodos Apoio Multicritério à Decisão - Gartner e Vilas Boas [16, 50]

## 2.7 Problemáticas de Apoio Multicritério à Decisão

No contexto do Apoio Multicritério à Decisão, o resultado pretendido em cada tipo de problema pode ser identificado em um dos quatro tipos de problemática de referência [18]:

- Escolha (*choice*) na qual se busca identificar a melhor alternativa ou selecionar um conjunto limitado das melhores alternativas. Esta situação é denotada por Problemática P- $\alpha$  em [44]. Segundo Gomes, Gomes e Almeida [18] seu objetivo é esclarecer a decisão pela escolha de um subconjunto tão restrito quanto possível, tendo em vista a escolha final de uma única ação. Esse conjunto conterá as melhores ações ou as ações satisfatórias;
- Classificação (*classification / sorting*), na qual a intenção é classificar as alternativas em grupos homogêneos pré-definidos e que guardem algum tipo de ordem de preferência ou importância entre si, tal como acontece em classificações do tipo ABC de Pareto. Esta situação é denotada por Problemática P- $\beta$  em [44]. De acordo com Gomes, Gomes e Almeida [18] tem como objetivo esclarecer a decisão por uma triagem resultante da alocação de cada ação a uma categoria (ou classe). As diferentes categorias são definidas a priori com base em normas aplicáveis ao conjunto de ações;
- Ordenação (*ranking*), na qual se busca construir uma lista ordenada das alternativas, das melhores para as piores. Esta situação é denotada por Problemática P- $\gamma$  em [44]. Para Gomes, Gomes e Almeida [18] ela têm como objetivo esclarecer a decisão

por um arranjo obtido pelo reagrupamento de todas ou parte (as mais satisfatórias) das ações em classes de equivalência. Essas classes são ordenadas de modo completo ou parcial, conforme as preferências;

- Descrição (*description*), cujo propósito é identificar e descrever as principais características que distinguem as alternativas. Esta situação é denotada por Problemática  $P-\delta$  em [44]. Para Gomes, Gomes e Almeida [18] ela tem como objetivo esclarecer a decisão por uma descrição, em linguagem apropriada, das ações e de suas consequências.

No que se refere à Problemática  $P-\beta$  deve-se entendê-la como classificação ordenada, em vez de utilizar simplesmente classificação. Isto se deve ao fato de que em  $P-\beta$ , na análise de Roy e Bouyssou [44], há uma relação de ordem entre as classes ou categorias às quais as alternativas são associadas. Se não houver uma ordem de preferência ou importância entre as classes, o termo classificação deve ser usado para descrever a problemática de categorização, abrangendo problemas não previstos nas problemáticas apontadas por Roy e Bouyssou [44], entre outros problemas de classificação.

O problema de classificação ordenada por muitos critérios apresenta dificuldades que têm suscitado o uso de modelos e métodos complexos, o qual se destaca o método ELECTRE TRI [52, 35] com classes de referência que são definidas por limites de classe, os quais são usualmente determinados através de julgamentos subjetivos, no contexto dos métodos da Escola Francesa. Já nos métodos de classificação da Escola Americana, tem-se, por exemplo, o método de classificação denominado UTADIS (Utilités Additives Discriminantes) [26].

## 2.8 Modelagem das Preferências em Apoio Multicritério à Decisão

De acordo com Gomes, Araya e Carignano [19], são quatro as situações fundamentais e mutuamente excludentes das preferências do decisor:

- Indiferença (I): existe clara equivalência entre as duas alternativas. Essa relação é expressa por  $aIb$  e é simétrica e reflexiva.
- Preferência Estrita (P): o decisor prefere estritamente e sem dúvida uma alternativa a outra. Essa relação é expressa por  $aPb$  e é uma relação assimétrica e irreflexiva.

- Preferência Fraca (Q): o decisor não consegue definir se prefere uma alternativa a outra ou se essas são indiferentes. Essa relação é expressa por  $aQb$  e, assim como a preferência estrita, também é uma relação assimétrica e irreflexiva.
- Incomparabilidade (R ou NC): situação que não se enquadra em nenhuma das situações anteriores. É denominada por  $aRb$  e é simétrica e irreflexiva.

A Preferência Fraca e Incomparabilidade foram introduzidas pela Escola Francesa, nos métodos da família ELECTRE para expressar situações onde o decisor dificilmente consegue identificar nem a Preferência Estrita ou Indiferença [1]. Segundo Gomes, Araya e Carignano [19] essas situações podem ocorrer quando os agentes de decisão:

- Não conseguem decidir entre duas alternativas (informação incompleta ou não subjetiva);
- Não conseguem determinar as reais preferências dos decisores por serem inacessíveis.
- Não conseguem discriminar uma alternativa.
- Não-preferência ( $\succ$ ): situação em que as alternativas são indiferentes ou incomparáveis para o decisor, isto é,  $a \succ b$  se e somente se  $aIb$  ou  $aRb$ .
- Preferência (em sentido amplo): o decisor não é capaz de definir se há preferência estrita ou fraca entre duas alternativas. Nesse caso,  $aSb$  se e somente se  $aPb$  ou  $aQb$ .
- Presunção de preferência (J): quando o decisor tem uma preferência fraca por uma alternativa e que, no limite, ela pode chegar a indiferença. Essa situação é representada por  $aJb$  se e somente se  $aQb$  ou  $aIb$ .
- K-preferência (K): o decisor se depara com uma situação em que ou tem uma preferência estrita por uma alternativa ou identifica uma incomparabilidade entre as alternativas. A reação é representada por  $aKb$  se e somente se  $aPb$  ou  $aRb$ .
- Superação (S): combina três situações (preferência estrita, preferência fraca e indiferença) sem que o decisor seja capaz de distingui-las. Assim,  $aSb$  se e somente se  $aPb$  ou  $aQb$  ou  $aIb$ .

## 2.9 Estrutura de preferência

Com relação as estruturas de preferência do Apoio Multicritério à Decisão tem-se:

- Ordem completa: relação onde existe a noção intuitiva de classificação das alternativas sem possibilidade de empate [17], chamado modelo tradicional de preferência [37, 39].
- Pré-ordem completa: relação onde existe a noção intuitiva de classificação das alternativas com possibilidade de empate por similaridade [17], chamado "modelo tradicional" de preferência [37, 39].
- Quase-ordem e ordem de intervalo: ambos levam em consideração a possibilidade de que a relação simétrica não é perfeitamente transitiva em casos extremos, normalmente definidos pelo limite da indiferença ( $q$ ). A diferença entre a quase-ordem e a ordem de intervalo é que a primeira é uma ordem de intervalo  $q$  é constante.
- Pré-ordem parcial: generalização da pré-ordem completa, conta com três relações binárias em um conjunto de alternativas. Apesar de manter a transitividade, permite a incomparabilidade na classificação.
- Pseudo-ordem: é semelhante à quase-ordem com uma relação binária adicional. Corresponde à preferência fraca e se dá por meio da introdução de um limite de preferência  $p$ . A pseudo-ordem é a estrutura utilizada nos métodos ELECTRE [43, 41, 52] em que são admitidos três tipos de relações binárias: a preferência estrita (P), a preferência fraca (Q) e a indiferença (I), delimitadas pelos limites de indiferença ( $q$ ) e de preferência ( $p$ ).

## 2.10 Classificação dos métodos de Apoio Multicritério à Decisão

Existem diversas classificações para os métodos de Apoio Multicritério à Decisão. Segundo Almeida [5], uma classificação muito usada na literatura para os métodos Apoio Multicritério à Decisão é [44, 51]:

- Métodos de critério único de síntese; são assim chamados, pois agregam os critérios em um único critério de síntese;
- Métodos de Sobreclassificação (*Outranking, Surclassement*); superação, prevalência ou subordinação;
- Métodos Interativos.

Os métodos interativos podem estar associados a problemas discretos ou contínuos e utilizam procedimentos. No primeiro grupo destaca-se a *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT) ou Teoria da Utilidade Multiatributo [26]. Há outros métodos que fazem agregação através de um critério de síntese. Outras abordagens nesta linha são apresentadas na literatura, dentre as quais: SMARTS (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*) [13], AHP (*Analytic Hierarchy Process*) [45], MACBETH (*Measuring Attractiveness by Categorical Based Evolution Technique*) [6]. No segundo grupo, destaca-se a família dos métodos ELECTRE *ELimination Et Choix Traduisant la réalité* [43, 41, 52] e PROMÉTHÉE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) [8].

Outra classificação para métodos Apoio Multicritério à Decisão é dada por Pardalos [36]:

- Programação Matemática Multiobjetivo;
- Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) [26];
- Métodos de Sobreclassificação (*Outranking*); superação, prevalência ou subordinação;
- Abordagem de Desagregação de Preferências.

A Abordagem de Desagregação de Preferências pode ser considerada um caso particular de critério único de síntese. Almeida diz que nestes métodos faz-se uma avaliação global das alternativas, com base em avaliações do decisor, depois é construída uma função de avaliação e agregação por critérios [5]. Ainda conforme Almeida [5] há alguns métodos ou tipo de métodos que têm características encontradas em métodos específicos dentre os três tipos mencionado na primeira classificação. São eles:

- Métodos de agregação ordinal: Desenvolvem a agregação dos critérios para os casos em que as avaliações intra-critério são apresentadas através de informações ordinais. Alguns métodos de sobreclassificação consideram este tipo de avaliação.
- Métodos de agregação baseados em informação parcial: são considerados quando não se dispõe de todas as informações para se desenvolver a avaliação. Estes métodos podem estar associados a qualquer dos três tipos de métodos da classificação acima.
- Métodos com Lógica Fuzzy: São utilizados para tratamento de problemas onde se considera imprecisão nas informações. Algumas vezes se usa o termo incertezas nas

informações, que se distingue do conceito usado nos métodos baseados em teoria da utilidade. No caso de método com Lógica Fuzzy, esta incerteza está associada a dificuldades que o decisor pode ter para especificar preferências de forma completa.

Outra classificação dada por Gomes, Gomes e Almeida [18] divide os métodos Apoio Multicritério à Decisão em três grandes grupos:

Primeiro grupo: quanto à teoria em que se baseiam:

a) Classificação segundo a Escola Americana

Caso determinado critério/atributo seja considerado pouco importante diante de outros, ele receberá um peso inferior ao peso atribuído áqueles de maior importância. Logo, a importância relativa de cada critério advém do conceito de taxa de substituição (*trade-off*). Essa abordagem também é definida como critério único de síntese, que exclui a incomparabilidade [18].

Esta Teoria assume que:

- Todos os estados são comparáveis (não existe a incomparabilidade);
- Existe transitividade na relação de preferências;
- Existe transitividade nas relações de indiferença.

A função de utilidade, desenvolvida durante a estruturação do problema, é obtida por meio de análises multicritério tem por objetivo agrupar os múltiplos critérios e auxiliar o decisor na seleção das alternativas, representando matematicamente julgamentos humanos, que podem usar gráficos, escalas numéricas [18].

b) Métodos de Subordinação e Síntese ou Escola Francesa (Escola Européia)

Nesta classificação o decisor pode deparar-se com uma das quatro situações ao comparar duas alternativas [44]:

- Uma alternativa é preferida a outra com preferência forte, também denominada sem hesitação;
- Uma alternativa é preferida a outra com preferência fraca também denominada com hesitação;
- Uma alternativa é indiferente à outra;

- Uma alternativa é incomparável à outra.

Não existe uma função de valor ou utilidade, transitividade de preferências e/ou indiferenças. A utilização desses métodos não pressupõe uma definição de preferências por parte do decisor [18], de modo que o processo de modelagem possa ordenar (pelo menos parcialmente) as alternativas em termos relativos, mesmo quando a informação de que se dispõe sobre as preferências paritárias, critério a critério, é pobre, no entanto, não é possível a indicação do mérito global de cada alternativa [7];

A Escola Francesa adota as seguintes convicções básicas:

- Onipresença da subjetividade no processo decisório;
- Paradigma da aprendizagem pela participação;
- Convicção do construtivismo, ou seja, o facilitador ajuda a construir o modelo de preferências dos decisores, para o momento e a situação em estudo, com o objetivo de fazer recomendações. Logo, o envolvimento dos atores do processo de decisão dá-se durante todas as fases do processo de apoio à decisão. Os atores aprendem juntos sobre o problema enfocado.
- Permite levar em conta os aspectos subjetivos do grupo de decisores.
- Reconhecimento das limitações do ótimo matemático e utilização de uma abordagem que não parte de quaisquer condições, mas procura construir um modelo de elementos-chaves que capacitam os atores do processo de decisão a evoluir no processo decisório, como resultado pura e simplesmente de seus próprios objetivos, convicções e sistemas de valores [44].

#### c) Classificação Métodos Iterativos

São aplicados em Sistemas Informáticos Iterativos (SII) para apoiar e melhorar os processos de decisão em tarefas complexas e mal estruturadas que requerem a apreciação crítica e o julgamento dos agentes de decisão [18].

#### d) Classificação Híbrida

É atribuída a métodos que utilizam conceitos de duas ou mais das escolas anteriores [18].

e) Classificação de métodos em outras Escolas: não utilizam os conceitos das escolas anteriores [18].

Segundo Grupo: métodos puros ou que agregam conceitos diferentes das Escolas Americana, Escola Francesa e dos métodos Iterativos. Neste grupo pode-se citar o AHP com Teoria dos Conjuntos Nebulosos [45], ELECTRE III [42] e o Thor.

Terceiro Grupo: métodos utilizados para decisão em grupo/negociação ou para explicar a preferência de um único decisor. Os métodos pertencente a esse grupo procuram identificar qual teoria melhor se aplica ao problema em estudo e utiliza de outras diferentes teorias de forma associada, buscando sempre melhor compreensão do problema [18].

De acordo com Vincke, s métodos Apoio Multicritério à Decisão tambodem ser divididos em três grandes famílias [51]:

Teoria de Utilidade Multiatributo;

Métodos de Subordinação e Síntese;

Métodos Iterativos.

A Teoria de Utilidade Multiatributo, consiste em agregar os diferentes pontos de vista em uma função única, resumindo-se em um problema de otimização. Os trabalhos relativos a esta família estudam as condições matemáticas de agregação, as formas particulares da função de agregação e os métodos de sua construção [51].

Os Métodos de Subordinação e Síntese visam construir relações que representem as preferências, solidamente estabelecidas, do decisor, em relação às informações disponíveis. Esta relação pode não ser, em geral, nem completa nem transitiva. A segunda etapa deste processo consiste em explorar a relação de subordinação e síntese auxiliando o agente de decisão a resolver o seu problema.

Os Métodos Iterativos, a mais recente teoria, propõe métodos que alternam etapas de cálculos e etapas de diálogos, fornecendo informações suplementares às preferências do agente de decisão.

## 2.11 Principais métodos Apoio Multicritério à Decisão

### 2.11.1 Metodo MAUT

A MAUT foi derivada da Teoria da Utilidade [27]. Este método incorpora á teoria da utilidade a questão do tratamento de problemas com múltiplos objetivos, que são representados pelos atributos [27]. MAUT está associada a outros temas, tais como teoria dos jogos e teoria da decisão. Sendo muito utilizada na década 1970, a MAUT caracteriza-se pela definição de uma função de utilidade destinada a representar as preferências dos decisores em termos de múltiplos atributos, levando-se sempre em consideração o comportamento racional dos avaliadores. Esta teoria fundamenta-se numa estrutura de preferência que considera somente as relações de preferência e indiferença envolvendo a propriedade da transitividade [27].

A Teoria da Utilidade Multiatributo busca representar as preferências do decisor para cada critério ou atributo em uma função  $U_i$ , de forma que, uma ação  $a$  é melhor que uma ação  $b$  para um critério  $i$ , se e somente se,  $U_i(a) > U_i(b)$ . Em seguida essas funções são agregadas em uma única função global  $U$ , a fim de que o problema inicial envolvendo múltiplos critérios possa ser substituído por um problema monocritério.

O decisor escolherá, então, sem qualquer tipo de ambiguidade uma e somente uma dentre as seguintes possibilidades:

- $aPb$ :  $a$  é estritamente preferida a  $b$ ;
- $bPa$ :  $b$  é estritamente preferida a  $a$ ,
- $aIb$ :  $a$  é indiferente a  $b$ .

Para definir uma função  $U$ , é importante diferenciar o tipo de problema. Quando os resultados não envolvem algum grau de risco, o problema de decisão pode ser abordado através de uma função de valor. Mas, se envolvem algum risco, pode então ser utilizada uma função de utilidade mediante o cálculo de uma utilidade esperada [27].

Na literatura, duas abordagens são reconhecidas: a preditiva e a prescritiva. Na primeira, as suposições representam as preferências do decisor de forma que o modelo seja capaz de antecipar as suas ações. Na última, suposições definem o que é uma atitude racional para o decisor, de forma que o modelo seja o seu guia [27].

