

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR ... DANIEL PASSETTI
CARDOSO E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM ... 19 / 12 / 2011 ...


.....
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Daniel Passetti Cardoso

**Aplicação de métodos de apoio à tomada de
decisão na cadeia de suprimentos**

Campinas, 2011

01/2012

Daniel Passeti Cardoso

Aplicação de métodos de apoio à tomada de decisão na cadeia de suprimentos

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Antonio Batocchio

Campinas

2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

C179a Cardoso, Daniel Passetti
Aplicação de métodos de apoio à tomada de decisão
na cadeia de suprimentos / Daniel Passetti Cardoso. --
Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Antonio Batocchio.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Cadeias de suprimento - Administração. 2.
Processo decisório. 3. Análise multicritério. 4. Indústria
- Localização. 5. Lote econômico de compras. I.
Batocchio, Antonio. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III.
Título.

Título em Inglês: Application of decision aiding methods in the supply chain

Palavras-chave em Inglês: Supply chains - Administration, Decision-making,
Multicriteria analysis, Industry - Location, Economic lot
purchases

Área de concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Sergio Tonini Button, Miguel Antonio Bueno da Costa

Data da defesa: 19-12-2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

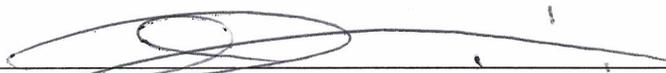
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**Aplicação de métodos de apoio à tomada de
decisão na cadeia de suprimentos**

Autor: Daniel Passetti Cardoso
Orientador: Prof. Dr. Antonio Batocchio

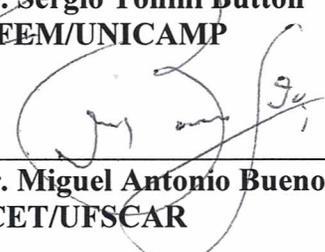
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. Antonio Batocchio, Presidente
DEF/FEM/UNICAMP



Prof. Dr. Sergio Tonini Button
DEMA/FEM/UNICAMP



Prof. Dr. Miguel Antonio Bueno da Costa
DEP/CCET/UFSCAR

Campinas, 19 de dezembro de 2011.

Dedico este trabalho a minha família.

Agradecimentos

Agradeço a todos que contribuíram com a minha formação até hoje.

Aos meus pais que tanto se empenharam para os valores e educação de seus filhos.

Aos meus irmãos, com quem cresci junto.

À Gabriela Lujan Brollo pela companhia e inspiração de todos os dias.

Aos meus amigos e demais familiares por todo apoio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Batocchio, por me trazer a luz às inúmeras possibilidades da vida acadêmica.

À professora Vilma Passetti Cardoso, que no âmbito pessoal é minha mãe, por toda orientação.

Ao amigo e ex-professor Rodrigo Cardoso de Jesus pela colaboração dispensada e por me introduzir no contexto acadêmico.

A todos os professores da Unicamp e outras instituições de ensino em que passei.

À Unicamp por todo investimento e apoio em minha experiência universitária.

À École Centrale Paris pela oportunidade internacional que me foi concedida e muito contribuiu as minhas experiências.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, que confiou em meus esforços durante o período de Iniciação Científica.

À Profa. Dra. Maria Lucia Galves e ao Prof. Dr. Vincent Mousseau pela colaboração.

*Você deve ser a própria mudança
que deseja ver no mundo.*

Mohandas Karamchand Gandhi

Resumo

A gestão de empresas baseada em cadeia de suprimentos é uma prática que tem se difundido nas últimas décadas, cujo foco compreende os fluxos de material, de informação e financeiro desde os fornecedores de matéria-prima até os clientes finais. A presença desses elementos, seus diversos objetivos e aspectos caracterizam um cenário que pode ser avaliado por múltiplos critérios, em que a integração efetiva dos membros da cadeia pode levar a um melhor desempenho global. Com isso, o presente trabalho estuda a tomada de decisão sob essa perspectiva, sendo realizada uma aplicação composta por duas situações para o apoio à tomada de decisão no contexto da indústria automobilística. Para uma situação, adotou-se um método multicritério, baseado no método UTA^{GMS}, que utiliza um modelo de agregação aditiva “enriquecido” com restrições de informações preferenciais e faz uso de um procedimento de programação linear, para um problema de seleção de um país para localização de uma instalação industrial, enquanto na outra situação foi feito uso de um modelo de integração comprador-vendedor para o dimensionamento de um lote de aquisição que engloba os custos de fornecedor e comprador. Na aplicação do dimensionamento de lote, obteve-se uma redução dos custos de aquisição em comparação com a análise que não considera outros membros da cadeia de suprimentos. Isso é um exemplo de que empresas que decidem buscando melhores resultados para sua cadeia de suprimentos como um todo e de forma integrada podem obter melhores resultados individuais. Já para o problema de seleção de localização, foi feita uma recomendação final baseando-se em uma modelagem multicritério, que permitiu uma caracterização ampla e aprofundada, coerente com as preferências do decisor. Essa modelagem utilizou indicadores de competitividade de negócios obtidos através de publicações de organizações internacionais.

Palavras Chave: cadeia de suprimentos, tomada de decisão, multicritério, desempenho global, localização de instalação, tamanho de lote.

Abstract

The companies management based on a supply chain is a practice which has proliferated in the last decades, whose focus involves the material, information and financial flows from the raw materials suppliers to the final customers. The presence of these elements, their various goals and aspects characterizes a scenario that may be evaluated by multiple criteria, where the effective integration of the chain members can lead to a better global performance. Therewith this work studies the decision making from that perspective, where it's realized an application composed of two situations for decision making aid in the automotive industry context. For one situation it is adopted a multicriteria method, based on UTA^{GMS} method, which uses an additive aggregation model "enriched" with preference information constraints and which uses linear programming procedure, for a country selection for an industrial facility location problem, whereas in another situation it was used a joint economic lot sizing model which comprehends the suppliers and buyers costs. In the lot sizing application it was got cost reduction in comparison with the approach that doesn't consider other supply chain members. This is an example that companies which decide to target better results for the whole supply chain and in an integrated way can have better individual results. For the lot sizing problem, it was performed a final recommendation based in a multicriteria modeling, that enabled a wider and depth characterization, coherent with the decision actor preferences. This modeling used business competitiveness indicators obtained through publications of international organizations.

Key Words: supply chain, decision making, multicriteria, global performance, facility location, lot size.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Diagrama esquemático do conteúdo da dissertação	10
Figura 2 - Organização da cadeia de suprimentos (adaptado de DALLERY, 2009)	15
Figura 3 - Evolução da gestão da cadeia de suprimentos (BALLOU, 2006)	18
Figura 4 - Modelo de cadeia de suprimentos e seus três fluxos (traduzido de WENDAN ZHAO, WENDAN ZHAO, 2010, p. 336)	21
Figura 5 - Pagamentos e recebimentos na cadeia de fornecimento (traduzido de DALLERY, 2009)	29
Figura 6 - Fluxo financeiro na cadeia de fornecimento (traduzido de DALLERY, 2009)	30
Figura 7 - Representação da estratégia ETO	34
Figura 8 - Representação da estratégia MTO	35
Figura 9 - Representação da estratégia MTS	35
Figura 10 - Representação da estratégia ATO	36
Figura 11 - Exemplo de VSM (MORETTI, 2005, p. 111)	49
Figura 12 - Esquema de apoio à decisão (MOUSSEAU, 2009)	65
Figura 13 - Matriz de resultados	72
Figura 14 - Matriz de resultados pelo critério de Laplace	72
Figura 15 - Matriz de resultados pelo critério de Savage	73
Figura 16 - Matriz de resultados pelo critério de Wald	73
Figura 17 - Matriz de resultados pelo critério de MaxMax	74
Figura 18 - Esquema de Balanced Scorecard baseado em Kaplan e Norton (1997)	94
Figura 19 - <i>Performance Prism</i> (NEELY, ADAMS, 2002 apud PRANCIC, 2008, p. 49)	95
Figura 20 - Hierarquia do IPMS (adaptado de BITITCI et al., 1997 apud PRANCIC, 2008, p. 47)	96
Figura 21 - <i>Performance Pyramid</i> (CROSS, LYNCH, 1989 apud PRANCIC, 2008, p. 39)	97
Figura 22 - Esquema simplificado de decisão na cadeia logística (DALLERY, 2003)	100
Figura 23 - Ciclo de inventário (baseado em KUMAR, SURESH, 2009, p. 181)	117
Figura 24 - Custos de aquisição (baseado em SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 366)	119

Figura 25 - Ciclo de inventário do fornecedor (baseado em BEN-DAYA, DARWISH, ERTOGRA, 2008, p. 732).....	122
Figura 26 - Exemplo de diagrama de preferência (MOUSSEAU, 2009).....	133
Figura 27 - Esquema de utilização da análise multicritério adotada	134
Figura 28 - Curvas do custo variável de aquisição.....	141
Figura 29 - Concavidade da curva do custo de aquisição para o cenário “c”.....	142
Figura 30 - Fases de seleção de localização	147
Figura 31 - Estrutura de critérios.....	157
Figura 32 - Diagrama inicial de preferência.....	186
Figura 33 - Diagrama de preferência.....	192
Figura 34 - Esquema explicativo da primeira situação de decisão.....	195
Figura 35 - Esquema explicativo da segunda situação de decisão	196