Na agregação da utilidade global, existe um conjunto de regras agrupadas em duas

categorias: Regras compensatórias existe uma função  $U$  que permite agregar os critérios. Deve também existir funções para mensurar a quantidade que o decisor está disposto a ceder do  $j^{th}$  critério para obter uma unidade do  $i^{th}$  critério. Regras não compensatórias verifica se o conjunto de critérios sobre os quais um critério é preferido a outro, por exemplo,  $aPb$ , e mais importante que o subconjunto de critérios sobre os quais a situação é contrária  $bPa$ . Desta forma, a diferenciação e especificação da importância relativa dos critérios é seu ponto central [27].

A combinação das duas situações mostra o grau de contribuição dessa alternativa no objetivo do problema, onde a forma mais usual corresponde a uma combinação linear dessas funções.

### 2.11.2 Método SMART

O Método SMART desenvolvido por Ward Edwards na década de 1980, baseando os julgamentos na própria escala original daquele critério para as alternativas, quando estas existirem [13].

O método SMARTS sintetiza os critérios, como o MAUT, em um único valor. Porém, em relação do MAUT há como principais diferenças não trabalhar num contexto probabilístico; as funções de valor dos critérios possuem apenas quatro formas possíveis e a descrição das constantes de escala é realizada pelo procedimento denominado de *swing weights* [13].

Mas, esta lógica não pode ser aplicada porque os métodos aditivos trabalham com um intervalo de escala. Para resolver este problema foi criado o método denominado de *swing weights*, que é composto dos seguintes passos [13]:

Passo 1: definição dos decisores e do propósito da problema;

Passo 2: obtenção de uma estrutura ou de uma lista de atributos potencialmente relevantes para o propósito do modelo a ser desenvolvido;

Passo 3: definição das alternativas;

Passo 4: formular matriz das alternativas pelos critérios;

Passo 5: retirar as opções dominadas;

Passo 6: definição do formato da função valor unidimensional para cada critério;

Passo 7 e 8: aplicação do *swing weights*.

Este procedimento parte inicialmente da pergunta ao decisor sobre duas alternativas

hipotéticas. Na primeira definem-se os valores mínimos da escala para cada critério e a última recebe o maior valor possível para cada atributo;

Após definição da escala faz-se a pergunta de qual critério este decisor levaria da pior para a melhor alternativa. Com esta escala de referência define-se em que patamar estaria as outras constantes e depois se normaliza para uma soma igual a 1 [13].

### 2.11.3 Método AHP

O método AHP surgiu na década de 1970, criado por Saaty [45] baseando-se na decomposição do problema, julgamentos comparativos e síntese das prioridades. Os critérios podem ser qualitativos ou quantitativos, pois as comparações são feitas de forma relativa entre as alternativas [45].

O AHP pode ser entendido da seguinte forma:

Processo: auxilia os decisores a encontrar a melhor resposta para suas questões, levando-os à reflexão profunda sobre a estruturação do problema, num processo constante de aquisição de conhecimento.

Análise: utiliza uma forma de análise de expressões que significa a separação de quaisquer entidades abstratas ou materiais em seus elementos componentes. Em seu processo de análise, o AHP auxilia na mensuração e síntese dos múltiplos fatores envolvidos em decisões complexas;

Hierárquico: o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, os quais representam a situação de decisão nos seguintes níveis: objetivos, critérios e subcritérios, e alternativas [45].

A aplicação do AHP em problemas de decisão é feita nas seguintes fases [45]:

Primeira fase: construção da hierarquia Esta etapa consiste em elaborar uma árvore de decisão onde objetivo maior situa-se no topo e, logo abaixo, localizam-se os critérios associados ao problema de decisão. De acordo com a complexidade do problema há a necessidade que outros níveis, ou subcritérios sejam criados e no último nível as alternativas são adicionadas na hierarquia.

Segunda fase: avaliação por comparação cada critério e/ou subcritério é comparado aos pares, em forma de matriz. A comparação é feita utilizando perguntas, onde as respostas obedecem a uma escala de valores, isto é, os julgamentos comparativos entre as alternativas para dado critério e também entre os subcritérios são feitos em escala, como expresso na Tabela 2.1. Por meio desta comparação serão determinados os pesos de cada critério.

Intensidade de Importâncias	Frações Utilizadas no Modelo
Mesma importância	1:1
Um pouco mais importante	3:1
Consideravelmente mais importante	5:1
Muito mais importante	7:1
Extremamente importante	9:1
Posições intermediárias	2,4,6,8

Tabela 2.1: Escala de Valores para Comparação Paritária - Saaty [45]

Terceira fase: Obter os pesos e checar a consistência da matriz - Os pesos determinam a importância relativa de cada critério. Este processo é denominado de normalização da matriz, no qual a resolução resulta no auto-vetor de prioridades, que expressa as importâncias relativas de cada critério, ou pesos. De posse das importâncias relativas dos critérios é testada a integridade dos julgamentos, calculada por um índice de inconsistência.

A escolha da decisão final deverá basear-se naquela alternativa que obtenha o maior escore (peso percentual). Este cálculo é efetuado pela multiplicação dos pesos de cada critério relacionado ternativa indicada [45].

#### 2.11.4 Método MACBETH

O Método MACBETH desenvolvido por Bana e Costa [6] é um método que se utiliza de modelos de programação linear para determinar funções de valor que venham a representar o julgamento dos decisores. Quando utilizado para resolver problemas multicritério, deve atender a duas questões essenciais e distintas:

- Para cada critério, atribuir notas para cada alternativa utilizando o *software MACBETH scores*, através de uma comparação par a par, classificando-as segundo os julgamentos do decisor;
- As alternativas são agregadas em uma nota única através de uma soma ponderada. Para isso é necessário atribuir pesos aos vários critérios utilizando o *software MACBETH weights* através de comparação par a par realizada de forma indireta através de sete alternativas fictícias que representam cada critério, possuindo o melhor valor possível para o critério que representa e pior valor para os demais critérios [6, 38].

Os seguintes passos para aplicação do MACBETH são [6]:

- Identificação dos critérios (pontos de vista fundamentais - PVFs);

- Definição dos indicadores para operacionalizar cada critério através de descritores de níveis de impacto;
- Construção de uma função-critério para cada critério (escala de valor local);
- Determinação dos coeficientes de ponderação dos critérios;
- Cálculo do valor global das alternativas.

A operacionalização dos critérios passa pela identificação dos descritores que permitem identificar o nível de impacto que determinada alternativa trará para um dado critério. Um indicador de impacto é um valor recebido por uma alternativa no descritor e representa uma regra para determinar o impacto de um critério [6].

### 2.11.5 Método PROMÉTHÉE

O PROMÉTHÉE, desenvolvido por Brans e Vincke [8] é um método de sobreclassificação que tem por características ser de fácil implementação e estável. Utiliza índices de preferência para determinar a intensidade global de preferência entre as alternativas, com o objetivo de se obter uma categorização parcial ou completa [2].

Ao se efetuar a análise do problema, seu objetivo ou resultado esperado é decomposto em critérios e as comparações entre as alternativas são feitas aos pares, pelo estabelecimento de uma relação que acompanha as margens de preferência ditadas pelos agentes decisores. Porém, apresenta certa dificuldade para o decisor no entendimento das funções de preferência, o que pode comprometer seu aproveitamento uma vez que sua robustez é depende dos limites de indiferença e preferência [2].

As seguintes implementações do PROMÉTHÉE são descritas na literatura [2]:

PROMÉTHÉE I: a interseção entre os fluxos anteriores estabelece uma relação de sobreclassificação parcial entre as alternativas.

PROMÉTHÉE II: classifica as alternativas, estabelecendo uma ordem decrescente completa entre as alternativas.

PROMÉTHÉE III e IV: foram desenvolvidas para o tratamento de problemas de decisão mais sofisticados, em particular com um componente estocástico.

PROMÉTHÉE V: após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas (PROMÉTHÉE II), são introduzidas restrições, identificadas no problema para as alternativas selecionadas, incorporando uma filosofia de otimização inteira.

PROMÉTHÉE VI: deve ser empregado quando o decisor não está apto ou não quer definir

precisamente os pesos para os critérios, pode-se especificar intervalos de possíveis valores em lugar de um valor fixo para cada peso.

### 2.11.6 Método TODIM

O método multicritério TODIM [21], além de modelar os padrões de preferência em decisões de risco, trabalha com critérios quantitativos e qualitativos, possuindo um grau de inteligibilidade satisfatório em comparação com outros métodos [17]. Pode ser considerado como o único método multicritério fundamentado na Teoria dos Prospectos [24], ou seja, enquanto em os outros métodos o decisor busca uma solução correspondente ao máximo de alguma medida global de valor, o TODIM faz uso da noção de uma medida global de valor calculável pela aplicação do paradigma em que consiste a Teoria dos Prospectos [17, 21].

O TODIM é ideal para resolução de problemas do tipo  $P-\gamma$  pelo fato de esclarecer a decisão por meio de uma ordenação das alternativas, combinando o enfoque multicritério com a Teoria de Prospectos. Suas características são [21]:

- Ser acessível aos profissionais sem formação específica em Apoio Multicritério à Decisão;
- Ordenar critérios hierarquicamente;
- Fornecer uma ordenação a partir da qual será gerada a recomendação de uma decisão;
- Abranger critérios quantitativos e qualitativos;
- Tratar de maneira adequada a interdependência dos critérios.

O método TODIM está estruturado em uma concepção construtivista, pois a solução do problema poderá ser construída ao longo de um processo interativo, através do envolvimento tanto do analista quanto dos agentes de decisão [17]. De maneira geral, esse método tem como procedimento:

- Formação de uma matriz de preferência, onde verifica-se o desempenho das alternativas em relação aos critérios [21];

- Comparação par a par entre as alternativas, realizadas em cada critério, gerando uma matriz de comparação das alternativas em cada critério;
- Tratamento matemático dos juízos de valor [19, 21].

### 2.11.7 Método UTADIS

O UTADIS foi apresentado primeiramente por Jacquet-Lagr e Siskos[12], é uma variante do método UTA (UTilites Additives Utilidade aditiva), [25, 38]. Na década de 1990 o método passou a ser de interesse dos pesquisadores do Apoio Multicritério à Decisão, sendo utilizado em 1995 por Jacquet-Lagreze [26] para avaliação de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento e, a partir de 1997, amplamente utilizado para classificação em modelos de tomada de decisão para área financeira. Diversas aplicações foram realizadas tais como [37, 38].

O objetivo do método é realizar a classificação das alternativas em  $q$  grupos preordenados através de uma função de utilidade aditiva, onde a partir do resultado da função para cada alternativa elas são atribuídas aos grupos  $C_i$  de forma que as com maior resultado fiquem no grupo  $C_1$  e as com os menores valores no  $C_q$ , onde  $i$  varia de 1 a  $q$ .

### 2.11.8 Métodos ELECTRE

O ELECTRE [44] foi desenvolvido na França, no Laboratório de Análise e Modelagem de Sistemas para Apoio à Decisão - Universidade de Paris Dauphine (LAMSADÉ). Este método parte do princípio de classificação de síntese, onde são estabelecidas relações de preferência entre as alternativas de acordo com diferentes critérios de avaliação e comparação [41].

Em julho de 1966, Bernard Roy apresentou em Roma um artigo em que usou formalismo matemático para desenvolver um sistema prático de tomada de decisão, hoje conhecido como ELECTRE [44]. Trata-se de uma análise sistemática da relação entre todos os pares possíveis de diferentes opções, com base na pontuação de cada opção sobre um conjunto de critérios comuns de avaliação [44]. O resultado é uma medida do grau em que cada opção supera as outras. A metodologia envolve a construção de uma relação superação, a geração de índices de concordância e discordância (incluindo a noção de importância relativa de cada critério) e uma análise dos resultados obtidos a partir de uma avaliação global de todas as relações superação derivadas [41].

Existem seis versões principais do ELECTRE - I, II, III, IV, IS e TRI [41, 42, 43, 44, 47, 52]. Em cada caso, as opções do projeto são avaliadas em termos de vários critérios, sendo cada critério uma medida das preferências dos decisores de acordo com algum ponto de vista. Apesar de adotarem o mesmo conceito, cada método da família ELECTRE busca resolver uma problemática diferente (seleção, classificação e ordenação), utilizando informações inter e intra critérios e analisando uma quantidade diferente de relações de superação, como se pode observar na Tabela. 2.2:

Versão	Autor	Ano	Tipo de Problema	Tipo de Critério	Utiliza Pesos
I	Roy	1968	Seleção	Simple	Sim
II	Roy e Bertier	1973	Ordenação	Simple	Sim
III	Roy	1978	Ordenação	Pseudo	Sim
IV	Roy e Hugonard	1982	Ordenação	Pseudo	Não
IS	Roy e Skalka	1985	Seleção	Pseudo	Sim
TRI	Yu	1992	Classificação	Pseudo	Sim

Tabela 2.2: Métodos da Família ELECTRE. Gomes, Araya e Carignano [19].

Em geral, como conceito básico do ELECTRE dentro de um problema multicritério à decisão, se diz que a opção  $a$  superará opção  $b$  se, dado o nível de conhecimento sobre as preferências do tomador de decisão e da qualidade da informação em todos os critérios relevantes disponíveis para cada opção, existem argumentos suficientes para que uma opção  $a$  seja, pelo menos tão boa quanto  $a$  opção  $b$  e não existem argumentos que contrariam a afirmação [41]. Para construir uma relação superação, esta definição deve ser enriquecida de tal modo a facilitar a solução do problema de decisão. O Método ELECTRE atua neste sentido em duas fases distintas:

- A construção da relação superação, e
- Exploração dessa relação.

Cada uma destas fases pode ser tratada de várias formas, dependendo da formulação do problema e a versão específica do ELECTRE [41].

## 2.12 Tipos de critérios utilizados no Apoio Multicritério à Decisão

Quatro tipos de critério são usados nos métodos de Apoio Multicritério à Decisão:

1. critérios verdadeiros;

2. semi-critério;
3. critério de um intervalo;
4. pseudo-critério.

Destes, apenas o primeiro e o último são usados dentro do ELECTRE. No entanto, é importante compreender as diferenças entre as quatro [41].

1. Critérios verdadeiros: forma de critério, usado dentro da chamada estrutura de preferência "tradicional", onde não existem limiares, e as diferenças entre as medidas de critério são usados para determinar qual opção é a preferida. A estrutura de classificação resultante é conhecida como uma pré-ordem completa [44]. Qualquer preferência ou estrutura de sobreclassificação pode ser completamente caracterizada pela relação de sobreclassificação,  $S$ , que define as condições necessárias para uma opção,  $a$  sobreclassifica  $b$ . Aqui uma opção  $a$  sobreclassifica  $b$ , se o tomador de decisão prefere ou é indiferente entre os dois. Isto é escrito como formalmente como:  $aSb$  se  $aPb$  ou  $aIb$

Dentro da estrutura "tradicional", a preferência dos decisores satisfaz o seguinte modelo:

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

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

Desde que

$$S = P \cup I, \quad aSb \Leftrightarrow g(a) \geq g(b),$$

A relação indiferença  $I$  é transitiva, ou seja:

$$aIb \text{ e } bIc \Leftrightarrow aIc$$

Esta estrutura de preferência é chamada de pré-ordem completo. Todas as opções podem ser classificadas do melhor para pior, permitindo um empate entre opções de igual valor. Se não houvesse laços, a relação se tornaria uma ordem completa [41]. Critérios verdadeiros são usados nas versões ELECTRE I e II.

2. Semi-Critérios: Estes são usados dentro do que é denominado um limiar modelo ou estrutura de preferência, onde existe uma diferença perceptível para um determinado critério. A diferença de pontuação entre duas opções devem exceder este limite para uma opção ser superior a outra. Isso permite levar em consideração a existia de possíveis erros ou incertezas na valora dos critérios ou alternativas [44]. Nesta situação, a estrutura subjacente é chamada de preferência uma estrutura semi-ordem

e ao contrário do modelo tradicional é intransitivo. Assim, no modo de limiar, a relação de Indiferença não é, por definição, transitiva [41]. Assim, a introdução de um limiar positivo  $q$ :

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q$$

$$aIb \Leftrightarrow |g(a) - g(b)| \leq q$$

3. Critérios de intervalo: Estes são usados dentro do denominado de modelo de limiar variável. Neste caso, os limiares podem variar de acordo com a escala das avaliações dos critérios a serem comparados, isto é,

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q(g(b))$$

$$aIb \Leftrightarrow g(a) \leq g(b) + q(g(b)) \text{ e } g(b) \leq g(a) + q(g(a))$$

Estas relações definir o modelo de limiar variável [41].

4. Pseudo-critérios: Envolve uma abordagem limite de dois níveis. O modelo de limiar variável definido anteriormente pode parecer irrealista porque define um valor preciso, acima do qual há uma preferência estrita, e abaixo não é indiferente. Exemplos da vida real demonstram que muitas vezes há uma zona intermediária dentro do qual as informações do tomador de decisão são contraditórias ou indeterminadas. Isto levou a um modelo de preferência que inclui explicitamente dois limites diferentes: uma indiferença limite  $q$ , sob o qual o tomador de decisão mostra indiferença clara e um limiar de preferência  $p$ , o qual o tomador de decisão é uma preferência estrita [41]. Há entre as situações anteriores uma "preferência fraca" da opção  $a$  sobre  $b$ , denotado  $aQb$  como se segue:

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) + p(g(b))$$

$$aQb \Leftrightarrow g(b) > p(g(b)) \geq \text{ e } g(a) \geq g(b) + q(g(b))$$

$$aIb \Leftrightarrow g(b) + q(g(b)) \geq g(a) \text{ e } g(a) + q(g(a)) \geq g(b)$$

A preferência fraca indica hesitação do decisor entre o limite de indiferença (I) e preferência estrita (P) [44]. Os métodos ELECTRE IS, III, IV e TRI usam pseudo-critérios [41, 42, 43, 44, 47, 52].

# Capítulo 3

## Método ELECTRE TRI

### 3.1 Introdução

O ELECTRE TRI [52] é um método de classificação que busca a definição de classes, onde cada alternativa deverá estar localizada, baseado nos níveis de aspiração do decisor. Para tanto, é necessário estabelecer, em primeiro lugar, a quantidade de níveis ou classes desejadas pelo decisor, alocando as alternativas em categorias pré-definidas, trabalhando, como dito na Seção 2.4, com a problemática  $P-\beta$  de classificação [41]. A Figura 3.1 mostra o modelo esquemático de aplicação do ELECTRE TRI.

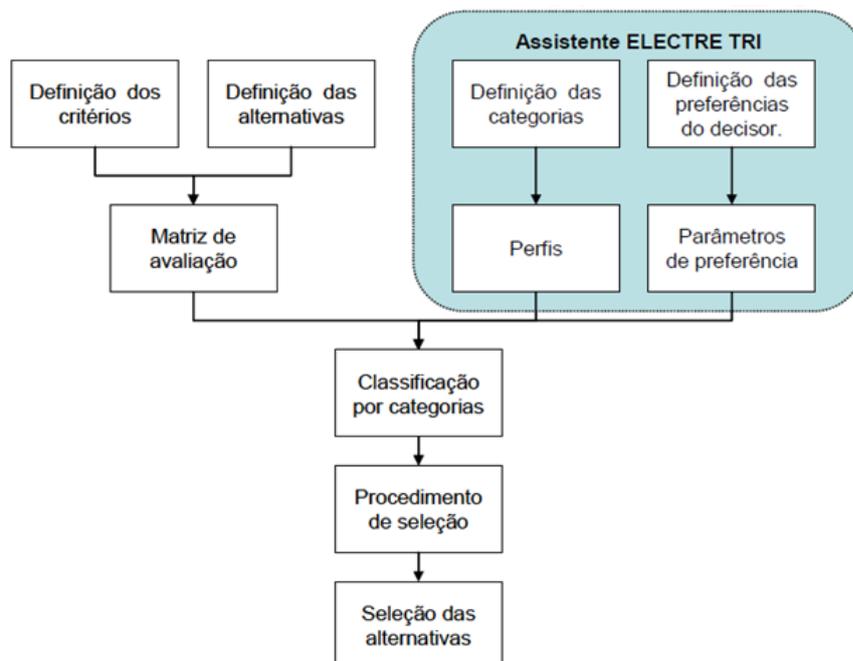


Figura 3.1: Esquema geral do ELECTRE TRI. Mousseau *et al* [35].

Segundo Szajubok *et al* [49], o ELECTRE TRI classifica as alternativas do problema através da comparação dessas alternativas com uma referência estável, isto é, um padrão ou alternativa de referência, denominada  $b_h$ . Para tanto é necessário identificar o nível de aspiração do decisor para cada critério a fim de obter os perfis  $g_j(b_h)$  das categorias ou classes. Para que seja possível essa comparação, são determinados os pesos  $(w_1, w_2, \dots, w_j)$ , onde  $w_j$  é o peso do critério  $j$  e o somatório deve ser igual a 1.

A determinação do conjunto de coeficiente dos pesos dos critérios é obtida através de processo de descrição junto ao decisor. Com isso é obtida a informação intercritério, ou seja, a importância relativa entre os critérios [41].

O método ELECTRE TRI faz parte da família de métodos ELECTRE da Escola Francesa e foi desenvolvido para o problema de classificação ordenada. Dado um conjunto de  $A = \{a, b, c, \dots\}$  de alternativas, associa-se a um conjunto de classes ordenadas  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ , considerando o desempenho de  $A$  à luz de um conjunto de critérios  $F = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ . As classes são delimitadas por limites superiores e limites inferiores, conforme ilustrado na Figura 3.2 [52].

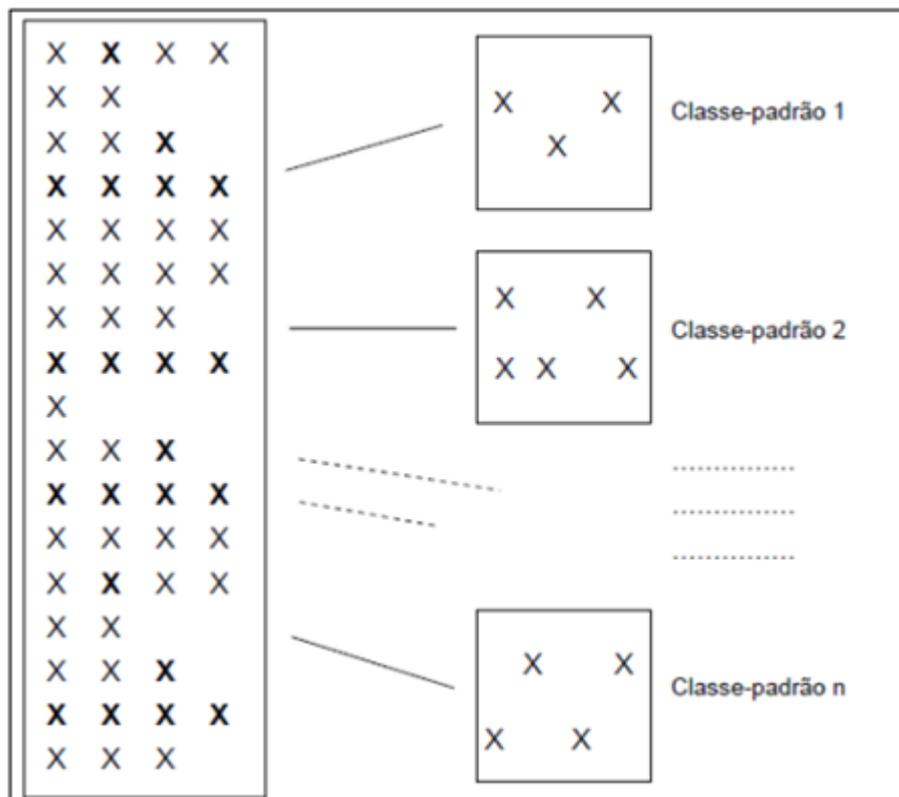


Figura 3.2: Classes de equivalência no ELECTRE TRI. Mousseau *et al* [35].

Segundo Yu [52], este método integra funções específicas que dão suporte ao decisor no processo de preferência e reduzem o esforço na fase de modelagem. O ELECTRE

TRI classifica as alternativas construindo uma relação de subordinação  $S$ , onde as alternativas são comparadas aos limites das classes; e a exploração da relação  $S$ . O objetivo é separar o conjunto de alternativas potenciais ( $A$ ) em classes ou categorias definidas previamente. A problemática da classificação está em definir os limites superiores e inferiores das categorias e comparar cada alternativa a esses limites para definir onde a alternativa deve ser classificada. As alternativas são avaliadas independentemente das outras, quando alocadas para as categorias. Logo, a alocação de uma alternativa em a uma categoria não influencia a tratativa de alternativa [15].

O método ELECTRE TRI ao ser especificamente utilizado em problemas em que o número de alternativas é muito grande, gera um número muito grande de comparações binárias para se realizar.

### 3.2 Relação de subordinação no ELECTRE TRI

A relação de subordinação do ELECTRE TRI é construída para viabilizar a comparação de uma alternativa genérica  $a$  pertencente ao conjunto  $A$ , com um limite padrão  $b_h$  pertencente a  $B$ . A afirmação de que  $aSb_h$ , significa que  $a$  não tem um desempenho inferior ao definido pelo o limite  $b_h$ .

Por outro lado, a afirmação de que  $b_hSa$ , significa que o limite  $b_h$  não tem um desempenho inferior ao da alternativa  $a$ . Na validação da afirmação  $aSb_h$  (ou  $b_hSa$ ), devem-se verificar duas condições:

- Concordância ( $c(a,b_h)$ ): para que  $aSb_h$  (ou  $b_hSa$ ) seja aceita, uma maioria suficiente de critérios deve ser a favor desta afirmação.
- Não-concordância (discordância,  $d(a,b_h)$ ): quando na condição de concordância esperada, nenhum dos critérios na minoria deve se opor a afirmação  $aSb_h$  (ou  $b_hSa$ ).

No caso específico do Método ELECTRE TRI, combina-se os conceitos de concordância e discordância em uma única variável denominada Credibilidade ( $\sigma(a,b_h)$ ), que por sua vez é utilizada na validação da afirmação  $aSb_h$  (ou  $b_hSa$ ) [52].

Fundamentado nos princípios da concordância e da não discordância, este método constrói um índice de credibilidade  $\sigma(a,b_h) \in [0, 1]$  que representa o grau com que se pode acreditar em uma relação de subordinação  $S$ . Ou seja: este índice valida o grau de credibilidade da afirmação  $b_hSa$ . Analogamente, tem-se que  $\sigma(b_h,a) \in [0, 1]$  representa o grau de credibilidade da afirmação  $b_hSa$  [52].

Para exemplificar, considere que o desempenho de uma alternativa genérica  $a$  e  $A$  em um critério genérico  $j$  e  $F$  é denotado por  $g_j(a)$  e o peso de um critério genérico  $j$  e  $F$  é denotada por  $w_j$ . As relações de subordinação e as preferências em cada critério são construídas através de pseudocritérios (limites preferência e de indiferença), que permitem analisar a natureza imprecisa das avaliações:

- Limite de indiferença ( $g_j(b_h)$ ): especifica a maior diferença ( $g_j(a) - g_j(b_h)$ ) que preserva percepção de indiferença entre  $a$  e  $b_h$  no critério  $j$ . Ou seja:  $a$  é indiferente a  $b$  no critério  $j$ , se  $[g_j(a) - g_j(b_h)] < g_j(b_h)$ .
- Limite de preferência ( $p_j(b_h)$ ): representa a menor diferença ( $g_j(a) - g_j(b_h)$ ) compatível com a afirmação de que  $a$  é preferível a  $b_h$  preferência a favor de  $a$  no critério  $j$ . Ou seja:  $a$  é preferível a  $b$  no critério  $j$ , se  $[g_j(a) - g_j(b_h)] < p_j(b_h)$ .
- Limite de veto ( $v_j$ ): é usado no teste de discordância e representa a menor diferença ( $g_j(a) - g_j(b_h)$ ) incompatível com a afirmação de que  $aSb_h$ . Isto é: se em pelo menos um critério  $j$  e  $F$  acontecer de  $[g_j(a) - g_j(b_h)] > v(b_h)$ ; então, globalmente, não é possível aceitar que  $aSb_h$ .

### 3.3 Condições a Serem Observadas

No modelo ELECTRE TRI, algumas condições devem existir para estabelecer a relação de superação entre uma alternativa  $a$  e os perfis de referência  $b_h$  [52, 44, 19]:

- A família de critérios é uma família de pseudocritérios;
- A tabela de desempenho das alternativas foi construída;
- Para cada alternativa de referência  $b_h$ , são conhecidos os limites de preferência  $p$ , limites de indiferença  $q$  e de veto  $v$ , para cada critério;
- Os pesos dos critérios são definidos como  $w$  para cada alternativa de referência  $b_h$ , em que  $bw_i > 0$ , para todo e qualquer  $i$ ;
- Para o procedimento de alocação, de ser definido um valor situado entre 0,5 e 1, denominado nível de corte  $\lambda$ . Esse é o menor valor do grau de credibilidade ( $\sigma$ ) para o qual se pode afirmar que  $a$  supera  $b$ . Ou seja, se  $\sigma(a,b) = \lambda$ , então  $aSb$ .

Por fim, para poder avaliar a relação de superação, os índices abaixo devem ser estabelecidos:

- Computar o índice de concordância parcial  $c_j(a, b_h)$  e  $c_j(b_h, a)$ ,
- Computar o índice de concordância global  $c(a, b_h)$ ,  $c(b_h, a)$
- Computar o índice de discordância  $d_j(a, b_h)$  e  $d_j(b_h, a)$ ,
- Computar o índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$ , da relação de subordinação
- Determinar um nível de corte  $\lambda$ , tal que  $aSb_h$  se e somente, se  $\sigma(a, b_h) = \lambda$ .

### 3.4 Índices de Concordância Parcial e Global

O índice de concordância parcial ou local  $c_j(a, b_h)$  expressa grau com que se concorda com a afirmação que  $a$  não tem um desempenho inferior ao definido pelo o limite  $b_h$ , a luz apenas do critério genérico  $j$  e  $F$ . Os índices de concordância devem ser calculados para se verificar a validade da afirmação  $aSb_h$ , isto é, se a maioria dos critérios é a favor da afirmação  $aSb_h$ . A condição de concordância dos critérios é verificada calculando-se o índice de concordância parcial [44]. Esse índice varia de 0 a 1 e mede o quanto se aceita que uma alternativa  $a$  supera  $b$  em um determinado critério.

O índice de concordância parcial  $c_j(a, b_h)$  expressa até que ponto a afirmação " $a$  é ao menos tão boa quanto  $b_h$ , considerando o critério  $g_j$  como válido"[52]. Os índices de concordância global  $c(a, b_h)$  e  $c(b_h, a)$  são calculados com base nos índices de concordância parcial obtidos. Esses índices indicam o quanto que  $a$  supera  $b_h$  para  $c(a, b_h)$  e  $b_h$  supera  $a$  para  $c(b_h, a)$ .

O índice de concordância parcial  $c_j(a, b_h)$  é [52, 44, 35]:

- se  $g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \Rightarrow c_j(a, b_h) = 0$
- se  $g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h) \Rightarrow c_j(a, b_h) = 1$
- caso contrário  $\Rightarrow c_j(a, b_h) = \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)}$

O índice de concordância  $c_j(b_h, a)$  é calculado de forma análoga, invertendo-se as letras das alternativas. Já o índice de concordância global  $c(a, b_h)$  e  $c(b_h, a)$  é calculado da seguinte relação [52, 44, 35]:

$$c(a, b_h) = \frac{\sum_{j=1}^N k_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j=1}^N k_j}$$

### 3.5 Índices de Discordância

O índice de discordância  $d_j(a, b_h)$  expressa grau com que se rejeita a afirmação de que  $a$  não tem um desempenho inferior ao definido pelo o limite  $b_h$ , à luz do critério genérico  $j$  e  $F$ . O índice de discordância parcial  $d_j(a, b_h)$  e  $d_j(b_h, a)$  representam o quanto o critério  $g_j$  se opõe à afirmação " $a$  supera  $b_h$ " e " $b_h$  supera  $a$ ", respectivamente. Para isto, é introduzido um limite de veto  $v$  que, quando excedido, rejeita a hipótese acima.

O índice de discordância  $d_j(a, b_h)$  e  $d_j(b_h, a)$  é: [52, 44, 35]:

- se  $g_j(b_h) - g_j(a) \leq p_j(b_h) \Rightarrow d_j(a, b_h) = 0$
- se  $g_j(b_h) - g_j(a) > v_j(b_h) \Rightarrow d_j(a, b_h) = 1$
- caso contrário  $\Rightarrow d_j(a, b_h) = \frac{g_j(b_h) + g_j(a) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - q_j(b_h)}$

O índice ou grau de credibilidade é resultante da combinação do índice de concordância com o índice de discordância. A conclusão destes princípios é de que o grau de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$  corresponde ao índice de concordância enfraquecido por um eventual efeito de veto.

O índice de credibilidade determina o quanto uma alternativa  $a$  supera uma alternativa  $b_h$  dados os índices de concordância global  $C(a, b_h)$  e de discordância  $d_j(a, b_h)$ . Esse índice é denotado por  $\sigma(a, b_h)$ ; e de forma análoga,  $\sigma(b_h, a)$ .

Quando uma alternativa  $a$  é comparada a um perfil de referência  $b_h$ , a alternativa  $a$  será alocada na categoria na qual a afirmativa  $a S b_h$  tiver "credibilidade". Assim, o índice de credibilidade define justamente o procedimento de agregação multicritério do método ELECTRE TRI [15].