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Quadro comparativo entre os diferentes modelos de processo decisório.....	64
Tabela 2 - Relações binárias a partir da diferença d	132
Tabela 3 - Demanda de Veículos.....	138
Tabela 4 - Demanda da bucha	139
Tabela 5 - Tamanhos de lotes ótimos e seus respectivos custos de aquisição para cada um dos três cenários.....	142
Tabela 6 - Países alternativas.....	150
Tabela 7 - Critérios selecionados (baseado em HUGOS, 2006, p. 14; KUMAR, SURESH, 2009; MEIXELL, GARGEYARITIQUE, 2005; MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009; ÖZDAĞOĞLU, 2011; SCHWAB, 2011)	155
Tabela 8 - Limites dos coeficientes de ponderação	156
Tabela 9 - Cálculo da posição geográfica de referência (baseado em CREATIVE COMMONS, 2011).....	159
Tabela 10 - Avaliação de atributos referente à posição geográfica.....	161
Tabela 11 - Avaliação de atributos referente à infraestrutura de transportes	162
Tabela 12 - Avaliação de atributos referente à energia elétrica	164
Tabela 13 - Avaliação de atributos referente à qualidade da mão-de-obra	165
Tabela 14 - Avaliação de atributos referente ao custo de mão-de-obra	166
Tabela 15 - Avaliação de atributos referente aos fornecedores.....	168
Tabela 16 - Avaliação de atributos referente à matéria-prima	169
Tabela 17 - Valores de referência para a avaliação da agilidade de procedimentos	170
Tabela 18 - Avaliação de atributos referente à agilidade de procedimentos de negócio.....	171
Tabela 19 - Avaliação de atributos referente ao desempenho econômico	172
Tabela 20 - Avaliação de atributos referente à tributação	175
Tabela 21 - Pontuação referente à estabilidade institucional	176
Tabela 22 - Avaliação de atributos de todas alternativas	177
Tabela 23 - Conjunto de coeficientes das inequações/equações de restrição iniciais	180
Tabela 24 - Exemplo de conjunto de coeficientes de ponderação.....	181

Tabela 25 - Exemplo de apuração de restrições	182
Tabela 26 - Exemplo de avaliação de alternativas	183
Tabela 27 - Exemplo da diferença entre a avaliação dos pares de alternativas.....	183
Tabela 28 - Maximização inicial da diferença entre a avaliação global dos pares de alternativas	184
Tabela 29 - Minimização inicial da diferença entre a avaliação global dos pares de alternativas	184
Tabela 30 - Tabela inicial de conclusões.....	185
Tabela 31 - Conjunto de coeficientes das inequações/equações de restrição.....	189
Tabela 32 - Maximização da diferença entre a avaliação global dos pares de alternativas	190
Tabela 33 - Minimização da diferença entre a avaliação global dos pares de alternativas	190
Tabela 34 - Tabela de conclusões.....	191
Tabela 35 - PIB dos países candidatos de 2005 a 2010 (dados do WORLD BANK, 2011).....	219
Tabela 36 - Taxas alfandegárias para automóveis de 1000 cc a 1500 cc (dados do INTERNATIONAL TRADE CENTER, 2011)	219
Tabela 37 - Taxas alfandegárias para automóveis de 1500 cc a 3000 cc (dados do INTERNATIONAL TRADE CENTER, 2011)	220

Lista de Abreviaturas e Siglas

Letras Latinas

<i>a</i> - alternativa de decisão	
<i>A</i> - conjunto das potenciais alternativas de decisão	
<i>b</i> - limite de inequação/equação de restrição	
<i>c</i> - custo unitário de colocação de pedido	[\$/lote]
<i>C</i> - custo de aquisição	[\$]
<i>C_C</i> - custo total de colocação de pedido	[\$]
<i>c_P</i> - custo unitário de posse do item por período	[\$/(período · unidades)]
<i>C_P</i> - custo total de posse do item com o tempo	[\$]
<i>C_T</i> - custo total de aquisição	[\$]
<i>CAR</i> - número de veículos em um dado país	[unidades]
<i>d</i> - diferença entre a função de valor avaliada para duas alternativas	
<i>D</i> - demanda	[unidades/período]
<i>Dist</i> - distância entre uma dada localidade e o local de referência	[km]
<i>e</i> - número de estados da natureza	
<i>\bar{E}</i> - nível de estoque médio	[unidades]
<i>En</i> - pontuação obtida na avaliação da qualidade do fornecimento de energia de um dado país	
<i>f</i> - função objetivo	
<i>fr</i> - frequência teórica de lotes entregues	[período ⁻¹]
<i>F</i> - conjunto de critérios	
<i>g</i> - valor do critério	
<i>he</i> - coeficiente de equação de restrição	
<i>hi</i> - coeficiente de inequação de restrição	
<i>i</i> - número de benefícios por período de capitalização	
<i>j</i> - taxa de juros	[%]

<i>ke</i> - número de equações de restrição	
<i>ki</i> - número de inequações de restrição	
<i>l</i> - coeficiente da função objetivo	
<i>m</i> - número de variáveis de decisão	
<i>M</i> - estimativa da proporção de um grupo veículos	[%]
<i>n</i> - número de critérios	
<i>o</i> - número de subcritérios de um dado critério	
<i>p</i> - probabilidade de ocorrência	[%]
<i>PA</i> - produção automobilística em um dado país	[unidades/ano]
<i>Payback</i> - estimativa do período de recuperação do capital investido	[período]
<i>PN</i> - patrimônio natural total de um dado país	[US\$]
<i>Pr</i> - preço de produto	[\$/unidade]
<i>Pr_{En}</i> - preço médio da energia elétrica para instalações industriais	[US\$/kWh]
<i>Q</i> - tamanho de lote	[unidades/lote]
<i>q</i> - número de custos por período de capitalização	
<i>r</i> - taxa de produção	[unidades/período]
<i>rd</i> - resultado de decisão para um dado estado da natureza	
<i>s</i> - número de alternativas de decisão	
<i>S</i> - espaço admissível de soluções	
<i>t</i> - tempo	[tempo]
<i>T</i> - intervalo teórico de tempo entre entregas	[período]
<i>T_H</i> - horizonte de tempo considerado	[tempo]
<i>T_P</i> - tempo de posse de inventário	[tempo]
<i>TIF</i> - estimativa da tributação incidente no faturamento	[% do lucro]
<i>TNIF</i> - estimativa da tributação que não incide no faturamento	[% do lucro]
<i>Tr</i> - estimativa ou índice referente à tributação despendida em condições específicas	[% do lucro]

Trt - índice referente à tributação total despendida
considerando taxas alfandegárias [% do lucro]

û - função de valor marginal

U - função de valor

v - valor esperado

VA - série uniforme de pagamento [\$/período]

VF - valor futuro [\$]

VP - valor presente [\$]

w - coeficiente de ponderação

x - variável de decisão

X - solução admissível

y - número total de intervalos de tempo no horizonte
considerado

z - número de períodos a ser capitalizado

.....

Letras Gregas

α - razão entre custo unitário de posse do vendedor e do custo unitário de posse do comprador

β - ângulo da taxa de produção do lote com o tempo

γ - eficiência da informação adicional

θ - estado da natureza

Θ - conjunto dos estados da natureza

.....

Superescritos

***** - ótimo

~ - ausência de inventário

– - referente ao limite inferior

+ - referente ao limite superior

.....

Subscritos

a - do ganho de informações adicionais

- b* - referente aos benefícios
- c* - referente ao comprador
- d* - referente às despesas
- e* - considerando tarifas alfandegárias
- E* - que serão exportados
- f* - referente ao f-ésimo intervalo de tempo no horizonte considerado
- h* - referente ao h-ésimo estado da natureza
- i* - referente ao i-ésimo critério
- I* - referente ao montante investido
- j* - referente ao j-ésimo subcritério
- k* - referente à k-ésima alternativa de decisão
- kc* - referente à kc-ésima alternativa de referência para comparação
- L* - referente à produção de um lote
- n* - desconsiderando tarifas alfandegárias
- N* - que não são exportados
- o* - do ganho com a informação original
- p* - do ganho com a informação perfeita
- q* - referente à q-ésima inequação de restrição
- r* - referente à r-ésima equação de restrição
- R* - referente ao retorno de um dado investimento
- s* - referente à s-ésima variável de decisão
- v* - referente ao vendedor
- σ - referente à σ -ésima alternativa de decisão
- τ - referente à τ -ésima alternativa de decisão

.....

Abreviaturas

- C1** - Critério 1
- C2** - Critério 2
- C3** - Critério 3
- C4** - Critério 4

C5 - Critério 5

C6 - Critério 6

C7 - Critério 7

C8 - Critério 8

C9 - Critério 9

C10 - Critério 10

C11 - Critério 11

I - É indiferente a

P - É preferível a

-P - É preterível a

P0 - Localização tida como “ideal”

P1 - País 1

P2 - País 2

P3 - País 3

P4 - País 4

P5 - País 5

P6 - País 6

P7 - País 7

P8 - País 8

P9 - País 9

P10 - País 10

P.α - Problema de escolha

P.β - Problema de ordenação

P.γ - Problema de classificação

P.δ - Problema de elaboração de alternativas sem recomendação

.....