O valor de  $\sigma(a, b_h)$  é:

$$\sigma(a, b_h) = c(a, b_h) \times \prod_{j=1}^N [1 - d_j(a, b_h)] / [1 - C(a, b_h)]$$

onde  $F = \{j \in F : d_j(a, b_h) > c(a, b_h)\}$

Analisando esta equação, é possível observar que:

- Quando nenhum critério for discordante, a credibilidade da relação de subordinação  $\sigma(a, b_h)$  é igual ao índice de concordância  $C(a, b_h)$ .

- Quando  $d_j(a, b_h) = 1$ , então o índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$  torna-se nulo (a afirmação  $a$  subordina  $b_h$  é totalmente não acreditável). Ou seja: veta-se totalmente a afirmação de que  $a$  não é pior do que  $b_h$ .
- Quando se tem  $C(a, b_h) < d_j(a, b_h) < 1$ , o índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$  torna-se mais baixo do que o índice de concordância global  $C(a, b_h)$ , sendo justo o efeito de oposição deste critério.

### 3.6 Nível de Corte

Uma vez definido o índice de credibilidade, deve ser introduzido ao modelo um nível de corte  $\lambda$  para obter as relações de superação. O nível de corte  $\lambda$ , é considerado como o menor valor do índice de credibilidade compatível com a aceitação da  $aSb_h$ , Isto é:  $\sigma(a, b_h) = \lambda \Rightarrow aSb_h$  [15]. Ele deve sempre assumir um valor entre 0,5 e 1.

Com base neste conceito, no Método ELECTRE TRI [52] são definidas as seguintes relações binárias:

- Indiferença (I):  $b_h I a \Leftrightarrow aSb_h$  e  $b_h S a$
- Preferência (P):  $b_h P a \Leftrightarrow aSb_h$  e não  $b_h S a$ ;  $b_h P a \Leftrightarrow$  não  $aSb_h$  e  $b_h S a$
- Incomparabilidade (R):  $b_h R a \Leftrightarrow$  não  $aSb_h$  e não  $b_h S a$

Se for utilizado um valor elevado de  $\lambda$  para minimizar as incertezas, a ocorrência da incomparabilidade aumentaria, pois poucos valores de índices de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$  e  $\sigma(b_h, a)$  o superariam. Por outro lado, caso se opte por reduzir o valor de  $\lambda$  e ser menos exigente com as incertezas, aumentam-se as ocorrências de indiferença.

### 3.7 Procedimentos de Alocação (classificação)

O objetivo da exploração das relações binárias descritas no item anterior é de gerar um procedimento de alocação ou classificação das alternativas. Segundo Yu [52], a regra do procedimento de exploração é realizada para analisar o modo em que uma alternativa  $a$  é comparada com os limites padrão determinados para a categoria na qual  $a$  deve ser alocada.

No ELECTRE TRI [52], a alocação é feita por dois processos: o otimista e o pessimista. Basicamente, a diferença entre os dois processos de alocação está na sequência da comparação das alternativas com as categorias [52, 44, 35].

No processo pessimista (ou conjuntivo), compara-se alternativa a sucessivamente aos perfis de referência  $b_h$ , começando por ordenar as melhores alternativas. Em seguida, passa-se para o perfil de referência  $b_h$  seguinte até o que o índice de credibilidade supere o nível de corte. Nesse momento, aloca-se a alternativa  $a$  na categoria delimitada por esse perfil de referência inferiormente [52, 44, 35].

O algoritmo de alocação pessimista pode ser representado da seguinte forma:

1. Encontrar a melhor classe ( $C_k$ );
2. Compare  $a_i$  sucessivamente com  $b_r$ ,  $r=k-1, k-2, \dots, 0$ .
3. Localizar o primeiro limite  $b_{h-1}$  tal que  $a_i S b_{h-1}$ .
4. Alocar  $a_i$  a classe  $C_h$ .

No processo otimista (ou disjuntivo), a comparação se inicia com o pior perfil de referência  $b_h$ . Passa-se para o perfil seguinte até que se encontre um perfil de referência  $b_h$  em que o índice de credibilidade supere o nível de corte. Quando isto ocorrer, a alternativa  $a$  é alocada à categoria delimitada superiormente por aquele perfil de referência  $b_h$ . O algoritmo de alocação otimista pode ser representado da seguinte forma:

1. Encontrar a pior classe ( $C_1$ );
2. Compare  $a_i$  sucessivamente com  $b_r$ ,  $r=1, 2, \dots, k-1$ .
3. Localizar o primeiro limite  $b_h$  tal que  $b_h P a_i$ .
4. Alocar  $a_i$  a classe  $C_h$ .

De acordo com Yu [52], o procedimento pessimista pode ser considerado mais exigente já que aloca a alternativa sempre na categoria inferiormente delimitada pelo perfil. Por outro lado, o procedimento otimista é menos exigente e aloca as alternativas nas categorias superiores.

A escolha do nível de corte macro  $\lambda$  desempenha um papel importante na categorização das alternativas já que, se o valor for elevado, as alternativas serão alocadas a

categorias mais baixas no procedimento pessimista e mais alto no procedimento otimista [1]. O contrário ocorrerá para valores do nível de corte baixos.

Os dois procedimentos de classificação (pessimista e otimista) diferentes entre si, conseqüentemente pode ocorrer a classificação de algumas alternativas em diferentes classes [52]. A razão da possibilidade de divergência entre os dois resultados de classificação pode ser explicada no exemplo a seguir.

Supondo que uma alternativa  $a$  é classificada em  $C_i$  e  $C_j$  pelas regras de classificação otimista e pessimista, respectivamente, espera-se:

- Que  $C_i$  seja inferior ou igual a  $C_j$  ( $i=j$ ); e
- Que  $C_i$  seja inferior a  $C_j$  quando  $a$  é incomparável com todos os limites entre  $C_i$  e  $C_j$  ( $aRb \text{ "f, tal que } i < f = j$ ).

Logo, quando as avaliações de uma alternativa forem entre os dois limites de uma classe em cada critério, então ambos os procedimentos classificam esta alternativa para esta classe. Por outro lado, ocorre uma divergência entre os resultados dos dois procedimentos somente quando uma alternativa é incomparável para um ou vários limites. Em tais casos, a regra de classificação pessimista classifica a alternativa na classe mais inferior que a otimista classifica [52].

Uma observação importante é que os resultados gerados pelo método ELECTRE TRI, nas versões otimista e pessimista, poderão ser distintos, pois em situações de incomparabilidade e indiferença, a versão otimista aloca a alternativa numa categoria superior, enquanto que na versão pessimista, o modelo designa a alternativa de forma contrária, isto é, rebaixa para uma categoria inferior [52, 44, 35].

# Capítulo 4

## Avaliação de Fornecedores de Empresa Automotiva

### 4.1 Introdução

A empresa automotiva a ser analisada está localizada no interior do estado o Rio de Janeiro. Esta indústria produz anualmente mais de cem mil veículos sendo que 30% deste valor é destinado à exportação para o Mercosul e o restante para o mercado nacional. Possui uma carteira de mais de 170 fornecedores nacionais, localizados, principalmente no Sul e Sudeste do país. A gerência desta empresa quer classificar estes fornecedores em cinco classes: excelente, bom, regular, ruim e péssimo, de acordo com o desempenho obtido por cada um deles em relação aos critérios estabelecidos. Pretende-se manter uma regularidade na execução desta avaliação para que sejam adotados planos de ação específicos com relação a cada grupo. Para auxiliar na aplicação da metodologia multicritério foi definido uma equipe de trabalho de quatro pessoas, composta por um especialista e três decisores. Do consenso dessa equipe partiu todas as definições de parâmetros necessários, onde os valores representaram as suas opiniões, aspirações e preferências.

### 4.2 O Mercado Automobilístico nacional

A indústria automobilística fechou 2012 com mais um recorde de vendas, com o total de 3.801.859 veículos emplacados, um crescimento de 4,6% sobre 2011, que tinha o marco de 3.632.842 unidades, segundo a Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (Fenabrade) [34].

Só em dezembro, quando os consumidores correram às lojas para aproveitar o último mês de redução máxima no Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), foram vendidos 359,3 mil veículos - entre automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus. O volume corresponde a um crescimento de 3,1% na comparação com igual período de 2011, mesmo com dois dias úteis a menos de venda. Em relação a novembro, o avanço foi de 15,3% [28].

Para este setor, que tinha previsão de queda em 2012 devido às oscilações econômicas nacionais e mundiais, o resultado é uma prova de que as medidas do governo para preservar o setor deram certo. A principal foi a volta do desconto do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), determinada no fim de maio de 2012, quando os estoques de carros nos pátios e lojas atingiram altos níveis. A medida acabou prorrogada até julho de 2013 [34, 28].

Antes disso, para que os benefícios não ajudassem empresas ou fábricas fora do país o governo aumentou o IPI dos importados com exceção do México e do Mercosul, o que reduziu as vendas das importadoras em 2012, e também estabeleceu limites às compras de carros do México, o que fez alguns modelos faltarem nas lojas bem antes do fim de 2012 [34].

Para impulsionar as vendas de caminhões e motocicletas, que enfrentaram um difícil ano em 2012, o governo criou linhas de crédito no segundo semestre, e esses setores começaram a esboçar reação nos últimos meses.

Com relação à distribuição no mercado de automóveis leves, a novidade é o crescimento da Nissan-Renault no cenário nacional. A Renault passou para a quinta posição, no *ranking* e a Nissan agora entrou em definitivo no grupo das dez maiores montadoras do país. A ponta permanece sem alterações: em primeiro lugar a Fiat, que apesar da queda, se manteve com 23,06% e em segundo a Volkswagen com 21,14% do mercado, como mostra a Figura 4.1.

Segundo a Fenabreve, em 2013 as vendas do setor deverão crescer 2,8%, sendo que automóveis e comerciais leves devem ter alta de 3%; caminhões, 16%; ônibus, 4,1%; e motos, 1,3% [34, 28].

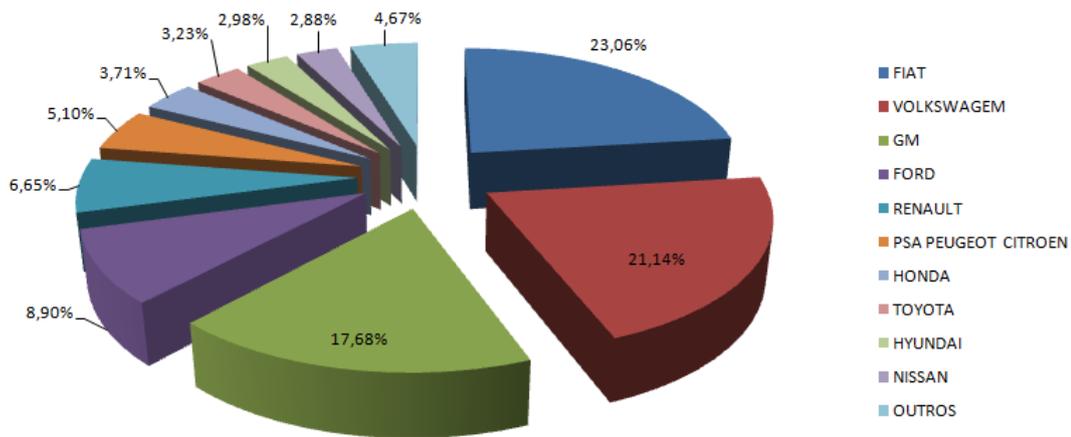


Figura 4.1: *Ranking* das montadoras em 2012. Fonte: Próprio autor

### 4.3 Posicionamento da Empresa em Relação ao Mercado

Para aumentar a participação no mercado, que segundo pesquisas se tornará nos próximos três anos o terceiro maior mercado do mundo no gênero, a empresa automotiva em questão deseja aumentar a oferta de veículos e reduzir os custos de produção. Como decisão estratégica, decidiu implementar a filosofia *Lean Manufacturing*, pois:

- O Aumento da capacidade produtiva é o efeito direto da sua implantação. A eliminação dos desperdícios realizada no processo de análise e adequação faz com que a disponibilidade dos recursos aumentem sem grandes investimentos.
- A gestão da cadeia de Suprimentos é crucial da implantação do *Lean Manufacturing*. A manutenção do fluxo contínuo, sem o uso de reservas, implica num controle detalhado, perfeito e ágil de toda a cadeia de fornecimento, tendo impacto direto na flexibilidade do mix de produção e, conseqüentemente, na rapidez de resposta ao cliente.
- Considerando os aspectos acima, vê-se claramente que o sistema logístico deve ser eficiente de maneira a receber as matérias-primas e entregar seus produtos em *just-in-time*. Portanto, todos os fornecedores participantes dessa cadeia de suprimentos deverão efetuar suas entregas, no tempo certo e quantidades pedidas, de maneira a não gerar estoques ou atrasos, que implicam diretamente na produtividade e na lucratividade.
- Outro fator que o fornecedor interfere diretamente é o *lead time* (o tempo decorrido

desde que o cliente faz o pedido até o mesmo o receber em perfeitas condições).

- Nesse contexto, é preciso que sejam feitas periodicamente avaliações dos fornecedores para que as ações sejam tomadas no que diz respeito à manutenção da qualidade da cadeia de suprimentos.

## 4.4 A escolha do método

A escolha do método deve levar em conta os parâmetros escolhidos, as aspirações do decisor. O que se pretende obter como resultado do processo de modelagem multicritério irá influenciar na decisão final. Os tipos de critério que serão utilizados também terão peso decisivo na escolha. Para auxiliar no processo de escolha, foi elaborada a Tabela 4.1, que mostra os principais métodos com as respectivas classificações.

Classificação	Metodo	Variante	Problema	Tipo de Critério
Superacao	ELECTRE	I	Seleção	Simples
	ELECTRE	II	Ordenação	Simples
	ELECTRE	III	Ordenação	Pseudo
	ELECTRE	IV	Ordenação	Pseudo
	ELECTRE	IS	Seleção	Pseudo
	ELECTRE	TRI	Classificação	Pseudo
	PROMETHEE	I	Escolha e Ordenação	Simples
	PROMETHEE	II	Escolha e Ordenação	Pseudo
	PROMETHEE	III	Estocastico	Pseudo
	PROMETHEE	IV	Estocastico	Simples
	PROMETHEE	V	Ordenação e Seleção	Simples
	PROMETHEE	VI	Escolha e Ordenação	Simples
Síntese	MAUT	-	Seleção	Simples
	AHP	-	Escolha	Simples
	MACBETH	-	Seleção	Simples
	UTADIS	-	Classificação	Simples
Híbrido	TODIM	-	Ordenação	Simples

Tabela 4.1: Métodos Apoio Multicritério à Decisão. Fonte próprio autor.

De acordo com o que foi exposto no m 4.1 o problema de avaliação de fornecedores é um problema de classificação (problemática  $P_\beta$ ). Pela Tabela 4.1, dois métodos podem ser utilizados: o ELECTRE TRI [52] e o UTADIS [12]. O ELECTRE TRI [52] pertence à classe dos métodos de superação, isto é, pertence à Escola Francesa. Esta escola tem por características a comparação par a par das alternativas, são não compensatórios (o melhor desempenho de um critério não compensa o mal desempenho de outro), não admitindo a transitividade, ou seja, se  $a$  é preferível a  $b$ , e  $b$  é preferível a  $c$ , não necessariamente  $a$

é preferível a  $c$ . Utiliza pseudo-critérios na modelagem. Já o UTADIS [12] pertence aos métodos de síntese, ou ainda, da Escola Americana. Os métodos dessa classe sintetizam os critérios em uma função de agregação. Isto faz com que seja admitida a transitividade e que os critérios sejam compensatórios. Ao se considerar as preferências da equipe de decisores:

- O método deve permitir trabalhar com limites de preferência e indiferença (pseudo-critérios);
- Não há a possibilidade de compensação entre as alternativas. Logo, o método que atende as condições determinadas pelos decisores foi o ELECTRE TRI.

## 4.5 Modelagem do problema

Nesta seção será descrito o passo-a-passo no processo de modelagem do problema de classificação e avaliação do desempenho dos fornecedores, utilizando o algoritmo do Método ELECTRE TRI - [52, 44, 35]. As etapas da modelagem estão resumidas de acordo com a Figura 4.2:

As etapas são as seguintes:

1. Identificar os fornecedores cujo grau de qualidade de serviços deseja-se avaliar, em específico os fornecedores de autopeças da montadora em questão. A avaliação foi realizada mediante análise do histórico de registros dos atendimentos no ano de 2012.