Siglas

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

AMCD - Apoio Multicritério à Decisão

ANP - *Analytic Network Process*

ATO - *Assemble to Order*

BAUE - Benefício Anual Uniforme Equivalente
BSC - *Balanced Scorecard*
CAUE - Custo Anual Uniforme Equivalente
CPM - *Critical Path Method*
CPMS - *Cambridge Performance Measurement Systems*
CSCMP - *Council of Supply Chain Management Professionals*
DRP - *Distribution Requirements Planning*
ELECTRE - *Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*
EOQ - *Economic Order Quantity*
ERP - *Enterprise Resource Planning*
ETO - *Engineer to Order*
FMI - Fundo Monetário Internacional
GRIP - *Generalized Regression with Intensities of Preference*
IBM - *International Business Machines*
IMVP - *International Motor Vehicle Program*
ISO - *International Organization for Standardization*
IPMS - *Integrated Performance Measurement Systems*
ITC - *International Trade Center*
JELP - *Joint Economic Lot Sizing Problem*
JIT - *Just-in-time*
LDR - *Linear Decision Rule*
LEP - Lote Econômico de Pedido
MACBETH - *Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique*
MAUT - *Multiattribute Utility Theory*
MCDA - *Multicriteria Decision Aiding*
MERCOSUL - Mercado Comum do Sul
MILP - *Mixed Integer Linear Programming*
MIT - *Massachusetts Institute of Technology*
MPC - *Model Predictive Control*
MRP - *Material Requirements Planning*
MRP II - *Manufacturing Resource Planning*

MTO - *Make to Order*

MTS - *Make to Stock*

OICA - *Organisation Internationale Des Constructeurs D'automobiles*

ONU - *Organização das Nações Unidas*

PERT - *Program Evaluation and Review Technique*

PROMETHEE - *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*

RFID - *Radio-Frequency Identification*

ROI - *Return on Investment*

ROA - *Return on Assets*

PIB - *Produto Interno Bruto*

PNB - *Produto Nacional Bruto*

PP - *Performance Prism*

SC - *Supply Chain*

SCM - *Supply Chain Management*

SCND - *Supply Chain Network Design*

SMART (1) - *Simple Multi-attribute Rating Technique*

SMART (2) - *Strategic Measurement and Reporting Technique*

SMED - *Single Minute Exchange of Die*

STP - *Sistema Toyota de Produção*

S&OP - *Sales and Operations Planning*

TI - *Tecnologia da Informação*

TIR - *Taxa Interna de Retorno*

TMA - *Taxa Mínima de Atratividade*

TODIM - *Tomada de Decisão Interativa e Multicritério*

TOPSIS - *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*

TPLL - *Third-party Lean Logistics*

TPM - *Total Productive Maintenance*

UTA - *Utilités Additives*

VPL - *Valor Presente Líquido*

VSM - *Value Stream Mapping*

WIP - *Work-in-process*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	RELEVÂNCIA.....	2
1.2	OBJETIVOS.....	5
1.3	METODOLOGIA DE TRABALHO.....	6
1.4	CONTEÚDO	9
2	CADEIA DE SUPRIMENTOS	13
2.1	ORGANIZAÇÃO.....	14
2.2	GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	16
2.2.1	FLUXO DE MATERIAIS.....	21
2.2.2	FLUXO DE INFORMAÇÃO.....	26
2.2.3	FLUXO FINANCEIRO.....	29
2.3	RELACIONAMENTO E COORDENAÇÃO.....	31
2.4	RELAÇÃO DEMANDA/PRODUÇÃO.....	33
2.4.1	<i>ENGINEER TO ORDER</i>	34
2.4.2	<i>MAKE TO ORDER</i>	34
2.4.3	<i>MAKE TO STOCK</i>	35
2.4.4	<i>ASSEMBLE TO ORDER</i>	36
2.4.5	<i>DECOUPLING POINT</i>	37
2.5	LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES	38
2.6	LOGÍSTICA ENXUTA.....	45
2.6.1	MENTALIDADE ENXUTA.....	46
2.6.2	ASPECTOS GERAIS.....	53
3	TOMADA DE DECISÃO	56

3.1	PROCESSO DECISÓRIO.....	61
3.2	ALTERNATIVAS PARA O APOIO À DECISÃO.....	67
3.2.1	INCERTEZA E RISCO.....	67
3.2.2	APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO.....	77
3.2.3	ENGENHARIA ECONÔMICA.....	85
3.2.4	GESTÃO DO DESEMPENHO.....	90
3.2.5	<i>BENCHMARKING</i>	98
3.3	DECISÕES NA CADEIA DE SUPRIMENTOS	99
3.3.1	NÍVEL ESTRATÉGICO	101
3.3.2	NÍVEL TÁTICO	105
3.3.3	NÍVEL OPERACIONAL.....	108
3.3.4	NÍVEL OPERACIONAL DETALHADO	110
4	MÉTODOS.....	112
4.1	SELEÇÃO DOS MÉTODOS.....	112
4.1.1	PRIMEIRA SITUAÇÃO DE DECISÃO	113
4.1.2	SEGUNDA SITUAÇÃO DE DECISÃO	114
4.2	<i>LOT-FOR-LOT</i> (BANERJEE, 1986)	115
4.3	ANÁLISE MULTICRITÉRIO.....	126
5	APLICAÇÃO DOS MÉTODOS	135
5.1	DESCRIÇÃO DA EMPRESA	136
5.2	TAMANHO DE LOTE DE PEDIDO	136
5.2.1	DEMANDA E FORNECIMENTO	138
5.2.2	CUSTOS E RESULTADOS	139
5.2.3	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	143
5.3	LOCALIZAÇÃO DE NOVA FÁBRICA	146
5.3.1	SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS	149
5.3.2	DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS.....	150
5.3.3	AValiação DE ATRIBUTOS.....	156

5.3.4	RESTRICÇÕES GERAIS.....	177
5.3.5	PROCEDIMENTO DE OTIMIZAÇÃO I.....	179
5.3.6	RELAÇÕES GLOBAIS DE PREFERÊNCIA I.....	185
5.3.7	INFORMAÇÕES ADICIONAIS DE PREFERÊNCIA.....	186
5.3.8	PROCEDIMENTO DE OTIMIZAÇÃO II	189
5.3.9	RELAÇÕES GLOBAIS DE PREFERÊNCIA II	190
5.4	COMENTÁRIOS GERAIS.....	194
6	CONCLUSÃO.....	201
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	207
	APÊNDICE A - DADOS COMPLEMENTARES DA APLICAÇÃO.....	219

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a pressão competitiva por menores preços e maior percepção de valor de produtos e serviços tem motivado as empresas a buscar cada vez mais formas inovadoras e eficientes para a tomada de decisão na condução de seus negócios. Por um lado, um controle mais criterioso e dinâmico tem sido explorado nesse sentido através da gestão de desempenho, onde são elementos críticos o uso de indicadores de desempenho, capacidade de análise e os emergentes sistemas de informação.

Por outro lado, tem aumentado a tomada de decisões em busca de melhorias dos processos interorganizacionais (FLYNN, HUO, ZHAO, 2010, p. 58) através de análises mais amplas do que apenas em uma empresa e seus diversos setores internos, ou departamentos. Em uma abordagem como essa analisam-se as instituições envolvidas na produção de um produto e prestação de serviços, e suas interfaces, para alcançar decisões capazes de trazer maior desempenho global as chamadas cadeias de suprimentos (MANUJ, SAHIN, 2011). Um reflexo dessa tendência em se considerar a cadeia de suprimentos na administração e tomada de decisões tem resultado em trabalhos acadêmicos sobre a avaliação do desempenho na cadeia de suprimentos (CHEN, PAULRAJ, 2004, p. 147), com destaque para o uso dos sistemas de informação entre as empresas integrantes das cadeias de suprimentos, conforme levantamento de Nudurupati et al. (2011, p. 281). Alessina et al. (2010, p. 2) afirma que a sobrevivência de uma empresa não deve depender apenas dela própria, mas de uma criação de valor para uma rede conjunta de empresas.

Com vista a este panorama de inovação nas estruturas de gestão de negócios, reconhece-se a importância de uma abordagem sistemática da tomada de decisão em cadeias de suprimento, o que demanda um enfoque no estudo, seja da gestão da cadeia de suprimentos, seja do apoio à tomada de decisão.

Entretanto a tendência contemporânea de configuração das cadeias de suprimentos, em que cada empresa desempenha apenas as atividades na qual detém maior *know-how*, se contrapõe à antiga ordem dos tempos da produção em massa, na qual se buscava internalizar o máximo

possível de atividades de uma dada cadeia em apenas uma única empresa (HUGOS, 2006, p. 2006).

Essas diferentes fases foram muito marcantes, em especial no segmento automotivo. Os exemplos de Ford, na era da produção em massa, e da Toyota, nas últimas décadas, mostram muito bem isso. Ademais segundo Ambe e Badenhorst-Weiss (2010, p. 2110), a gestão da cadeia de suprimentos tem grande importância na melhoria de desempenho na indústria automobilística.

De qualquer forma, vasta é a gama de decisões existentes ao que concerne à gestão da cadeia de suprimentos. O que compreende decisões de projeto, controle e planejamento, execução de operações. Manuj e Sahin (2009, p. 512) descrevem o atual cenário como dinâmico e frequentemente incerto, em que as cadeias de suprimentos mudam rapidamente e expandem continuamente. Elas afirmam que estratégias mal planejadas e executadas, além do entendimento inadequado dos fatores de complexidade, podem trazer inconvenientes no processo de tomada de decisão na cadeia de suprimentos como maior dificuldade e resultados indesejados.

1.1 RELEVÂNCIA

O desenvolvimento de métodos e facilidades que apoiem a administração dos mais variados negócios, e por consequência à tomada de decisão, tem se consolidado como um importante recurso organizacional, sobretudo em razão da evolução tecnológica pela qual a informática e a comunicação têm passado. Essa realidade também está se estendendo ao contexto das cadeias de suprimento (BEHESHTI, 2010, p. 453). Com isso, melhores desempenhos são almejados em diversos sentidos (financeiros, qualidade, flexibilidade, social, ambiental, etc.) sob influência das exigências do mercado consumidor, das empresas competidoras, das empresas parceiras (que podem ser ou não da própria cadeia de suprimentos), da sociedade, do poder público e especialmente da própria empresa através de sua política estratégica, de seus funcionários e acionistas.

Apesar desse quadro de exigências, a maior parte dos métodos de gerenciamento de negócios conduz a decisões que buscam melhores desempenhos localizados, ou seja, não beneficia o negócio como um todo, mas sim parte(s) dele (ALLESINA et al., 2010, p. 2). Liao, Lin e Shih (2010, p. 6868) afirmam que, tradicionalmente, há uma busca por uma maior eficiência individual por parte das empresas que são membros de cadeias de suprimentos.

Há diversas consequências dessa realidade. Do ponto de vista do desempenho global, as instituições deixam de ter melhores desempenhos, pois ou acabam promovendo decisões que beneficiam um setor / departamento, mas que não garantem aumento do desempenho global da empresa, ou porque a cadeia de suprimentos na qual estão inseridas não se relaciona de forma a promover um desempenho global maior para que todas as instituições compartilhem os benefícios disso de uma forma coerente. No entanto, com a realização desse estudo espera-se dirigir no sentido de um melhor desempenho para as empresas que integrem uma cadeia de suprimentos quando se busca um melhor desempenho global.

Além disso, esse processo geralmente se dá baseado em um ou em poucos critérios, geralmente financeiros (NUDURUPATI et al., 2011, p 282). De acordo com Meixell e Gargeyaritique (2005), a avaliação do desempenho de uma cadeia de suprimentos tem adquirido forma mais ampla, embora os pesquisadores não tenham dado a devida atenção a objetivos alternativos. As instituições envolvidas acabam tomando decisões que desconsideram aspectos relevantes à questão. Assim alguns pontos relevantes acabam não tendo influência na operação e planejamento da empresa/cadeia de suprimentos. O que pode acarretar a não realização de melhorias e que não haja o aproveitamento adequado de oportunidades nem redução de alguns riscos.

Uma empresa, por exemplo, que foca suas decisões excessivamente em seus resultados financeiros e abandona o critério da qualidade, pode até obter bons resultados financeiros no curto prazo, porém com o tempo tem sério risco de perder mercado para concorrentes que garantam um desempenho mínimo sob a perspectiva da qualidade e ao mesmo tempo tem melhorado o desempenho financeiro, incluindo preços mais competitivos. Isso sem citar o risco

de sofrer processos judiciais e receber autuações por parte de órgãos fiscalizadores por conta de sua má qualidade.

Dessa forma, este trabalho identifica a possibilidade de melhorias e proposições baseado nos tópicos recém-discutidos. Assim ele concentra seus esforços nessa relação, por ora distante, entre o desempenho multicritério e global em confronto com a decisão tradicional, localizada e baseada em um único critério, dentro de uma perspectiva da cadeia de suprimentos.

De acordo com essas características de decisões, são apontadas duas situações em que esse tipo de exigência pode ser representado. Para que as características dessas duas situações de decisão selecionadas sejam diversas, cada uma deve envolver um diferente impacto em termos do horizonte temporal e uma diferente área/natureza em termos da cadeia de suprimentos. Com isso, dentre a gama de decisões existentes na cadeia de suprimentos optou-se por situações em que houvesse dados suficientes para a realização de estudo aplicado nessa dissertação, sendo uma situação de decisão operacional e outra de decisão estratégica para que reflitam diferentes impactos organizacionais em termos do horizonte temporal, enquanto em termos da área/natureza da cadeia de suprimentos tenha-se optado por uma decisão de aprovisionamento e outra de produção. As duas situações de decisão são: dimensionamento de lote de compra e seleção de localização de uma instalação industrial. A segunda referente a uma decisão estratégica de produção, que interfere diretamente nas características da cadeia de suprimentos, enquanto a primeira é uma decisão operacional de aprovisionamento, muito particular dos itens adquiridos e seus fornecedores, embora também interfira em diversos aspectos como custos e nível de serviço. Colocando-se um exemplo para deixar mais clara a seleção dessas situações: caso fosse selecionada uma situação de seleção de fornecedores, que é tipicamente uma decisão que envolve múltiplos critérios, e outra de dimensionamento de lote de compra, isso contrariaria o requisito de que as situações tenham um diferente impacto em termos da área/natureza da cadeia de suprimentos, pois ambas são decisões de aprovisionamento.

Segundo Ben-Daya, As'ad e Seliaman (2008, p. 727) é mais efetivo em termos de custo buscar uma solução que integre os custos de fornecedor e comprador para problemas de determinação de tamanho de lote e programação de entrega. Isso é tido por esses autores como

“tijolo” para a construção de uma cadeia de suprimentos mais ampla. Para Ballou (2006, p. 382) esse tipo de prática é o exemplo de situação em que ambos os lados ganham através do trabalho cooperativo. Ele afirma que a colaboração entre as empresas de uma cadeia de suprimentos é uma oportunidade, pois eles trabalham com propósitos cruzados geralmente (Ibidem, p. 384). Para ser competitivo globalmente, as empresas envolvidas na movimentação de materiais e produtos em uma cadeia de suprimentos devem coordenar e planejar cuidadosamente suas atividades, em detrimento de buscarem sua eficiência como entidades independentes (BEHESHTI, 2010, p. 453).

Por sua vez, localização é vista por Hugos (2006, p. 10) como um dos cinco fatores em que a tomada de decisão envolve a efetividade da gestão da cadeia de suprimentos. Para ele os problemas de localização fazem um balanço entre economia de escala, eficiência e responsividade (Ibidem, p. 13). Slack, Chambers, Johnston (2009, p. 153) afirmam que esse tipo de problema influencia os lucros e serviços significativamente.

Além disso, são decisões que necessitam de elevados investimentos (KUMAR, SURESH, 2009, p. 61), podem deixar de ser adequadas com o tempo (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009, p. 403) e são de difícil reversão (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 153). Assim não se deve alterar a localização com muita frequência.

A definição de uma localização deve envolver muitos fatores como custo da mão-de-obra, condições de infraestrutura, proximidade de fornecedores e consumidores, impostos (HUGOS, 2006, p. 14; KUMAR, SURESH, 2009). Portanto trata-se, essencialmente, de um problema que envolve múltiplos critérios.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto foi selecionar, adaptar e aplicar, no segmento automobilístico, um modelo de integração comprador-vendedor para o dimensionamento de um

lote de aquisição e um método de apoio multicritério à tomada de decisão para um problema de seleção de um país visando a localização de uma instalação industrial. Dessa forma, derivados deste objetivo principal são enumerados, a seguir, objetivos secundários:

- I. Selecionar uma empresa do segmento automobilístico para realização das aplicações dos métodos;
- II. Realizar a aplicação dos métodos selecionados;
- III. Discutir os resultados obtidos nas aplicações, apresentando suas conclusões, limitações e propostas para trabalhos futuros.

1.3 METODOLOGIA DE TRABALHO

Da perspectiva de seu objetivo, a presente dissertação pode ser caracterizada como uma pesquisa exploratória (SILVA, MENEZES, 2001), pois a partir de levantamento bibliográfico e análise de experiência prática familiariza-se com o apoio à tomada de decisão ao que concerne à gestão da cadeia de suprimentos em dois problemas distintos: dimensionamento de lote e seleção de localização. Neste sentido, agrega-se maior compreensão acerca dos assuntos tratados e estuda-se a modelagem dos problemas, evidenciando características importantes e hipóteses consideradas em aplicações para este tipo de problema.

Já com relação a sua natureza, a pesquisa é classificada como aplicada, descrita por Silva e Menezes (2001, p. 20) como: “*objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.*”

Inicialmente esta dissertação faz uma contextualização dos assuntos fundamentais ao estudo da tomada de decisão e dos problemas objeto de aplicação dentro da perspectiva da *supply*

chain, ou cadeia de suprimentos. Nesta etapa são introduzidos conceitos, princípios e é feita uma breve recapitulação histórica, no que diz respeito à teoria e aplicação.

Em seguida, os assuntos estudados são descritos e representados de forma que sua fundamentação teórica seja exposta clara e coerentemente. Para esse fim, foi feita uma pesquisa bibliográfica e desenvolvida uma argumentação lógica. Portanto a presente pesquisa pode ser classificada do ponto de vista de seus procedimentos técnicos em parte como pesquisa bibliográfica.

O foco temático da pesquisa bibliográfica se concentra principalmente no estudo de *supply chain* e tomada de decisão.

Com isso, é feita a seleção de métodos nos quais se identificam alto potencial para a modelagem e resolução de problemas característicos do tema de estudo. Houve preferência por tais métodos por se mostrarem, de certa forma, inovadores, efetivos e adaptáveis aos problemas tratados nesse trabalho. Baseado em Silva e Menezes (2001) verifica-se que através das aplicações dos métodos utilizados nesta dissertação, a forma de abordagem dos problemas caracteriza uma pesquisa quantitativa.

Na aplicação dos dois problemas realiza-se pesquisa baseada em modelo quantitativo. Segundo Bertand e Fransoo (2002) esse tipo de pesquisa se caracteriza pela geração racional de conhecimento e permite tanto a construção de modelos, os quais explicam o comportamento da vida-real, como para processos operacionais da vida-real, sendo capaz de capturar problemas de tomada de decisão.

Sob a perspectiva da modelagem baseada na administração da produção, essa pesquisa se enquadra na classe idealizada ou axiomática, pois seu objetivo principal é descrito por Bertand e Fransoo (2002, p. 249), como: “*obter soluções dentro do modelo definido e garantir que estas amparem o entendimento dentro da estrutura do problema como definido no modelo*”.

Assim os métodos selecionados são aplicados em estudo para que se verifique seu uso quanto a diversos aspectos, como: características inerentes a decisão, características necessárias e recomendáveis para sua aplicação e a forma dos resultados.

Inicialmente, classifica-se esse estudo aplicado como estudo de caso. Por se tratar de um instrumento de ensino/aprendizagem que permite o estudo prático de um caso inédito, o estudo de caso constitui uma forma adequada para utilização de um método investigativo estruturado e ao mesmo tempo flexível para que possa ser ajustado às condições próprias de uma situação real. Segundo Silva e Menezes (2001, p. 21), do ponto de vista dos procedimentos técnicos, estudo de caso é definido como: *“quando envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento”*.

Robert K. Yin (2010) descreve o estudo de caso como uma estratégia de pesquisa que busca compreender fenômenos em suas diversas dimensões, de forma a preservar suas características holísticas e condições do contexto da vida real.