2. Especificar o conjunto de critérios a serem considerados no processo de avaliação. Este processo consiste em uma análise situacional, posicionando os fornecedores no que diz respeito ao seu desempenho. Para a determinação destes critérios, bem como seu peso relativo, foram feitas entrevistas com especialistas na área. Os pesos foram definidos de acordo com sua interferência no processo produtivo. Chegou-se então ao conjunto de cinco critérios  $CR_i$  ( $i=1,2,3,4$  e  $5$ ) descritos abaixo:

- $CR_1$  Etiqueta Padrão: este critério avalia o cumprimento do padrão que determina o nível de informações que devem ser enviadas na etiqueta do produto. Este item é importante, pois ele é que servirá de entrada para efetuar a movimentação das peças dentro do processo produtivo, como local de estocagem, ponto de montagem, entre outros. No caso de incorreções nas informações enviadas, ou mesmo o produto vir sem esta etiqueta acarretará num retrabalho de impressão, gerando um

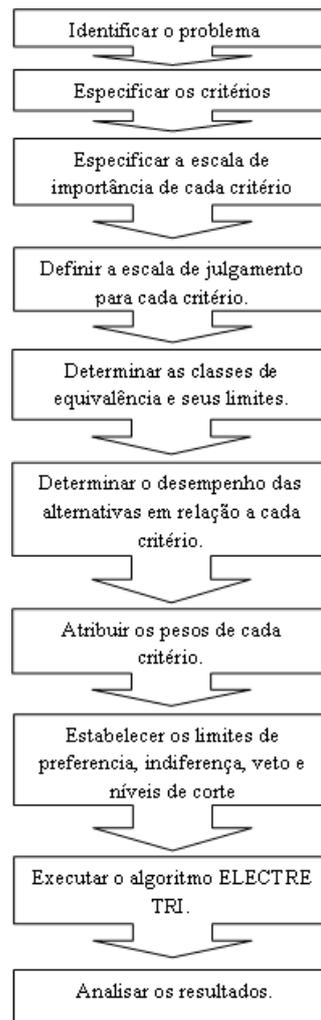


Figura 4.2: Etapas de Aplicação do ELECTRE TRI. Madeira [29]

congestionamento nas docas, e atrasos na produção [47].

- $CR_2$  Nível de Serviço: avalia a flexibilidade de atendimento do fornecedor em virtude das flutuações de demanda. No mercado automobilístico, um ano de produção apresenta variações vendas significativas, influenciadas, por exemplo, por contas de início de ano, mudança de ano modelo, variações da inflação, incentivos fiscais. Um fornecedor que responder bem à esta situação, ou oferecer soluções inteligentes proporcionará à montadora a possibilidade de redução dos seus estoques internos, por não haver a necessidade de um volume de estocagem maior para se cobrir estas oscilações [47].
- $CR_3$  Cartas de entrega: avalia o respeito do fornecedor aos pedidos gerados pela montadora, ou seja, entrega nas quantidades solicitadas e no prazo combinado. O respeito às chamadas janelas de entrega impacta diretamente nos custos da empresa,

como nível de estocagem (entregas além do necessário), extravio de materiais (entrega em armazém errado), e no caso haja divergência entre as quantidades e a nota fiscal, o excedente deve ser destruído. Este trabalho é acarreta em valor não agregado ao produto final e a empresa tem de assumir [47].

- $CR_4$  Sistema de Gestão da Qualidade: analisa-se o comprometimento do fornecedor em relação à qualidade dos seus produtos. Todas as indústrias de autopeças precisam ter um sistema robusto de qualidade, sendo praticamente obrigatória a aplicação das normas ISO (principalmente a ISO/TS 16949).
- $CR_5$  Sistema EDI (Electronic Data Interchange): Este critério avalia se o fornecedor faz a recepção e o tratamento das informações do pedido através do sistema EDI para recepção de dados. Este sistema é amplamente utilizado entre as montadoras para realizar os pedidos por ser mais eficiente na troca de dados que os sistemas convencionais. O fornecedor deve possuir o sistema EDI já implantado na época do início do fornecimento [47].

3. Especificar a escala dos graus de importância (pesos) para o julgamento de cada critério apresentado para qualificar o fornecedor. Esta escala mostra o nível de importância que cada critério terá na avaliação. A Tabela 4.1 apresenta os valores para julgamento.

Escala Verbal	Valor Numérico
Extrema	5
Alta	4
Média	3
Baixa	2
Desprezível	1

Tabela 4.2: Escala dos graus de importância.

4. Atribuir pesos para cada um dos critérios considerados de acordo com a escala dos graus de importância acima. A equipe de decisores atribuiu para cada um dos critérios, apresentados na Tabela 4.2:

Descrição do Critério	Código	Peso
Etiqueta Padrão	$CR_1$	2
Nível de Serviço	$CR_2$	3
Cartas de entrega	$CR_3$	5
Sistema de Gestão da Qualidade	$CR_4$	5
Sistema EDI	$CR_5$	2

Tabela 4.3: Pesos dos Critérios.

5. Especificar a escala de julgamentos dos desempenhos de cada fornecedor em relação a cada critério apresentado. Em consenso com os especialistas da área, adotou-se avaliar os fornecedores com notas que variam entre 1 e 10. As notas dos fornecedores foram dadas considerando sua atuação no período de janeiro a dezembro de 2012 [47].

6. Identificação das classes de equivalência, definindo seus limites superiores e inferiores [52, 35]. As fronteiras indicam os limites das classes sendo que a melhor classe (excelente) não possui limite superior limitante e a classe mais baixa (péssimo) não possui limite inferior [47] Para obter os valores dos níveis de referência, foi estabelecido pelo grupo:

- Definir o número de categorias do modelo. Este valor foi igual a 5 (categorias excelente, bom, regular, ruim e péssimo);
- Dividir o valor da maior nota possível pela quantidade de categorias, ou seja, 10 (melhor nota possível) dividido por 5 (quantidade de categorias definidas), obtendo-se como valor 2. Esta referência entre os níveis.

A Tabela 4.3, que mostra as classes e os seus respectivos limites.

Classes	Descrição	$CR_1$	$CR_2$	$CR_3$	$CR_4$	$CR_5$
1	EXCELENTE					
FRONTEIRA 1		8	8	8	8	8
2	BOM					
FRONTEIRA 2		6	6	6	6	6
3	REGULAR					
FRONTEIRA 3		4	4	4	4	4
4	RUIM					
FRONTEIRA 4		2	2	2	2	2
5	PÉSSIMO					

Tabela 4.4: Classes de equivalência.

7. Emitir julgamento de valor, avaliando o desempenho das alternativas em relação a cada critério. Neste item, para cada critério explicitado anteriormente, o fornecedor avaliado recebe uma nota relativo ao seu desempenho obtido, conforme item 5. Este procedimento é repetido até que se complete o quadro de fornecedores a ser analisado. Para tanto, escolheu-se dentre o grupo de fornecedores 10 (dez) fornecedores. Para o grupo de decisores o importante neste momento da aplicação do ELECTRE TRIé avaliar o nível de serviço prestado por cada um deles, sem se preocupar com seu valor dentro da classificação ABC (esta classificação serve para separar os grupos de peças de acordo com

seu valor econômico, onde os produtos mais caros deverão ter atenção maior no controle de estoques). As notas finais de cada critério foram obtidas através de uma média simples entre as notas atribuídas por cada um dos 4 componentes do grupo. Por questões éticas, os nomes dos fornecedores foram omitidos, sendo substituídos por códigos. A Tabela 4.4 mostra as notas atribuídas a cada um deles:

	$CR_1$	$CR_2$	$CR_3$	$CR_4$	$CR_5$
$F_1$	3,7	9,8	6,3	2,1	2
$F_2$	1,4	2,8	2,4	3,8	5,3
$F_3$	7,7	5,7	4,8	9,3	2,4
$F_4$	7,2	9,7	6,7	1	6,1
$F_5$	8,8	3	7	7,7	7,7
$F_6$	7,5	7,2	2,4	1,9	6,8
$F_7$	1,6	2,1	3,3	9,6	3
$F_8$	6,3	4,5	5,6	3,2	1,9
$F_9$	8,5	5,8	8,3	8,5	1,6
$F_{10}$	2,4	4,6	6,6	6	8,2

Tabela 4.5: Notas dos Fornecedores.

8. Estabelecer o limite de preferência ( $p$ ), de indiferença ( $q$ ) para cada critério. Definiram-se os limites de preferência  $p=2$  e de indiferença de  $q=1$ , para todos os critérios em questão [47].

9. Estabelecer o limite de veto ( $v$ ) para cada critério. Como os fornecedores passaram por uma seleção prévia, houve uma intensa discussão a respeito de se inserir na modelagem um limite de veto. Mesmo assim, ao final dos debates, analisando a distribuição das classes, chegou-se a decisão de inserir no modelo o limite de veto  $v = 5$  [47].

10. Executar o algoritmo de classificação do ELECTRE TRI [52] e analisar os resultados obtidos. Nesta etapa é realizada a construção de uma relação de subordinação  $\sigma$ , onde as alternativas são comparadas aos limites das classes. São realizados os seguintes passos na obtenção desta relação:

- Computar o índice de concordância parcial  $c_j(a, b_h)$  e  $c_j(b_h, a)$ ;
- Computar o índice de concordância geral  $C(a, b_h)$ ;
- Computar o índice de discordância parcial  $d_j(a, b_h)$  e  $d_j(b_h, a)$ ;
- Computar a relação de subordinação fuzzy conforme o índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$ ;
- Determinar um corte  $\lambda$  da relação fuzzy para obter uma relação de subordinação.

## 4.6 Modelagem pelo ELECTRE TRI

Para realizar a modelagem do problema, dividiu-se o estudo em duas fases. A primeira fase consistiu em montar os cálculos em uma planilha do Microsoft Excel [32]. A realização deste passo foi muito importante para o estudo e entendimento do método. Como pontos positivos, pode-se citar a facilidade em se trabalhar com os dados, seja na importação e análise das informações, seja na criação de fórmulas para obtenção das matrizes. Já o ponto negativo foi a dificuldade na inserção de um novo dado, o que exigia sempre um rearranjo nas fórmulas, o que não é muito funcional. Este ponto inviabiliza sua utilização para um número muito grande de dados. Por isso, foi escolhido um número reduzido de alternativas para estudo [47].

O processo de modelagem desta fase revelou que o índice de credibilidade que foi calculado a partir dos índices de concordância e discordância, gerou uma matriz, onde cada linha desta matriz representa as alternativas do problema e as colunas representam as classes pré-definidas anteriormente. O valor de cada elemento  $a_{ij}$  representa o grau ou percentual com que se pode concordar que uma alternativa pertence àquela classe.

Para exemplificar, considere que o elemento  $a_{13}$  tenha valor igual 0,6. Com base no que foi explicitado acima, pode-se afirmar com uma credibilidade de 60% que a alternativa número 1 deve ser alocada na terceira classe. Outra observação importante é que a matriz  $\sigma(a, b_h)$  é utilizada para a realização da alocação das alternativas pela perspectiva pessimista (ou mais exigente). Neste procedimento de alocação, cada elemento é comparado com um nível de corte  $\lambda$ . Esta comparação inicia-se sempre do elemento que representa a melhor classe e segue até completar todos os elementos da linha. O primeiro valor  $a_{ij}$  de uma referida linha que superar o nível de corte é onde a alternativa deverá ser alocada (a classe é representada na matriz pelo índice  $j$ ).

Para exemplificar considere o nível de corte igual a 0,5 e cinco classes, onde a classe 1 é a melhor classe e a classe 5, a pior. A Figura 4.3 mostra como é feita a alocação da alternativa 1. [47].

A matriz  $\sigma(b_h, a)$  é utilizada para a realização da alocação das alternativas pela perspectiva otimista (ou menos exigente) ao comparar cada elemento com um nível de corte  $\lambda$ . Esta comparação inicia-se sempre do elemento que representa a pior classe e segue até completar todos os elementos da linha. O primeiro valor  $a_{ij}$  de uma referida linha que superar o nível de corte é onde a alternativa deverá ser alocada (a classe é representada na matriz pelo índice  $j$ ).

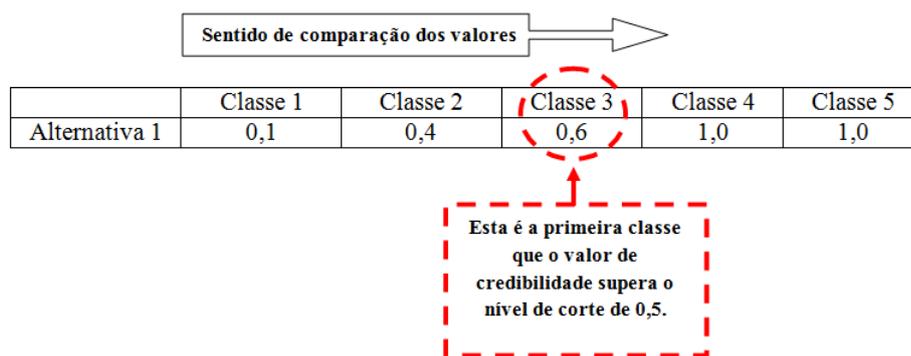


Figura 4.3: Exemplo de Alocação pessimista - Fonte próprio autor.

Considere os mesmos parâmetros adotados no exemplo anterior. A Figura 4.4 mostra como é feita a alocação da alternativa 1.

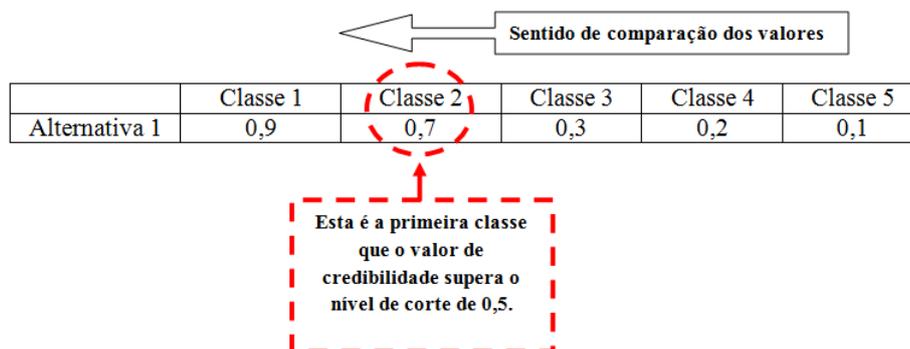


Figura 4.4: Exemplo de Alocação pessimista - Fonte próprio autor.

A segunda fase foi a implementação do método em uma linguagem de programação (foi escolhido para tal o MATLAB [31]). O MATLAB (MATrix LABoratory) é um *software* interativo que integra análise numérica, cálculo com matrizes e construção de gráficos onde problemas e soluções são expressos matematicamente. Comparado com outras linguagens, ele permite que o programa seja escrito em um tempo menor, o que contribuiu para que esta fase fosse desenvolvida mais rapidamente, apoiado pelas conclusões e simulações realizadas com o Excel [32] na fase anterior. O modelo foi implementado de modo a lidar com diversos tipos de problemas de classificação e acordo com diagrama do Capítulo 4 [47].

A Tabela 4.5 mostra o índice de credibilidade atribuída aos fornecedores avaliados. Os valores apresentados nesta tabela informa o índice de credibilidade, baseado nas notas atribuídas a cada fornecedor pelos decisores, de acordo com o desempenho obtido em cada critério. Por exemplo, com base nas notas obtidas pelo fornecedor  $F_1$ , há um grau de 53% a credibilidade que ele é, pelo menos, regular (Classe 3) e um grau de credibilidade

100% que é, pelo menos, ruim (Classe 4). A Tabela 4.6 apresenta também o índice de credibilidade  $\sigma(b_h, a)$  [47].

Fornecedores	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
$F_1$	0,00	0,13	0,53	1,00	1,00
$F_2$	0,00	0,03	0,56	1,00	1,00
$F_3$	0,00	0,36	0,89	1,00	1,00
$F_4$	0,00	0,00	0,46	1,00	1,00
$F_5$	0,00	0,58	1,00	1,00	1,00
$F_6$	0,00	0,13	0,52	1,00	1,00
$F_7$	0,00	0,06	0,66	1,00	1,00
$F_8$	0,00	0,13	0,79	1,00	1,00
$F_9$	0,00	0,16	0,70	1,00	1,00
$F_{10}$	0,00	0,39	0,93	1,00	1,00

Tabela 4.6: Matriz de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$ .