Por outro lado, ao desenvolver cenários hipotéticos a partir do contexto, e não das aplicações efetivamente realizadas, de um estudo de caso real, o qual não é divulgado por questões de sigilo, para a aplicação dos métodos selecionados, essa pesquisa pode ser classificada em parte, do ponto de vista técnico, como uma simulação. Tal prática tem sido adotada para problemas de controle de estoque como aponta e realiza Rosa, Mayerleb e Gonçalves (2010). Segundo Bertand e Fransoo (2002), no caso de simulação, a relevância científica do problema ou processo estudado pode ser muito maior. Na revisão para problemas de localização de instalações, desenvolvida por Melo, Nickel, Saldanha da Gama (2009, p. 409), as aplicações são classificadas de duas formas quanto ao seu contexto. Cenários da vida-real são classificados como estudo de caso, mesmo que não tenham sido implementados na prática, enquanto estudos que usam dados gerados aleatoriamente para uma indústria específica são classificados como contexto industrial. Assim as aplicações desenvolvidas na presente dissertação, seguindo a mesma nomenclatura, são classificadas como contexto industrial, pois apesar de se basearem em um estudo de caso real, utilizam certos dados e informações hipotéticas, que são gerados buscando-se aproximar ao contexto do estudo de caso.

Em se tratando das intenções de contribuição da presente pesquisa com relação à literatura existente, trata-se de um dos tipos apontados por Bertand e Fransoo (2002, p. 254): “*estudar um processo ou problema que já foi estudado antes, mas fornecer uma nova ou, de alguma forma, melhor solução, ou pela aplicação de novos tipos de técnicas de solução ao problema ou por alcançar melhores resultados com técnicas de solução aceitas*”.

Em resumo, a pesquisa desenvolvida nesta dissertação é classificada como **aplicada** em função de sua natureza, **quantitativa** pela abordagem de problema, **exploratória** por seu objetivo e **contexto industrial** por seu procedimento técnico.

1.4 CONTEÚDO

Coloca-se, através da figura 1, um diagrama onde os principais elementos desta dissertação, bem como suas relações são apresentados de forma resumida.

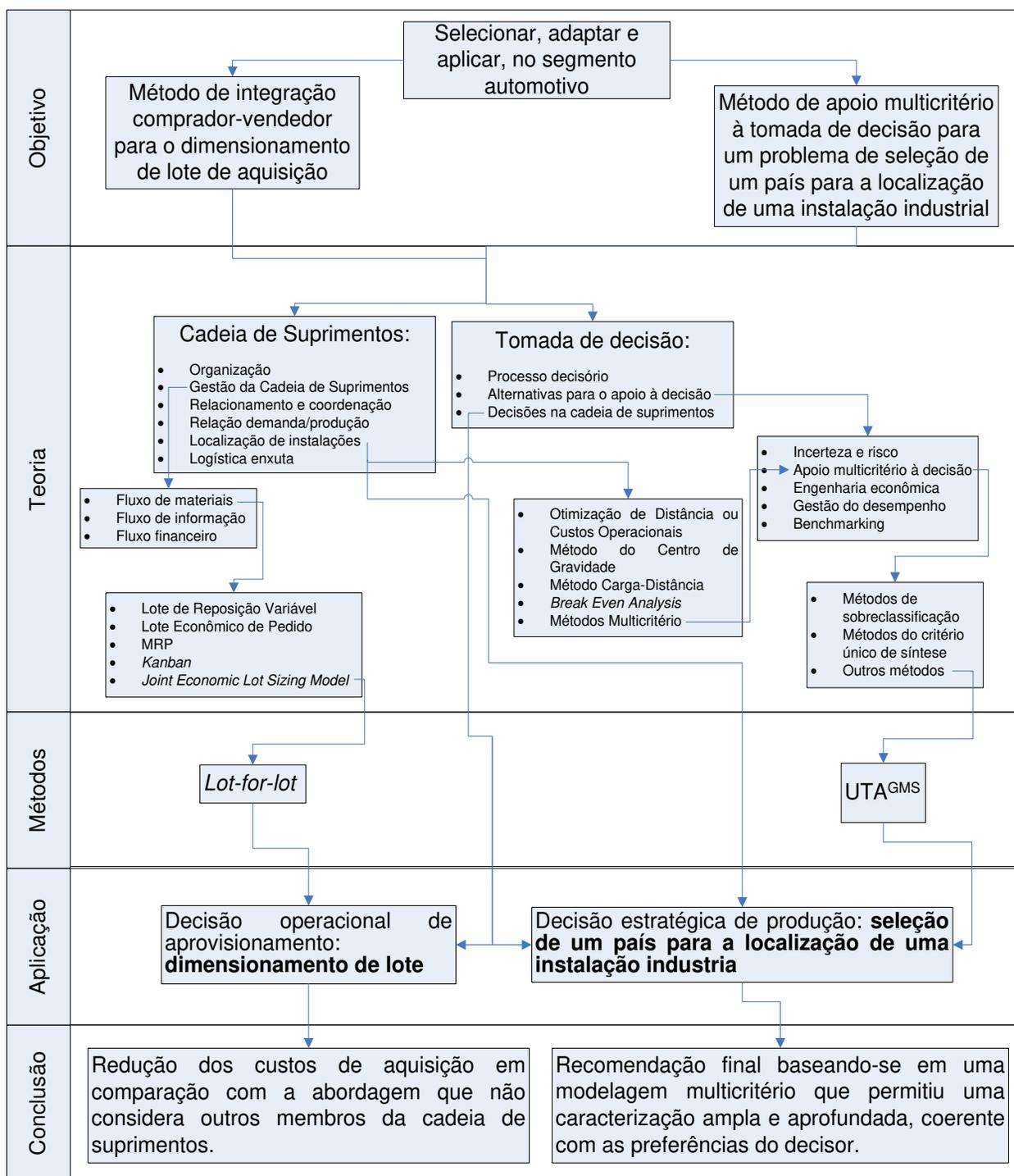


Figura 1 - Diagrama esquemático do conteúdo da dissertação

A presente dissertação constitui-se de seis capítulos, os quais são descritos sucintamente a seguir.

O capítulo 1 apresenta uma contextualização contemporânea da necessidade de tomada de decisão sob uma perspectiva da cadeia de suprimentos, com destaque para decisões de localização de instalações e dimensionamento de lotes. São tratados também os objetivos da dissertação, a relevância do seu tema e a metodologia de trabalho.

Nos capítulos 2 e 3, é feita uma revisão bibliográfica de elementos importantes para que se construa uma base teórica sólida, que permita atingir os objetivos propostos.

O capítulo 2 é referente à cadeia de suprimentos. Nele há uma descrição geral do funcionamento da cadeia de suprimentos, dos tipos de empresas que a constitui, do fluxo de material, fluxo de informação e do fluxo financeiro. Além disso, se introduz o gerenciamento da cadeia de suprimentos e se discute estratégias de relação entre as empresas de uma mesma cadeia. Outro tópico abordado refere-se a conceitos relacionados à localização de instalações na cadeia de suprimentos com destaque para instalações industriais, os principais fatores a serem considerados e a descrição de alguns métodos. Também há uma abordagem sobre logística enxuta a partir de uma revisão sobre a filosofia da manufatura enxuta, criada essencialmente na companhia automobilística Toyota, que discute seus objetivos, os desperdícios que ela busca minimizar, tratando diversos conceitos que são importantes para compreender os princípios que a tomada de decisão deve seguir para que um negócio seja o mais efetivo possível dentro do planejamento que propõe.

No capítulo 3, aborda-se aspectos gerais da tomada de decisão como objetivos, o contexto em que a problemática pode estar inserida, algumas dificuldades. Em seguida são descritos o processo de decisão e o apoio à tomada de decisão. Então são tratadas alternativas de apoio à tomada de decisão, que foram estudadas, envolvendo apoio multicritério à decisão, gestão do desempenho, engenharia econômica, *benchmarking*, além de serem indicados métodos quantitativos considerando os graus de risco e incerteza dos cenários em que são aplicados. Depois é tratada a tomada de decisões com um enfoque da cadeia logística inteira. Nele são caracterizadas e enumeradas decisões de diferentes horizontes temporais (estratégico, tático, operacional e operacional detalhado) e envolvendo diferentes setores do negócio (aprovisionamento, produção, distribuição, demanda).

No capítulo 4, são apresentados os principais métodos utilizados na aplicação em contexto industrial (capítulo 5): um modelo para o Problema Conjunto do Tamanho Econômico de Lote, que considera os custos de vendedor e comprador, e uma análise multicritério baseada em restrições geradas por informações preferenciais, que faz uso de um procedimento de programação linear.

Já o capítulo 5 é referente à aplicação dos métodos descritos no capítulo 4 através de um estudo aplicado no contexto industrial de uma empresa montadora de veículos automotivos, que se caracteriza pela necessidade da tomada de decisões de duas diferentes naturezas: um caso de determinação de tamanho de lote de provisionamento e outro de seleção de um país para localização de uma planta industrial.

O capítulo 6 traz conclusões e avalia limitações da dissertação, além de apontar possíveis temas de pesquisa relacionados.

2 CADEIA DE SUPRIMENTOS

A tentativa, por parte das empresas, de fornecer melhores níveis de custo e serviços aos seus clientes pressionou-as a operarem como integrantes de uma cadeia da qual fazem parte desde as empresas fornecedoras até os clientes (BEN-DAYA, AS'AD, SELIAMAN, 2010, p. 1). Ainda como reforça Allesina et al. (2010, p. 2), “*a sobrevivência das empresas depende de sua capacidade de organizar uma rede de suprimentos eficiente que traga valor para todos os participantes*” e com isso elas não podem ficar isoladas. O estudo desse processo levou a elaboração do conceito de Cadeia Logística, também conhecida como Cadeia de Suprimentos, em inglês *Supply Chain (SC)*.

Na última década, sua implantação em empresas e seu aperfeiçoamento têm se disseminado. Dentre as principais razões pode-se citar as exigências do mercado, a evolução da tecnologia da informação (BALLOU, 2006, p. 308) e a mudança de mentalidade nas relações entre empresas (BEN-DAYA, AS'AD, SELIAMAN, 2010, p. 1) sejam elas fornecedoras, produtoras, distribuidoras e clientes.

O *Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP, 2010, p. 179)* ou, em português, Conselho dos Profissionais de Gestão da Cadeia de Suprimentos caracteriza a SC de duas formas:

- 1) começando com as matérias-primas brutas e terminando com o cliente final usando os produtos acabados, a cadeia de suprimentos faz a ligação entre muitas empresas;
- 2) o material e a informação trocada no processo logístico que se estende desde a aquisição de matérias-primas até a entrega dos produtos acabados para o usuário final. Todos os agentes fornecedores, os prestadores de serviços e os clientes são elos da cadeia de suprimentos.

Para Chen, Paulraj, (2004, p. 132): “*Analiticamente, uma cadeia de suprimentos típica é simplesmente uma rede de materiais, informações e serviços processando ligações com as características de suprimento, transformação e demanda.*”.

Ainda segundo Hugos (2006, p. 2): “*Cadeias de suprimentos abrangem as empresas e as atividades de negócios necessárias para projetar, fazer, distribuir e utilizar um produto ou serviço*”.

Esta dissertação adota a definição do CSCMP tanto para cadeia de suprimentos quanto para gestão da cadeia de suprimentos, que é apresentada mais à frente. Dessa forma, este capítulo trata de diversos aspectos relacionados a cadeia de suprimentos, desde uma descrição histórica, apresentada na próxima seção, até a relação existente entre logística e a mentalidade enxuta.

2.1 ORGANIZAÇÃO

Da perspectiva da produção de um bem, a organização de uma cadeia de suprimentos pode iniciar com as empresas produtoras ou extratoras de matéria-prima em estado bruto, a qual é adquirida e usada por outras empresas. Estas podem ser consideradas clientes ao serem compradoras de matéria-prima e também fornecedoras, pois produzem e comercializam componentes, produtos semi-acabados ou materiais processados. Em seguida identificam-se as empresas processadoras ou montadoras que, a partir dos recursos vindos de fornecedores e produtores/extratores, gera o produto ou serviço final que pode ir ou para os distribuidores, que os repassam para os revendedores, ou vai diretamente aos revendedores. Estes, por fim, fazem a venda aos clientes (HUGOS, 2006, p. 23). Ressalta-se que entre estas diversas etapas existem atividades de transporte, armazenamento e embalagem que podem ser feitas pelas próprias referidas empresas ou por empresas terceiras. Uma organização genérica da cadeia de suprimentos é apresentada pela figura 2.

Por exemplo, uma descrição simplificada da organização da cadeia de suprimentos do setor moveleiro de madeira apresenta extratores de madeira que, por sua vez, é comprada por beneficiadores de madeira os quais fornecem seu produto a uma montadora de móveis. Após a montagem e acabamento, os móveis vão para uma distribuidora de móveis que as repassa para as lojas que os vendem aos clientes.

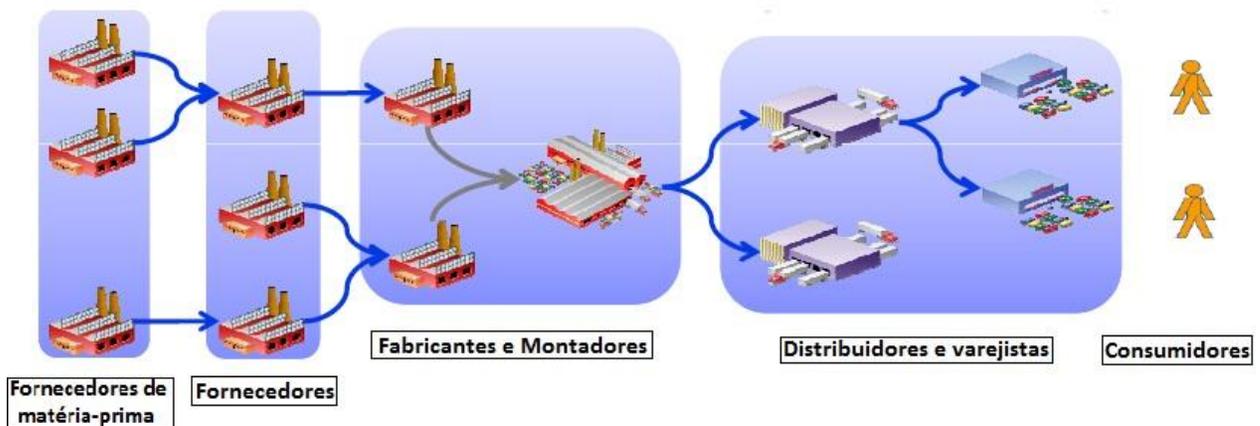


Figura 2 - Organização da cadeia de suprimentos (adaptado de DALLERY, 2009)

Outra atividade importante da cadeia de suprimentos é a pesquisa e desenvolvimento. Sendo que, idealmente, ela deve envolver o trabalho conjunto entre as empresas, onde uma maior integração das equipes de projeto das empresas parceiras na cadeia de suprimentos é uma prática que pode trazer bons resultados. Assim haveria uma cooperação resultando na formação de equipes com representantes das empresas de interesse, o que reduziria ou até eliminaria a necessidade de ajustes pós-desenvolvimento, possibilitaria maior troca de informações, permitiria treinamento entre funcionários de ambas as empresas e reduziria o custo do produto final.

Algumas empresas preferem se envolver em atividades nas diversas etapas de sua cadeia de suprimentos, uma prática conhecida como verticalização de negócios, como buscou ao extremo Henry Ford na primeira metade do século passado ao mobilizar as atividades de sua empresa desde a produção de borracha até a montagem e venda de seus veículos (WOMACK, JONES, ROOS, 2004, p. 26; HUGOS, 2006, p. 22).

Por outro lado, o chamado à racionalização das atividades em direção ao *core-business* é uma postura antagônica a essa, em que as empresas têm se concentrado nas atividades que têm maior vocação e maiores perspectivas estratégicas. Ultimamente as configurações das cadeias logísticas têm sido alteradas para que empresas detentoras da marca/tecnologia do produto final e serviços que exijam grande *know-how* concentrem-se em pesquisa, desenvolvimento, marketing e administração de toda cadeia logística. Esta tendência de descentralização é constatada por Silva et al. (2010, p. 2). Para isso, muitas delas têm transmitido a terceiros atividades nas quais já se notabilizaram no passado (seja por prestação de serviços ou venda de seus direitos/negócios), como fez a IBM, que estabeleceu acordo com a Lenovo, que se tornou a provedora preferencial de computadores pessoais para seus clientes (IBM, 2011).

2.2 GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Para gerir toda a cadeia de suprimentos com o objetivo central de satisfazer o consumidor final (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 390) foi criada a chamada Gestão da Cadeia de Suprimentos, em inglês Supply Chain Management (SCM). Assim segundo estes autores isso será realizado ao se prestar serviços e fornecer bens adequados dentro das expectativas dos clientes a preços competitivos.

De acordo com o CSCMP (2010, p. 180):

A gestão da cadeia de suprimentos engloba o planejamento e a gestão de todas as atividades envolvidas no fornecimento e aquisição, conversão e todas as atividades de administração logística. Importante notar que também inclui a coordenação e colaboração com parceiros de canal, que podem ser fornecedores, intermediários, terceiros prestadores de serviços e clientes. Em essência, o gerenciamento da cadeia de suprimentos integra fornecimento e gestão da demanda intra e interempresas. A gestão da cadeia de suprimentos é uma função de integração com a responsabilidade primária pela ligação dos objetivos de negócio e dos processos de negócios intra e interempresas em um modelo de negócio coerente e de alto desempenho. Isso inclui todas as atividades de gestão logística já referidas, bem como as operações de fabricação, e a direção da

coordenação dos processos e atividades dentro e através das áreas de marketing, vendas, desenvolvimento de produto, finanças e tecnologia da informação.

Já a definição de Hugos (2006, p. 4) estabelece o seguinte: “*Gestão da cadeia de suprimentos é a coordenação da produção, inventário, localização e transporte entre os participantes em uma cadeia de suprimentos para alcançar a melhor combinação de responsividade e eficiência para os mercados atendidos*”.

Segundo Slack, Chambers, Johnston (2009, p. 389): “*A gestão da cadeia de suprimentos é a gestão da interconexão das empresas que se relacionam entre si por meio de ligações a montante e jusante entre os diferentes processos, que produzem valor na forma de produtos e serviços para o consumidor final*”.

Não é certa a origem da noção da gestão da cadeia de suprimentos (CHEN, PAULRAJ, 2004, p. 131) apesar desse conceito ser relativamente novo, entretanto nos próximos parágrafos é feita uma breve recapitulação histórica acerca dos conceitos associados à gestão da cadeia de suprimentos baseado em publicação de Ronald Ballou (2006). Verifica-se que antes de 1950, o uso do termo “logística” era praticamente exclusividade do setor militar, enquanto tipicamente as empresas tinha uma visão fragmentada de atividades associadas à logística. A cultura da departamentalização era um empecilho à integração de decisões nas diversas áreas de uma empresa. Com isso, não havia um entendimento adequado da compensação entre os custos das atividades logísticas. Posteriormente começa a despontar como um novo domínio de estudo e prática a distribuição física, que era interpretada como “*a coordenação de mais de uma atividade associada com o fornecimento físico de produto ao mercado*” (Ibidem, p. 377). Então a partir dos anos 60, a distribuição física e logística foram ganhando interesse com foco especial para redução de custos, culminando nas primeiras ideias de tratar o canal envolvido desde o fornecimento de matéria-prima até o cliente final de forma coordenada, porém considerando apenas as atividades dentro do departamento logístico e não entre outros departamentos ou empresas do mesmo canal. Entretanto essa visão acabou não muito desenvolvida na época em função das grandes limitações dos sistemas de informação.

Depois emergiu o conceito contemporâneo de gestão da cadeia de suprimentos, para alguns baseado em ideias propostas originalmente por pioneiros pesquisadores da distribuição física e logística. De qualquer forma, tal conceito põe as atividades de compra e conversão (produção) no âmbito da gestão do fluxo de material, abrange a coordenação interfuncional ao envolver áreas como marketing e finanças, e a coordenação interorganizacional ao reconhecer a importância das atividades/relações entre os membros da cadeia. A seguir é apresentado um esquema da evolução do conceito de gestão da cadeia de suprimentos através da figura 3.