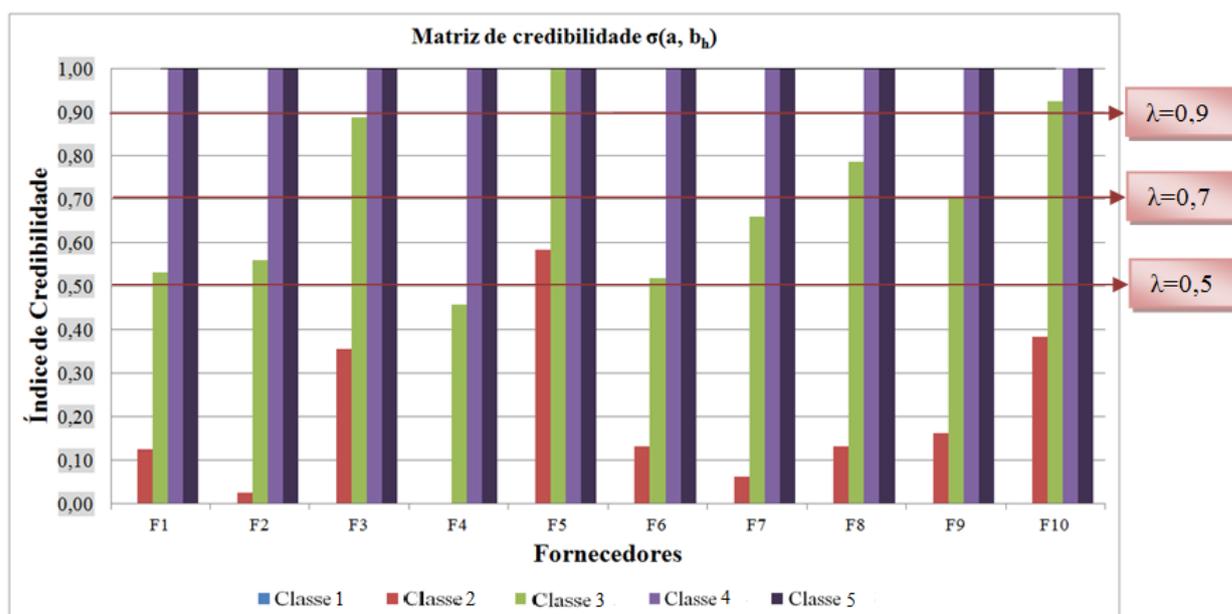
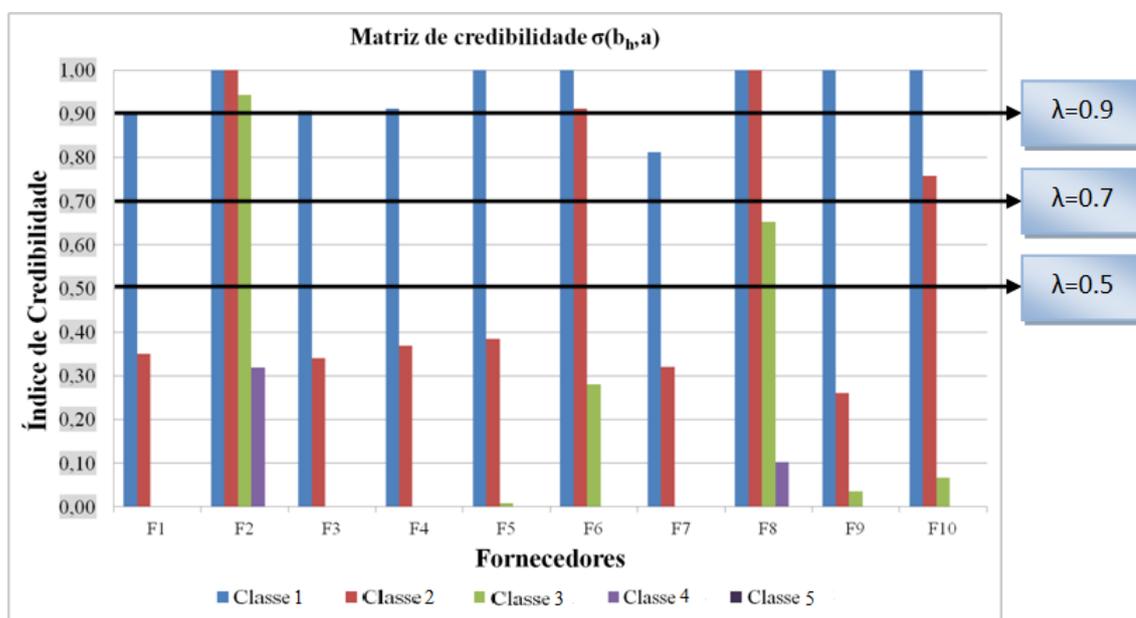


Figura 4.5: Classificação Pessimista para os níveis de corte  $\lambda$

A Figura 4.5 ilustra a distribuição dos valores da Tabela 4.5. O eixo horizontal está associado aos fornecedores e o vertical contém os valores do índice de credibilidade. As setas que cortam o gráfico mostram como o nível de corte ( $\lambda$ ) influencia na alocação da alternativa [47]. A Figura 4.6 apresenta a distribuição da Tabela 4.6.

A matriz de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$  apresentada na Tabela 4.5 representa a ordenação mais exigente ou visão pessimista. Neste procedimento, o processo de alocação das alternativas começa do perfil mais alto para o mais baixo. Considerando um nível de corte igual a 0,5, vemos que  $F_1$  não atende ou supera o nível de corte no primeiro

Fornecedores	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
$F_1$	0,90	0,35	0,00	0,00	0,00
$F_2$	1,00	1,00	0,94	0,32	0,00
$F_3$	0,91	0,34	0,00	0,00	0,00
$F_4$	0,91	0,37	0,00	0,00	0,00
$F_5$	1,00	0,39	0,01	0,00	0,00
$F_6$	1,00	0,91	0,28	0,00	0,00
$F_7$	0,81	0,32	0,00	0,00	0,00
$F_8$	1,00	1,00	0,65	0,10	0,00
$F_9$	1,00	0,26	0,04	0,00	0,00
$F_{10}$	1,00	0,76	0,07	0,00	0,00

Tabela 4.7: Matriz de credibilidade  $\sigma(b_{h,a})$ .Figura 4.6: Classificação Otimista para os níveis de corte  $\lambda$ 

perfil (0) e nem no segundo perfil (0.13). Somente no terceiro perfil ele consegue atender a esse nível de corte (0.53); logo, o fornecedor F1 será alocado na Classe 3. De modo similar procedemos com a comparação para as demais alternativas até completar toda a classificação [47].

A matriz de credibilidade  $\sigma(b_{h,a})$  apresentada na Tabela 4.6 representa a ordenação menos exigente ou visão otimista. Neste procedimento, o processo de alocação das alternativas começa do perfil mais baixo para o mais alto. Considerando um nível de corte igual a 0.5, vemos que F1 não atende ou supera o nível de corte no primeiro perfil analisado (0) e nos 3 seguintes (0,0 e 0.35). Somente no primeiro perfil ele consegue atender a esse nível de corte (0.9); logo, o fornecedor F1 será alocado na Classe 2. De modo similar procedemos com a comparação para as demais alternativas até completar toda a

classificação.

Segue as Tabelas 4.7, 4.8 e 4.9 de classificação para os níveis de corte iguais 0.5, 0.7 e 0.9.

Alternativa	Classificação Pessimista	Classificação Otimista
$F_1$	Classe 4	Classe 1
$F_2$	Classe 4	Classe 3
$F_3$	Classe 4	Classe 1
$F_4$	Classe 4	Classe 1
$F_5$	Classe 3	Classe 1
$F_6$	Classe 4	Classe 2
$F_7$	Classe 4	Classe 1
$F_8$	Classe 4	Classe 2
$F_9$	Classe 4	Classe 1
$F_{10}$	Classe 3	Classe 1

Tabela 4.8: Resultado das alocações otimista e pessimista para  $\lambda$  igual 0.9.

Alternativa	Classificação Pessimista	Classificação Otimista
$F_1$	Classe 4	Classe 1
$F_1$	Classe 4	Classe 3
$F_1$	Classe 3	Classe 1
$F_1$	Classe 4	Classe 1
$F_6$	Classe 3	Classe 1
$F_7$	Classe 4	Classe 2
$F_9$	Classe 4	Classe 1
$F_8$	Classe 4	Classe 2
$F_9$	Classe 4	Classe 1
$F_{10}$	Classe 3	Classe 1

Tabela 4.9: Resultado das alocações otimista e pessimista para  $\lambda$  igual 0.7.

Ao analisar os resultados obtidos nas três tabelas observa-se que para todos os valores de  $\lambda$  utilizados a classificação dos fornecedores no procedimento otimista manteve-se constante. No procedimento pessimista alguns fornecedores mudaram de classe em virtude da alteração do valor de  $\lambda$ . Como é de se esperar, a medida que o valor de  $\lambda$  aumenta (ou seja, aumenta o nível de exigência do decisor) a tendência da alternativa é ir para uma classe inferior. Por exemplo, verificando o fornecedor  $F_1$ , vê-se que para o procedimento pessimista com  $\lambda=0,5$  e  $\lambda=0,7$ , ele foi alocado na classe C; mas quando  $\lambda=0,9$  ele passou a pertencer à classe D. Já para o procedimento otimista para todos os valores de  $\lambda$  calculados o fornecedor  $F_1$  manteve-se na Classe A.

Empregou-se então o algoritmo ELECTRE TRI na classificação dos 178 fornecedores existentes na empresa. As avaliações em relação a cada critério foram retiradas do

Alternativa	Classificação Pessimista	Classificação Otimista
$F_1$	Classe 3	Classe 1
$F_2$	Classe 4	Classe 3
$F_3$	Classe 3	Classe 1
$F_4$	Classe 4	Classe 1
$F_5$	Classe 3	Classe 1
$F_6$	Classe 4	Classe 2
$F_7$	Classe 4	Classe 1
$F_8$	Classe 4	Classe 2
$F_9$	Classe 4	Classe 1
$F_{10}$	Classe 3	Classe 1

Tabela 4.10: Resultado das alocações otimista e pessimista para  $\lambda$  igual 0.5.

sistema. Os outros parâmetros  $(p, q, v)$ , foram considerados os mesmos utilizados anteriormente e  $\lambda=0.7$ . Disponíveis no Apêndice encontra-se:

- APÊNDICE I - Código do Algoritmo ELECTRE TRI em MATLAB
- APÊNDICE II - Matriz de avaliação e Classificação final dos Fornecedores

## 4.7 Implementação do Algoritmo

O procedimento de montagem da estrutura do método no Microsoft Excel [32] contou em princípio com a montagem do diagrama da Figura 4.11 com a sequência de ações. Ao analisar o diagrama, nota-se que o cálculo dos índices de credibilidade parcial e global, assim como o índice de discordância são operações que geram matrizes auxiliares. Para realizar a comparação das alternativas com os níveis de referência, é criada uma nova matriz em cada iteração até que sejam comparadas todas as alternativas com todos os níveis de referência [52]. O objetivo final é a gerar uma matriz de credibilidade, onde:

- as colunas representam as classes previamente definidas;
- cada linha corresponde à alternativa;
- o valor de cada elemento  $a_{ij}$  representa o grau que uma dada alternativa pertence à classe.

Para completar o processo de classificação, descobre-se a classe a que pertence a alternativa comparando o valor  $a_{ij}$  com  $\lambda$  [52, 47].

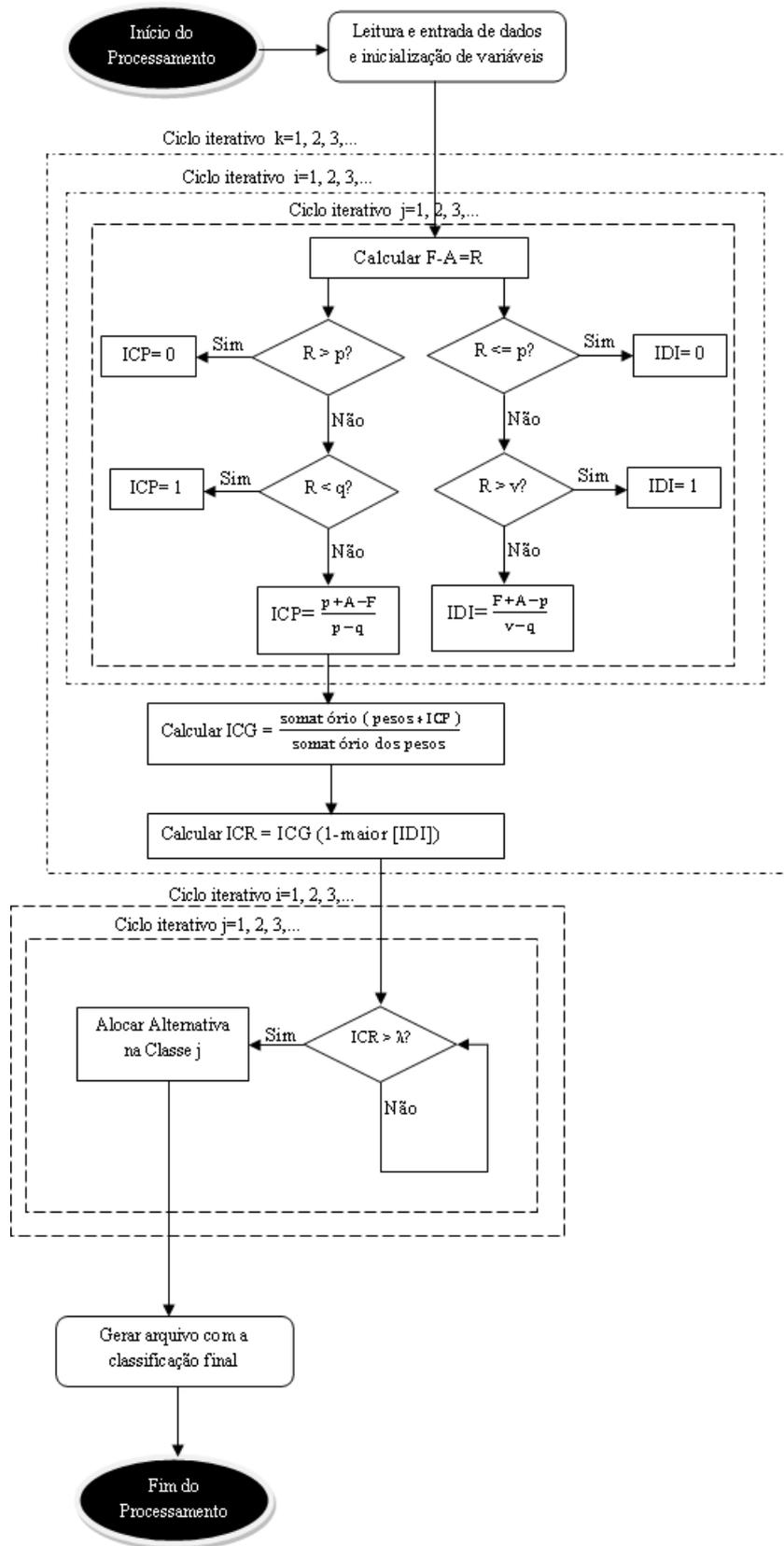


Figura 4.7: Diagrama do código. Fonte:próprio autor

Após testes e simulações realizadas no Excel, foi desenvolvido código computacional em Linguagem MATLAB [31]. O Excel se mostrou uma ferramenta para ser utilizada com uma quantidade de dados relativamente pequena, pois, a representa um grau de dificuldade grande ao inserir ou diminuir dados. Toda vez que isso acontece, é necessário manipular as fórmulas diretamente.

O MATLAB [31] diferente de outras linguagens de programação, é próprio para resolução de cálculos matemáticos e manipulação de matrizes, além de oferecer recursos gráficos para plotar resultados. Outra vantagem é que os problemas matemáticos são escritos praticamente da mesma forma, o que torna mais rápido o seu desenvolvimento.

A lógica do algoritmo é consistir em utilizar o primeiro bloco de iterações para calcular as matrizes auxiliares que ao final darão origem a matriz de credibilidade. As matrizes auxiliares são o índice de concordância e o de discordância. Estas, são reinicializadas ao término da comparação das alternativas (matriz de avaliação) com os níveis de referências.

O último bloco de iteração faz a comparação de cada elemento da matriz de credibilidade com o valor de  $\lambda$ , até que haja em cada linha um elemento que satisfaça a condição. A posição deste elemento é a classe a qual pertence a alternativa.

O exemplo do algoritmo é apresentado na Figura 4.12.