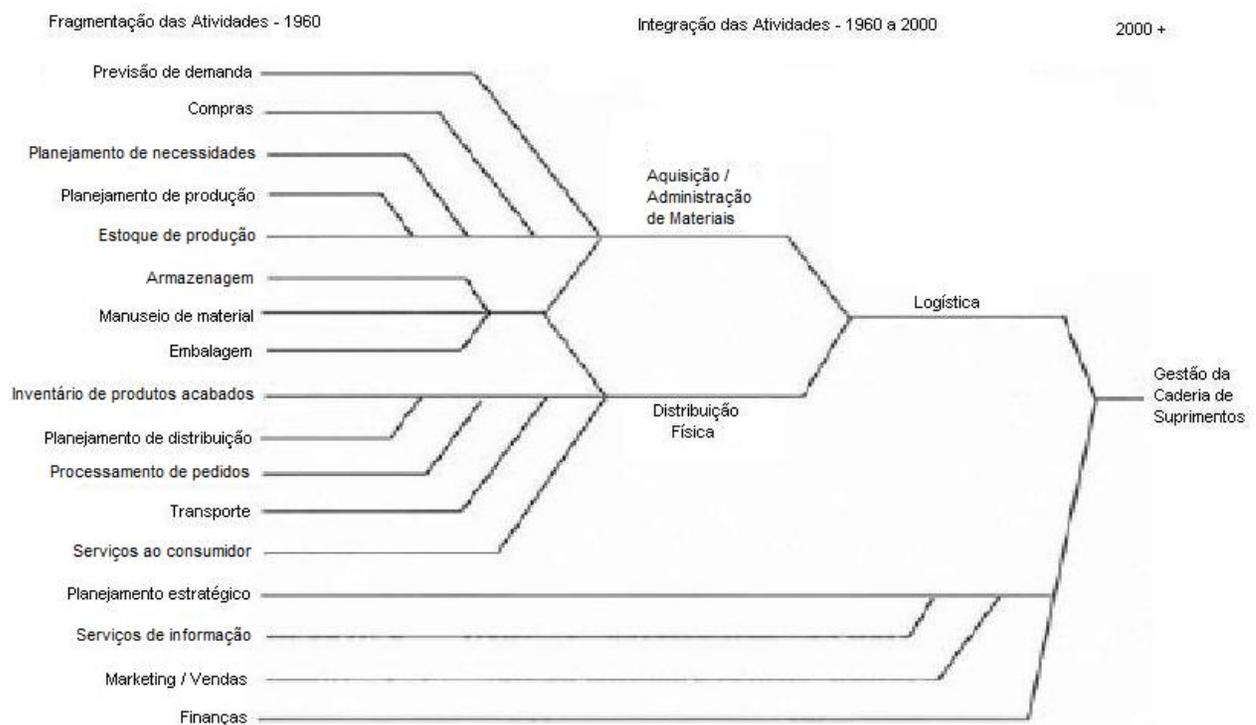


Figura 3 - Evolução da gestão da cadeia de suprimentos (BALLOU, 2006)

Para que melhor se compreenda alguns conceitos relacionados a gestão da cadeia de suprimentos, são colocadas algumas definições segundo o CSCMP (2010, p. 114, 141, 120):

Logística: o processo de planejamento, implementação e controle de procedimentos para eficiência e eficácia do transporte e armazenamento de mercadorias, incluindo serviços e informações relacionadas do ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito

de conformidade com os requisitos do cliente. Esta definição inclui movimentos de entrada, saída, internos e externos.

Distribuição física: o movimento e funções de armazenamento associadas com produtos acabados desde as instalações de produção até os armazéns e os clientes; também usado em sinônimo com logística de negócios.

Gestão de materiais: Logística do que entra desde os fornecedores através do processo de produção. O movimento e gestão de materiais e produtos desde a aquisição até a produção.

Como pode ser visualizado na figura 3, a logística é um conceito que faz parte da gestão da cadeia de suprimentos. Enquanto a gestão da cadeia de suprimentos aborda a administração das relações interfuncionais e interorganizacionais, a logística se concentra na sua função departamental dentro de uma empresa (BALLOU, 2006, p. 382). Atividades como provisionamento, distribuição, gestão de inventário são abrangidas pela logística; já a gestão da cadeia de suprimentos inclui atividades como marketing, finanças e serviço ao cliente além da logística tradicional (HUGOS, 2006, p. 4).

Embora o atual conceito de cadeia de suprimentos já incorpore a ideia de colaboração e integração entre todos os seus membros, constata-se que a maior parte das companhias ainda luta para romper a barreira de integração dentro de seus próprios domínios (FAWCETT, MAGNAN, 2002 apud BALLOU, 2006, p. 381).

Ballou (2006) ainda expressa algumas de suas expectativas com relação ao enfoque e a evolução de SCM no futuro. Com as empresas cada vez mais adotando o *outsourcing*, expandindo suas operações internacionais e buscando negócios em um ambiente econômico global favorecerão o interesse em logística e SCM. Outra consequência esperada é que muitas empresas reunirão organizacionalmente os setores de operações, compras e logística, provavelmente sob a responsabilidade da área de *supply chain*.

No entanto será necessário desenvolver métricas para identificar e rastrear oportunidades de benefícios nas diversas interfaces da cadeia logística, assim como melhorar os métodos para

alocação dos ganhos e eventuais perdas entre as empresas membros de uma cadeia de suprimentos (Ibidem).

Além disso, o SCM ainda pode contribuir com a geração de demanda, logo com o faturamento, por consequência atuará não apenas na redução de custos. Assim esses efeitos seriam captados por métricas de rentabilidade o que conduzirá a maximizar o desempenho através de indicadores como o *Return On Supply Chain Assets* (ROSCA) (Ibidem), derivado do *Return On Assets* (ROA), que pode ser traduzido para o português como Retorno dos Ativos, que estima os resultados gerados em termos dos ativos de uma empresa.

A dimensão referente ao desempenho de uma cadeia de suprimentos pode ser visualizada também através da busca por efetividade. Segundo Hugos (2006, p. 5) “*uma gestão efetiva da cadeia de suprimentos requer melhorias simultâneas tanto nos níveis de serviço para o cliente quanto nas eficiências das operações internas da empresa na cadeia de suprimentos.*” Para ele, as capacidades e a efetividade da cadeia de suprimentos de uma empresa são definidas por suas decisões em cinco áreas: produção, inventário, localização, transporte e informação.

Dentre as melhorias a que se busca em uma cadeia de suprimentos, podem se enumerar algumas: melhores previsões de demanda, agregar maior valor aos produtos/serviços, aperfeiçoar processos de produção e logística, minimizar os impactos de variações no volume e *mix* de produção, ajustar políticas de marketing e, para alguns, alinhar os objetivos com os parceiros.

Um papel importantíssimo da gestão da cadeia de suprimentos é coordenar os fluxos de material, informação e recursos financeiros de um extremo ao outro da cadeia (HE et al., 2010, p. 70; WENDAN ZHAO, WENDAN ZHAO, 2010, p. 336), como é mostrado na figura 4. Nos itens a seguir são descritas as três categorias de fluxos.

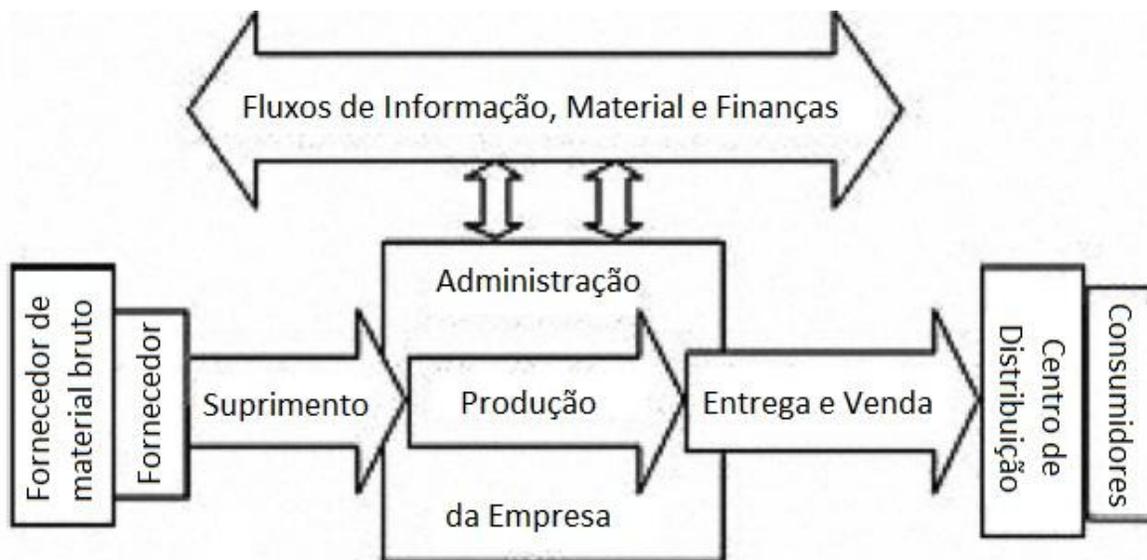


Figura 4 - Modelo de cadeia de suprimentos e seus três fluxos (traduzido de WENDAN ZHAO, WENDAN ZHAO, 2010, p. 336)

2.2.1 FLUXO DE MATERIAIS

O fluxo de materiais deve ser conduzido para que se possa produzir dentro das especificações com o mínimo possível de falta de material, de forma a atender as demandas dos clientes, alocando o mínimo possível de recursos das empresas envolvidas na cadeia. Dentro desse fluxo, os materiais devem ter sua integridade física garantida e atingir os destinos corretos, evitando qualquer tipo de espera.