**Algoritmo 1** ELECTRE TRI

---

```

1: INICIO
2: Recuperar dados de entrada:  $v_j(b_h); \lambda; g_j(a); g_j(b_h); p_j(b_h); q_j(b_h); k_j$ ;
3: Calcular o índice de concordância parcial  $c_j(a, b_h)$  para cada elemento da matriz:
4: se  $g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h)$  então
5:    $c_j(a, b_h) = 0$ ;
6:   se  $g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h)$  então
7:      $c_j(a, b_h) = 1$ ;
8:   senão
9:      $c_j(a, b_h) = [p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)] / [p_j(b_h) - q_j(b_h)]$ 
10:  fim se
11: fim se
12: Calcular o índice de concordância global  $c(a, b_h)$  para cada elemento da matriz
13:  $c(a, b_h) = \sum [k_j c_j(a, b_h)] / \sum k_j$ 
14: Calcular o índice de discordância  $d_j(a, b_h)$  para cada elemento da matriz:
15: se  $g_j(b_h) - g_j(a) \leq p_j(b_h)$  então
16:    $d_j(a, b_h) = 0$ ;
17:   se  $g_j(b_h) - g_j(a) > v_j(b_h)$  então
18:      $d_j(a, b_h) = 1$ ;
19:   senão
20:      $d_j(a, b_h) = [g_j(b_h) + g_j(a) - p_j(b_h)] / [p_j(b_h) - v_j(b_h)]$ 
21:   fim se
22: fim se
23: Calcular o índice de credibilidade  $[\sigma(a, b_h)]$  para cada elemento da matriz
24: se  $d_j(a, b_h) > c(a, b_h)$  então
25:    $\sigma(a, b_h) = \Pi [1 - d_j(a, b_h)] / [1 - c(a, b_h)]$ 
26: fim se
27: Efetuar procedimento de alocação pessimista
28: Encontrar a melhor classe (r) com  $r = n-1, n-2, \dots, 1$ ;
29: se  $\sigma(a, b_h) > \lambda$  então
30:   Alocar alternativa na classe r
31: senão
32:   Repetir procedimento
33: fim se
34: Efetuar procedimento de aloca otimista
35: Encontrar a pior classe (r) com  $r = 1, 2, 3, \dots, n$ ;
36: se  $\sigma(a, b_h) > \lambda$  então
37:   Alocar alternativa na classe r
38: senão
39:   Repetir procedimento
40: fim se
41: Salvar classificação pessimista e otimista em txt
42: FIM.

```

---

# Capítulo 5

## Conclusão

O processo de tomada de decisão é um esforço para resolver problemas que apresentam conflito de interesse entre objetivos. Ele difere da Pesquisa Operacional tradicional por não buscar uma solução ótima e sim apresentar as melhores opções dentre as disponíveis para auxiliar na decisão final. Neste contexto, o AMD apresenta-se como uma poderosa ferramenta para responder à escassez dos recursos, pois as decisões são tomadas de forma a garantir a otimização dos retornos obtidos.

Dentre os diversos métodos escolheu-se trabalhar com ELECTRE TRI [52], por ser o que melhor se enquadrou no tipo de problemática proposta. Uma vantagem do ELECTRE TRI em relação aos métodos tradicionais é que a metodologia aqui proposta classifica, em níveis mais altos, aquelas alternativas que tem um melhor desempenho em um maior número de critérios. Apesar da aplicação desta metodologia depender do uso de um método não muito difundido no meio organizacional, o Método ELECTRE TRI, é uma boa ferramenta no que diz respeito a problemas na classificação.

No caso de classificação dos fornecedores de empresa automotiva, os julgamentos no ELECTRE TRI [52] dependeram da avaliação de diversas variáveis simultaneamente e de interpretações pessoais múltiplas, que variam de acordo com a preferência do decisor. Essa subjetividade ficou bem evidente no sistema de notas adotado e para montar a tabelas das alternativas versus critérios, para posteriormente efetuar os cálculos. O resultado final da modelagem do problema apresentou diferença de classificação entre o procedimento pessimista (alocação de alternativas de maneira mais rigorosa) e o otimista (alocação de alternativas de modo mais moderado). A escolha da melhor tabela de alocação dependerá exclusivamente das aspirações do decisor ou grupo de decisores, apesar da classificação pessimista demonstrar, para esse grupo de fornecedores escolhidos, uma melhor opção.

Trabalhou-se inicialmente com o Excel [32] para se fazer um laboratório, entender o método e efetuar as devidas simulações necessárias para que o mesmo esteja robusto. Após domínio da ferramenta, o problema foi implementado em Matlab [31] visando:

- 1) Generalizar o problema, possibilitando que o algoritmo possa ser utilizado para qualquer tipo de problema de classificação que tenha as características do estudo de caso apresentado.
- 2) Possibilitar a manipulação de um número grande de alternativas, como apresentado no estudo de caso, o qual classificou 178 fornecedores.

Propõe-se para trabalhos futuros estudar a aplicação do método em outros estudos de caso do gênero, bem como a comparação dos resultados com outro método de classificação, o UTADIS [26].

# Referências

- [1] ACOLET, T., *Modelo de análise de crédito fundamentado no Electre-Tri*, Ibmec, Rio de Janeiro, 2008.
- [2] ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. *Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE*, *Gestão Produção*, v. 9, n. 2, p. 201-214, Ago. 2002
- [3] ALMEIDA, A.T. COSTA, A.P.C.S. . *Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. Editora Universitária, 2003.
- [4] ALMEIDA, A. T. ARAÚJO, A G. *Apoio á decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método PROMETHEE*. *Gestão e Produção*, vol.16 no.4 São Carlos Oct./Dec. 2009.
- [5] ALMEIDA, A. T. *O conhecimento e o Uso de Métodos Muticritério de Apoio a Decisão*. Ed. Universitária UFPE. Recife, 2010.
- [6] BANA e COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. *Uma Nova Abordagem ao Problema de Construção de uma Função de Valor Cardinal: MACBETH*. *Investigação Operacional*, v. 15, junho, pp. 15-35, 1995.
- [7] BANA e COSTA, C.A. *Structuration, Construction et Exploitation dun Modele MCDA*. Universidade Técnica de Lisboa - Portugal, 1992.
- [8] BRANS, J.P. VINCKE, P. *A preference ranking organisation method: The PROMETHEE method for MCDM*. *Management Science*, 31(6):647656, 1985.
- [9] BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T. *An axiomatic approach to noncompensatory sorting methods in MCDM, I: The case of two categories*. *European Journal of Operational Research* Vol.178 p. 217245. 2007.
- [10] BOUYSSOU, D. *Decision Multicritère ou Aide Multicritère*. *Bulletin du Groupe de Travail Européen Aide Multicritère á la Décision*, Series 2, N 2, 1-2, 1993.

- [11] DEMING, W. E. *Qualidade: A Revolução da Administração*. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.
- [12] DEVAUD, J.M.; GROUSSAUD, G. e JACQUET-LAGREZE, E. *UTADIS: Une méthode de construction de fonctions d'utilité additives rendant compte de jugements globaux*, Working Group on Multicriteria Decision Aid, Bochum, European 1980.
- [13] EDWARDS, W. e BARRON, F. H. , *SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement*, Organizational Behavior and Human Decision Processes, 1994.
- [14] FERNANDES, C. H. *Priorização de projetos hidrelétricos sob a ótica social um estudo de caso utilizando análise custo/benefício e uma metodologia multicritério de apoio á decis MACBETH*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1996.
- [15] FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. et al. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Boston: Springer, 2005.
- [16] GARTNER, I. R. *Avaliação ambiental de projetos em bancos de desenvolvimento nacionais e multilaterais: evidências e propostas*. Brasília: Editora Universa, 2001.
- [17] GOMES, L. F. A. M. *Teoria da decisão*. Rio de Janeiro: Thomson, 2006. p. 132.
- [18] GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S. ALMEIDA, A.T. *Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério*. Editora Atlas, Rio de Janeiro, 2002.
- [19] GOMES, L.F.A.M.. ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO C. *Tomada de decisões em cenários complexos*. São Paulo: Thompson Learning. 2004.
- [20] GOMES, L. F. M.; MOREIRA, A. M. M. *Da informação á tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério*. In: RECITEC, Recife, v. 2, n. 2, p. 117-139, 1998.
- [21] GOMES, L. F. A. M.; RANGEL, L. A. D. *An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties*. European Journal of Operational Research, v. 193, n. 2, p. 204-211, 2007.
- [22] HAHN, E. D. *Decision making with uncertain judgments: a stochastic formulation of the Analytic Hierarchy Process*. Decisions Sciences, v. 34, n. 3, 2003.

- [23] HAMALAINEN, R.; KETTUNEN, E.; EHTAMO, H. *Evaluating a framework for multi-stakeholder decision support in water resources management*. Group Decision and Negotiation, v. 10, n. 4, p. 331-353, 2001.
- [24] KAHNEMAN, D., TVERSKY, A. *Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk*. Econometrica, Vol. 47, n. 2, 1979.
- [25] JACQUET-LAGREZE, E.; SISKOS, J. *Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making the UTA method*. European Journal of Operational Research, 1982.
- [26] JACQUET-LAGREZE, E. *An application of the UTA discriminant model for the evaluation of RD projects*. In Pardalos, P. M.; Siskos, Y.; Zopounidis, C., editores, Advances in Multicriteria Analysis. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 203-211, 1995.
- [27] KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. p. 569.
- [28] LAGUNA, E. *Fenabreve divulga dados do melhor ano da indústria automotiva*. Site Valor Econômico, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/2956784/fenabreve-divulga-dados-do-melhor-ano-da-industria-automotiva>>. Acesso em: 27 de março 2013.
- [29] MADEIRA, L. C. *Classificação Multicritério de Empresas e Processos em Controles Internos: Aplicação do ELECTRE TRI*. Dissertação (Mestrado em Administração). Rio de Janeiro: IBMEC, 2010.
- [30] MENDOZA, G. A.; MACOUN, P.; PRABHU, R.; SUKADRI, D.; PURNOMO, H.; HARTANTO, H. *Guidelines for applying multi-criteria analysis to de assessment of criteria and indicators*. Jakarta: Center for International Forestry Research, 1999.
- [31] Matlab R2008a: software comercializado. The MathWorks, Inc., 2008.
- [32] Microsoft Office: software comercializado. Microsoft Corporation, 2007.
- [33] MIGUEL, P. A. C. *Metodologia de pesquisa em Eng. de produção e gestão de operações*. Ed. Elsevier. Rio de Janeiro, 2010.

- [34] MIOTTO, R. *Brasil fecha 2012 com novo recorde de vendas de veículos*. Site G1, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.g1.com.br/>>. Acesso em: 27 de março 2013.
- [35] MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. *Electre Tri 2.0a. Methodological Guide and Users Manual*. Document Du Lamsade. France: Université Paris Dauphine., 1999.
- [36] PARDALOS, P.M., SISKOS, Y., ZOPOUNIDIS, C. *Advances in Multicriteria Analysis*, Netherlands. Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [37] RANGEL, L. A. D. *Determinação de funções de utilidade através das preferências dos decisores sobre o conjunto de critérios empregando o método UTA*. UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.
- [38] RANGEL, L. A. D. et al. *Avaliação da interiorização dos cursos da Universidade Federal Fluminense com o uso conjugado dos métodos UTA e MACBETH*. *Investigação Operacional*, v. 23, n. 1, p. 49-70, 2003.
- [39] RANGEL, L. A. D. *Determinação de funções de utilidade dos critérios empregados na avaliação de imóveis residenciais*. In: CONGRESO IBERO-LATINOAMERICANO DE INVESTIGACION OPERATIVA - CLAIO, 13, 2006.
- [40] RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M. *O AMD na avaliação de candidatos*. *Gestão e Produção* vol.20 no.1 São Paulo Jan./Mar. 2010.
- [41] ROGERS, M.; BRUEN, M.; MAYSTRE, L.Y. *Electre And Decision Support: Methods and Application In Engeneering And Infrastructure Investment*. BOSTON: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [42] ROY, B. *ELECTRE III: Algorithme de Classement Base Sur Une Représentation Floue des Préférences en Présence des Critères Multiples*. Cahiers du CERO, vol. 20, n 1, pp. 3-24.1978.
- [43] ROY, B. BERTIER, P. *La méthode ELECTRE II - Une application au media-planning*. North Holland, Amsterdam. 1973.
- [44] ROY, B. BOUYSSOU, D. *Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et Cas*. Paris: Ed. Economica, 1993.
- [45] SAATY, T. L. *Método de análise hierárquica*. São Paulo: Makron Books. 367 p. 1991.

- [46] SCHMIDT, A. M. A. *Processo de apoio á tomada de decisão Abordagens: AHP e MACBETH*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1995.
- [47] SIMOES, R. S.;RANGEL, L. A. D. *Avaliação de fornecedores através do método ELECTRE TRI*. ENFEPRO, Volta Redonda, 2013.
- [48] SOARES, S. R. *Análise multicritério como instrumento de gestão ambiental*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 2003.
- [49] SZAJUBOK, N. K.; ALENCAR, L. H.; ALMEIDA, A.T. *Modelo de gerenciamento de materiais na construção civil utilizando avaliação multicritério*. Revista Produção, Vol.16, n 2, p. 303-318,2006.
- [50] VILAS BOAS, C. L. *Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios: estudo da barragem do Ribeirão João Leite*. Dissertação (Mestrado em Economia - Gestão o Econômica do Meio Ambiente). Brasília: UnB, 2006.
- [51] VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid*. Bruxelles: John Wiley Sons, 1992.
- [52] YU, W. *ELECTRE TRI Aspects Methodologiques et Guide dUtilisation*. Document Du Lamsade. France: Université Paris Dauphine,1992.

# Apêndice

## APÊNDICE I - Código do Algoritmo ELECTRE TRI em MATLAB

### Vetores

p = limite de preferência

q = limite de indiferença

v = limiar de veto

w = pesos dos critérios

ClasseP = classificação Pessimista

ClasseO = classificação Otimista

### Variáveis

lambda = limiar de corte

Auxiliares = n,m,x,k,i,j,soma1,soma2,pesos,maior1,maior2

m = número de fronteiras

n = número de critérios

x = número de alternativas

### Matrizes

A = desempenho das alternativas a luz dos critérios

F = fronteira das classes

ICP1 = índice de concordância parcial  $c_j(a, b_h)$

ICP2 = índice de concordância parcial  $c_j(b_h, a)$

IDI1 = índice de discordância  $d_j(a, b_h)$

IDI2 = índice de discordância  $d_j(b_h, a)$

ICG1 = índice de concordância global  $C(b_h, a)$

ICG2 = índice de concordância global  $C(a, b_h)$

ICR1 = índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$

ICR2 = índice de credibilidade  $\sigma(b_h, a)$

---

08/11/13 21:26 C:\Users\HP ROGERIO\Documents\MATLAB\Algoritmo ELECTRE TRI CC.m 1 of 3

---

```

%
% UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE -- EEIMVR
% MCCT - MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIENCIA E TECNOLOGIA
% ALGORITMO ELECTRE TRI
%


---


clc; clear all;
%Lê arquivo para carregar a matriz com as classes de equivalência;
F=textread('fronteira.txt');

[m,n] = size(F);

%Lê arquivo para carregar a matriz com os julgamentos à luz dos critérios;
A=textread('alternativa.txt');

[x,n] = size(A);

%Lê arquivo para carregar o vetor com os limites de indiferença para cada critério;
q=textread('v_lim_indiferenca.txt');

%Lê arquivo para carregar o vetor com os limites de preferência para cada critério;
p=textread('v_lim_preferencia.txt');

%Lê arquivo para carregar o vetor com os pesos para cada critério;
w=textread('v_pesos.txt');

%Lê arquivo para carregar o vetor com os limiares de veto para cada critério;
v=textread('v_lim_veto.txt');

lambda= input('Entre com um valor para lambda (entre 0.5 e 1): ');

k=0;
i=0;
j=0;
somal=0;
soma2=0;
pesos=0;
maior1=0;
maior2=0;
s=1:x;

for k=1:m
    for i=1:x
        for j=1:n
            %matriz de concordancia parcial cj(a,bh)
            if (F(k,j) - A(i,j)) > p(j)
                ICP1(i,j)=0;
            elseif (F(k,j) - A(i,j)) < q(j)
                ICP1(i,j)=1;
            else
                ICP1(i,j)=(p(j) + A(i,j)-F(k,j))/(p(j) - q(j));
            end
            %matriz de concordancia parcial cj(bh,a)
            if (A(i,j)-F(k,j)) >= p(j)
                ICP2(i,j)=0;
            elseif (A(i,j)-F(k,j)) <= q(j)
                ICP2(i,j)=1;
            else
                ICP2(i,j)=(p(j) + F(k,j)-A(i,j))/(p(j) - q(j));
            end
        end
    end
end

```

08/11/13 21:26 C:\Users\HP ROGERIO\Documents\MATLAB\Algoritmo ELECTRE TRI CC.m 2 of 3

```

        end
        %matriz de discordância dj(a,bh)
        if (F(k,j) - A(i,j)) <= p(j)
            IDI1(i,j)=0;
        elseif (F(k,j) - A(i,j)) >= v(j)
            IDI1(i,j)=1;
        else
            IDI1(i,j)= (F(k,j) + A(i,j) - p(j))/(v(j) - p(j));
        end;
        %matriz de discordância dj(bh,a)
        if (A(i,j)-F(k,j)) <= p(j)
            IDI2(i,j)=0;
        elseif (A(i,j)-F(k,j)) >= v(j)
            IDI2(i,j)=1;
        else
            IDI2(i,j)= (A(i,j) +F(k,j)- p(j))/(v(j) - p(j));
        end;
        %matriz de concordância global c(a,bh) e c(bh,a)
        soma1=soma1+ICP1(i,j)*w(j);
        soma2= soma2+ICP2(i,j)*w(j);
        pesos=pesos + w(j);
        if IDI1(i,j)>maior1
            maior1=IDI1(i,j);
        end;
        if IDI2(i,j)>maior2
            maior2= IDI2(i,j);
        end;
    end
    ICG1(i,k)=soma1/ pesos;
    ICG2(i,k)=soma2/ pesos;

    %matriz de credibilidade
    ICR1(i,k)= ICG1(i,k)*(1-maior1);
    ICR2(i,k)= ICG2(i,k)*(1-maior2);

    %reinicializar as variaveis auxiliares
    soma1=0;
    soma2=0;
    maior1=0;
    maior2=0;
    pesos=0;
end;
end

for i=1:x
    aux1=0
    aux2=0
    % Classificação Pessimista
    for j=1:n
        if (ICR1(i,j)>=lambda)&&(aux1==0)
            aux1=j;
        end
    % Classificação Pessimista
        if (ICR2(i,j)<=lambda)&&(aux2==0)
            aux2=j-1;
        end
    end
    ClasseP(i)=aux1
    ClasseO(i)=aux2
end

```

---

08/11/13 21:26 C:\Users\HP ROGERIO\Documents\MATLAB\Algoritmo ELECTRE TRI CC.m 3 of 3

---

```

end
A = [s; ClasseP(s);ClasseO(s)];
fileID = fopen('Classi.txt','w');
fprintf(fileID,'%█
ls\r\n','_____');
fprintf(fileID,'%ls\r\n','UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE');
fprintf(fileID,'%ls\r\n','EEIMVR - ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA█
REDONDA  ');
fprintf(fileID,'%ls\r\n','MCCT - MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIENCIA E TECNOLOGIA');
fprintf(fileID,'%ls\r\n','ALGORITMO DE CLASSIFICAÇÃO ELECTRE TRI');
fprintf(fileID,'%█
ls\r\n','_____');
fprintf(fileID,'%ls\r\n','█
');
fprintf(fileID,'%ls\r\n','      Algoritmo desenvolvido pelo mestrando Rogério Gonçalves █
Simões  ');
fprintf(fileID,'%ls\r\n','      sob orientação do Prof. Luis Alberto Duncan Rangel █
');
fprintf(fileID,'%ls\r\n','█
');
fprintf(fileID,'%█
ls\r\n','*****');
fprintf(fileID,'%5s %8s %6s\r\n','      N°      ','      Classificação ','█
Classificação  ');
fprintf(fileID,'%5s %8s %6s\r\n','Alternativa','      Pessimista','█
Otimista  ');
fprintf(fileID,'%█
ls\r\n','*****');
fprintf(fileID,'%6.0f %19.0f %20.0f\r\n',A);
fclose(fileID)

```

## APÊNDICE II - Matriz de avaliação e Classificação final dos Fornecedores

	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5
F1	6,02	5,31	6,25	4,38	10,00
F2	5,23	5,92	7,75	7,34	6,33
F3	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
F4	9,88	10,00	10,00	9,88	10,00
F5	7,28	4,38	5,35	4,43	7,22
F6	8,56	8,68	9,03	9,49	8,89
F7	8,12	8,15	8,35	8,40	8,28
F8	7,94	8,95	8,49	9,66	9,00
F9	8,74	8,03	7,61	9,77	9,35
F10	9,04	8,45	8,80	8,39	8,93
F11	7,20	7,41	7,58	8,44	9,27
F12	6,25	7,19	7,19	8,50	10,00
F13	8,91	9,20	8,17	8,91	8,95
F14	8,77	8,94	9,59	9,72	9,34
F15	9,60	9,55	9,40	9,10	8,80
F16	6,09	8,13	10,00	6,25	6,25
F17	7,60	8,10	7,79	6,80	7,76
F18	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25
F19	9,98	9,98	9,80	9,98	9,99
F20	6,16	8,36	9,68	8,77	7,86
F21	9,66	8,50	9,63	10,00	10,00
F22	9,84	9,97	10,00	10,00	10,00
F23	6,25	7,39	10,00	10,00	10,00
F24	10,00	9,38	10,00	10,00	10,00
F25	6,94	8,18	9,53	9,25	9,53
F26	9,96	9,60	9,80	9,28	9,98
F27	6,92	8,19	8,18	7,81	8,83
F28	10,00	10,00	9,94	9,30	10,00
F29	6,25	7,00	6,25	7,49	7,75
F30	7,14	8,70	8,85	9,73	9,78
F31	7,51	7,70	8,06	8,80	9,10
F32	8,50	8,72	9,06	8,19	7,84
F33	10,00	9,57	8,59	9,23	9,73
F34	8,07	8,27	8,41	8,46	9,30
F35	9,77	9,93	9,74	9,96	10,00
F36	10,00	9,99	10,00	9,99	10,00
F37	6,17	6,19	6,18	6,20	6,18
F38	8,98	9,33	8,56	9,41	10,00
F39	8,26	8,38	8,34	8,83	8,67
F40	8,36	6,38	4,74	6,13	9,25
F41	7,72	8,19	8,57	9,01	7,89
F42	9,94	9,84	9,81	9,76	9,71
F43	8,45	9,44	8,97	6,25	6,36

F44	7,65	8,04	8,13	6,79	8,13
F45	9,82	9,93	9,91	10,00	9,67
F46	7,49	6,96	6,97	6,07	6,77
F47	8,71	7,90	7,68	7,28	7,55
F48	9,65	9,06	6,89	6,76	8,72
F49	6,10	7,94	8,46	9,37	9,66
F50	10,00	9,94	9,83	9,60	9,70
F51	8,02	9,37	8,75	8,81	8,58
F52	8,30	8,36	8,86	8,79	8,98
F53	9,89	9,26	9,99	9,99	9,98
F54	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
F55	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
F56	9,40	7,66	9,21	9,85	10,00
F57	8,22	8,19	8,76	8,95	8,58
F58	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
F59	7,57	7,42	7,52	8,12	8,47
F60	7,86	8,13	8,09	8,10	8,01
F61	9,49	9,67	9,45	8,02	9,55
F62	6,25	6,25	6,25	10,00	10,00
F63	9,93	9,93	9,60	10,00	10,00
F64	8,04	7,84	6,98	7,80	7,88
F65	8,93	8,99	9,54	9,47	9,46
F66	8,41	9,13	9,55	9,93	9,50
F67	8,44	8,71	8,51	8,51	8,94
F68	9,64	9,93	9,76	9,88	9,88
F69	4,37	4,37	4,74	5,66	5,69
F70	8,22	5,54	8,47	9,01	8,75
F71	9,69	10,00	9,33	9,69	9,80
F72	7,84	7,38	7,61	7,61	7,16
F73	6,88	7,47	7,90	8,47	8,76
F74	9,71	10,00	9,78	9,81	10,00
F75	7,74	7,95	7,19	7,00	7,66
F76	9,99	9,98	9,99	9,86	9,94
F77	6,51	6,22	6,25	7,47	10,00
F78	9,33	8,25	9,75	9,17	9,41
F79	8,01	8,27	8,18	8,61	9,07
F80	6,74	7,65	6,94	7,79	8,50
F81	9,67	9,48	9,42	9,73	9,70
F82	8,86	8,77	9,08	9,13	9,47
F83	7,62	8,33	8,95	8,89	8,22
F84	9,78	9,73	8,67	9,78	9,81
F85	6,19	7,41	6,91	7,38	8,85
F86	9,98	9,92	9,91	9,82	9,96
F87	9,92	9,97	9,72	9,59	9,91
F88	7,54	7,98	9,27	9,51	9,40
F89	7,80	7,10	9,22	9,84	9,93
F90	6,25	4,69	4,26	6,25	6,25
F91	7,95	7,63	8,13	9,65	8,32
F92	9,03	9,90	9,53	10,00	9,38
F93	7,58	6,25	10,00	8,04	9,06

<b>F94</b>	9,91	9,91	9,92	9,60	9,93
<b>F95</b>	6,10	4,84	4,77	6,11	6,19
<b>F96</b>	8,67	9,60	9,28	9,69	10,00
<b>F97</b>	8,69	8,27	9,56	9,12	8,84
<b>F98</b>	9,99	9,99	10,00	10,00	10,00
<b>F99</b>	9,94	6,57	8,13	10,00	7,12
<b>F100</b>	6,54	6,76	6,31	6,87	7,63
<b>F101</b>	6,12	5,75	5,82	7,92	8,75
<b>F102</b>	9,62	9,86	9,54	9,47	9,64
<b>F103</b>	9,24	9,25	7,57	9,84	10,00
<b>F104</b>	10,00	8,75	9,53	10,00	9,46
<b>F105</b>	8,02	4,99	6,17	5,87	5,94
<b>F106</b>	10,00	9,13	5,55	6,30	6,82
<b>F107</b>	9,42	9,92	9,67	9,46	9,50
<b>F108</b>	9,47	9,39	9,80	9,28	9,42
<b>F109</b>	8,14	8,35	7,51	8,48	8,47
<b>F110</b>	6,56	5,40	4,06	7,19	9,06
<b>F111</b>	10,00	9,92	9,59	9,77	9,89
<b>F112</b>	7,98	8,25	8,26	8,34	9,06
<b>F113</b>	4,38	6,25	6,25	6,25	4,25
<b>F114</b>	10,00	10,00	10,00	9,87	10,00
<b>F115</b>	9,88	9,59	9,97	9,58	9,97
<b>F116</b>	9,66	9,38	9,31	9,05	9,25
<b>F117</b>	7,40	7,70	8,05	7,52	6,69
<b>F118</b>	9,61	9,67	9,60	9,51	9,49
<b>F119</b>	4,15	6,66	5,64	7,87	9,96
<b>F120</b>	9,89	9,93	9,97	9,87	9,69
<b>F121</b>	6,00	6,93	8,46	9,15	9,01
<b>F122</b>	8,15	8,96	8,02	9,71	9,31
<b>F123</b>	7,37	7,46	7,14	7,17	7,53
<b>F124</b>	9,61	9,50	9,71	9,89	9,90
<b>F125</b>	9,95	9,75	9,80	9,79	9,81
<b>F126</b>	9,95	10,00	9,67	9,41	10,00
<b>F127</b>	8,02	8,53	8,28	9,44	9,17
<b>F128</b>	9,87	10,00	10,00	9,53	10,00
<b>F129</b>	6,88	6,25	6,25	6,05	6,77
<b>F130</b>	7,15	9,17	8,26	9,54	9,69
<b>F131</b>	9,78	9,86	9,75	8,68	10,00
<b>F132</b>	9,93	9,93	10,00	10,00	9,88
<b>F133</b>	4,20	4,17	4,23	4,24	4,20
<b>F134</b>	8,58	8,60	7,82	8,20	8,07
<b>F135</b>	6,25	5,17	4,37	4,76	6,53
<b>F136</b>	9,52	7,71	9,55	9,08	9,22
<b>F137</b>	9,86	10,00	10,00	10,00	10,00
<b>F138</b>	9,46	9,50	9,83	9,83	9,32
<b>F139</b>	9,13	9,53	9,45	9,36	5,70
<b>F140</b>	8,91	9,62	9,38	9,71	9,79
<b>F141</b>	9,78	9,72	9,71	9,65	9,45
<b>F142</b>	8,19	9,08	8,55	9,00	9,14
<b>F143</b>	9,13	8,42	9,06	8,91	10,00

<b>F144</b>	9,14	8,72	8,78	9,00	8,90
<b>F145</b>	9,66	9,73	9,96	9,54	9,61
<b>F146</b>	7,85	9,67	8,94	8,10	7,45
<b>F147</b>	9,86	9,35	9,57	9,55	9,93
<b>F148</b>	9,23	9,88	9,82	9,90	9,85
<b>F149</b>	9,85	10,00	10,00	10,00	9,28
<b>F150</b>	9,32	8,31	8,96	8,77	9,49
<b>F151</b>	6,25	6,25	6,25	6,25	4,38
<b>F152</b>	9,99	8,30	10,00	7,32	8,93
<b>F153</b>	9,30	10,00	10,00	10,00	9,56
<b>F154</b>	4,35	4,38	5,78	4,42	7,03
<b>F155</b>	6,85	7,65	6,85	7,60	7,29
<b>F156</b>	7,84	7,60	7,71	7,99	8,29
<b>F157</b>	9,72	9,86	9,95	9,83	9,74
<b>F158</b>	7,37	8,40	8,72	8,69	8,25
<b>F159</b>	9,86	10,00	10,00	9,72	10,00
<b>F160</b>	4,38	4,31	4,38	4,38	4,38
<b>F161</b>	9,61	9,32	9,00	9,52	9,53
<b>F162</b>	8,01	9,39	9,09	9,01	9,77
<b>F163</b>	8,51	9,22	9,91	9,06	9,16
<b>F164</b>	9,15	8,91	9,21	8,25	9,46
<b>F165</b>	8,92	8,93	8,35	8,97	8,03
<b>F166</b>	9,60	9,40	8,77	8,50	8,23
<b>F167</b>	6,90	7,94	8,59	9,74	9,91
<b>F168</b>	9,63	8,99	9,08	9,34	8,89
<b>F169</b>	4,35	4,66	6,54	8,83	6,72
<b>F170</b>	6,32	10,00	9,71	9,28	9,86
<b>F171</b>	9,55	9,65	9,57	9,48	9,60
<b>F172</b>	8,42	8,57	8,98	9,41	9,29
<b>F173</b>	9,80	9,74	10,00	9,84	9,83
<b>F174</b>	7,53	8,26	8,32	9,79	9,88
<b>F175</b>	5,83	8,08	6,40	6,85	8,39
<b>F176</b>	9,09	10,00	9,54	9,49	9,35
<b>F177</b>	9,00	9,42	9,51	9,14	8,20
<b>F178</b>	8,91	9,74	9,31	9,13	10,00

Classi

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
 EEIMVR - ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA  
 MCCT - MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIENCIA E TECNOLOGIA  
 ALGORITMO DE CLASSIFICAÇÃO ELECTRE TRI

Algoritmo desenvolvido pelo mestrando Rogério Gonçalves Simões  
 sob orientação do Prof. Luis Alberto Duncan Rangel

\*\*\*\*\*

Nº Alternativa	Classificação Pessimista	Classificação Otimista
1	2	1
2	2	1
3	1	1
4	1	1
5	3	2
6	1	1
7	1	1
8	1	1
9	1	1
10	1	1
11	1	1
12	1	1
13	1	1
14	1	1
15	1	1
16	2	1
17	1	1
18	2	2
19	1	1
20	1	1
21	1	1
22	1	1
23	1	1
24	1	1
25	1	1
26	1	1
27	1	1
28	1	1
29	2	1
30	1	1
31	1	1
32	1	1
33	1	1
34	1	1
35	1	1
36	1	1
37	2	2
38	1	1
39	1	1
40	2	1
41	1	1
42	1	1
43	2	1
44	1	1
45	1	1
46	2	2
47	1	1
48	1	1
49	1	1
50	1	1
51	1	1
52	1	1
53	1	1
54	1	1

		Classi	
55	1	1	1
56	1	1	1
57	1	1	1
58	1	1	1
59	1	1	1
60	1	1	1
61	1	1	1
62	2	1	1
63	1	1	1
64	1	1	1
65	1	1	1
66	1	1	1
67	1	1	1
68	1	1	1
69	3	2	1
70	2	1	1
71	1	1	1
72	1	1	1
73	1	1	1
74	1	1	1
75	1	1	1
76	1	1	1
77	2	1	1
78	1	1	1
79	1	1	1
80	1	1	1
81	1	1	1
82	1	1	1
83	1	1	1
84	1	1	1
85	1	1	1
86	1	1	1
87	1	1	1
88	1	1	1
89	1	1	1
90	3	2	1
91	1	1	1
92	1	1	1
93	1	1	1
94	1	1	1
95	2	2	1
96	1	1	1
97	1	1	1
98	1	1	1
99	1	1	1
100	2	2	1
101	2	1	1
102	1	1	1
103	1	1	1
104	1	1	1
105	2	1	1
106	2	1	1
107	1	1	1
108	1	1	1
109	1	1	1
110	3	1	1
111	1	1	1
112	1	1	1
113	3	2	1
114	1	1	1
115	1	1	1
116	1	1	1
117	1	1	1
118	1	1	1
119	2	1	1
120	1	1	1
121	1	1	1
122	1	1	1

		Classi	
123	1		1
124	1		1
125	1		1
126	1		1
127	1		1
128	1		1
129	2		2
130	1		1
131	1		1
132	1		1
133	3		3
134	1		1
135	3		2
136	1		1
137	1		1
138	1		1
139	2		1
140	1		1
141	1		1
142	1		1
143	1		1
144	1		1
145	1		1
146	1		1
147	1		1
148	1		1
149	1		1
150	1		1
151	2		2
152	1		1
153	1		1
154	3		2
155	1		1
156	1		1
157	1		1
158	1		1
159	1		1
160	3		3
161	1		1
162	1		1
163	1		1
164	1		1
165	1		1
166	1		1
167	1		1
168	1		1
169	2		1
170	1		1
171	1		1
172	1		1
173	1		1
174	1		1
175	2		1
176	1		1
177	1		1
178	1		1