Para Kumar e Suresh (2009, p. 268) “as atividades relacionadas à administração do fluxo de materiais em uma organização e através dela” compreendem a gestão de materiais. A movimentação controlada e racional de materiais através da cadeia é importante para que haja disponibilidade de matéria-prima para os processos que aumentam o valor agregado dos produtos e disponibilidade de produtos aos clientes, ao mesmo tempo em que o armazenamento e transporte sejam reduzidos. Outra característica importante do fluxo de materiais é que ele

busque um volume de produção o mais homogêneo possível perante os movimentos e efeitos de volatilidade na demanda do mercado.

Para que o “escoamento” de material seja coordenado com a demanda, ele deve ser orientado por alguma forma de fluxo de informações através de sua cadeia. Esse assunto será abordado mais à frente neste trabalho.

No sentido da extração de matéria-prima ao consumidor final, o fluxo de materiais pode envolver matéria-prima, componentes, produtos semi-acabados, produtos acabados (DALLERY, 2009). Tanto neste sentido quanto no sentido inverso, pode haver fluxo de materiais, armazenamento, movimentação e condicionamento, em *pallets*, contêineres ou embalagens.

Outro aspecto que deve ser considerado no fluxo de materiais são os casos da chamada logística reversa. Trata-se do fluxo de materiais no sentido oposto ao convencional, pois o movimento se dá no sentido do cliente à extração de matéria-prima. Isso pode ocorrer por diversos motivos: se um produto já adquirido pelo cliente necessitar de reparo, manutenção, troca ou se identificar defeitos ainda dentro da cadeia. Outra situação ainda recorrente, que se enquadra dentro dessa categoria, é o retrabalho, quando são identificados defeitos “recuperáveis” nos produtos e estes são submetidos a reprocessamento para correção.

Uma aplicação de logística reversa que tem ganhado cada vez mais espaço é o fluxo de resíduos oriundos de processos produtivos ou ao fim da vida útil de produtos para que se destine adequadamente essas matérias, realize reciclagem (HUGOS, 2006, p. 95) ou reaproveitamento quando necessário, se minimize efeitos de poluição e se respeite a legislação ambiental.

Apesar do fluxo de materiais ao longo da cadeia de suprimentos nos transmitir a sensação de que o material flui continuamente desde os primeiros fornecedores em forma de matéria-prima até os clientes em forma de produto final, o material fica diversas vezes parado em forma de estoque. Qualquer operação produtiva tem material armazenado segundo Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 357).

Com vista nisso, é necessária a compreensão das funções do estoque. O estoque serve fundamentalmente para balancear a demanda com o fornecimento (Ibidem, p. 390), além de evitar efeitos decorrentes de incertezas no tempo de ressurgimento e na demanda, propiciar economias na produção, na escala de compras e transporte, proteger contra contingências, gerar níveis de serviço melhores (BALLOU, 2011, p. 206).

Para o estudo e análise de estoques, antes de qualquer coisa, é fundamental que os itens armazenados sejam tratados de forma diferente e, assim, propõe-se que sejam classificados quanto à sua quantidade e sua importância (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 377). Com isso, é possível definir diferentes níveis de disponibilidade e práticas de logística para os itens analisados. Então se realiza uma forma de priorização usando a Curva ABC, que é baseada no princípio de Pareto. Genericamente estipula-se que 20% dos itens representam 80% do valor total do faturamento (BALLOU, 2011, p. 97). Esses itens que representam são denominados itens classe A, enquanto que 30% (denominados itens classe B) e 50% (denominados itens classe C) representam 10%, cada classe, do valor estocado. Ressalta-se que os valores relativos dos itens podem variar, pois os valores mencionados são apenas estipulações experimentais. Outra ressalva sobre esse sistema de classificação é que alguns autores tem o criticado, por exemplo, em função de não avaliar outras características dos itens como a lucratividade ou a criticidade dos itens para o sistema de manufatura. Gudehus e Kotzab (2009, p. 124) enumeram diversas características que servem como critérios de classificação logística.

Existem muitas questões a decidir sobre o funcionamento do estoque. Uma delas é o tamanho do lote de compra. Os pedidos dos itens de compra podem ser realizados em intervalos de tempo regulares e fixos com tamanhos de lotes variáveis ou em tamanhos de lotes fixos, porém em intervalos de tempo variáveis, determinados por um nível mínimo de suprimento, conhecido como ponto de reposição. O modelo que usa um tamanho de lote fixo pode ser convenientemente dimensionado pelo lote econômico de pedido (ROSA, MAYERLEB, GONÇALVES, 2010, p. 628), que obtém a solução de compromisso entre o custo de manutenção do estoque e o seu custo de colocação de pedido, incluindo redução do preço devido à economia de escala (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 364).

Já o modelo com tamanho de lote variável determina o período ótimo para a colocação do pedido através do valor teórico do lote econômico de pedido e o tamanho de lote adotado é calculado como a diferença do nível atual em estoque e um nível predeterminado, que leva em consideração a demanda durante o período de reposição e o tempo de ressuprimento (BALLOU, 2011, p. 222).

O modelo de colocação de pedido em intervalos variáveis, de acordo com o ponto de reposição, é conhecido como sistema de revisão contínua, pois os níveis de estoque devem ser verificados continuamente para cada item e assim se possa identificar o momento exato em que a reposição deve ser solicitada (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 375), o que é muito mais fácil de realizar a partir de sistemas de controle do nível de inventário informatizados, especialmente sistemas em que grande parte dos dados não são imputados manualmente e que permitem certa rastreabilidade, como por leitura do código de barras ou como o RFID (*Radio-Frequency IDentification*).

Embora esse tipo de modelo funcione bem para itens individuais, outros modelos podem ser mais indicados, como em situações onde a compra conjunta de mais de um item do mesmo fornecedor trouxerem economias significativas, em termos de transporte e descontos por escala de compra (BALLOU, 2011, p. 222). Nesse caso, o modelo de pedido em períodos regulares é uma alternativa interessante. Esse tipo de sistema é conhecido como de revisão periódica, pois a avaliação do nível de inventário é realizada em períodos pré-determinados. Por outro lado, esse modelo mais simples não adota um possível tamanho de lote ótimo em relação aos custos de aquisição. Um estudo de Lau, Xie, Zhao (2008 apud ROSA, MAYERLEB, GONÇALVES, 2010, p. 636) trouxe indicações no sentido de que a sistemática de revisão contínua apresenta custos inferiores quando comparados a sistemática de revisão periódica.

Quando a necessidade por materiais é dependente da demanda, o que é conhecido como demanda dependente ou demanda derivada, costuma-se adotar métodos de reposição baseados em uma programação agregada, pelo cálculo das necessidades de material (BALLOU, 2011, p. 222). Neste caso dois métodos de destaque são o planejamento das necessidades de material, o MRP (*Material Requirement Planning*), e o planejamento das necessidades de distribuição, o

DRP (*Distribution Requirements Planning*). Por outro lado, Ballou afirma que (2011, p. 251) “A maior parcela dos itens, ou seja, aqueles menos críticos, é adquirida para repor estoques em vez de atender diretamente as necessidades produtivas. A liberação das ordens de compra é realizada conforme indicado pelas técnicas de controle de estoque.”

Outros possíveis métodos de agregação, tanto para a programação geral da produção, quanto para a definição de lotes de reposição de material, são baseados em programação matemática. Kumar e Suresh (2009, p. 200) apontam o uso de programação linear para minimização de custos como de mão-de-obra, hora-extra e de manutenção de inventário; o método *Linear Decision Rule* (LDR), que usa funções de custo quadráticas; os modelos de busca computacional, que selecionam opções de menor custo dentre diversas combinações de capacidade; a administração de coeficientes, que considera histórico de decisões em um modelo de regressão.

Uma forma mais ampla do problema de determinação do tamanho de lote considera a integração entre a empresa compradora e a empresa vendedora. Ela é conhecida como problema conjunto do tamanho econômico de lote ou *joint economic lot sizing problem* (JELP) e tem ganhado atenção nos últimos anos dentro de estudos relacionados à cadeia de suprimentos (BEN-DAYA, DARWISH, ERTOGRAL, 2008, p. 727). Dentre as análises para o JELP com demanda determinista, há os modelos em que apenas uma entrega é permitida por lote, como o *lot-for-lot* de Banerjee (1986), e os modelos em que é possível múltiplas entregas por lote. No segundo caso, destaca-se a política de solução ótima geral desenvolvida por Hill (1999 apud BEN-DAYA, DARWISH, ERTOGRAL, 2008) para o problema de um comprador e um vendedor, considerando uma taxa de produção finita e expedições sem restrições. Diversos outros modelos são casos especiais dessa política ótima.

No geral as pesquisas relacionadas ao JELP têm se concentrado por um lado em hipóteses, as quais podem não se mostrar razoáveis na prática, como produções totalmente confiáveis e demanda conhecida, enquanto por outro lado tem se estudado a integração entre mais de dois níveis de instalações ou organizações da cadeia de suprimentos (BEN-DAYA, DARWISH, ERTOGRAL, 2008, p. 740). Outros aspectos tratados desses problemas são múltiplos

compradores, redução do tempo de *setup* (CHUNG, LIAO, 2011), *lead-time* de entrega até o comprador (BEN-DAYA, DARWISH, ERTOGRAL, 2008, p. 727). Alguns trabalhos, por exemplo, propuseram modelos que levam em consideração os defeitos dos itens envolvidos na transação (CHIU et al., 2011), sendo que Wahab, Mamun, Ongkunaruk (2011) incluíram ainda o impacto ambiental decorrente da emissão de dióxido de carbono no modelo.

Considerar outros níveis ou camadas dentro de uma cadeia de suprimentos é outra possibilidade ao que concerne o JELP. Beheshti (2010), por exemplo, baseando-se no lote econômico de pedido, propõe um modelo que busca considerar a cadeia de suprimentos como um sistema integrado. Ele considera um fabricante, múltiplos distribuidores e múltiplos revendedores. Já Ben-Daya, As'ad, Seliaman (2010) propõem um modelo que considera um fornecedor, uma empresa de manufatura e múltiplos varejistas de forma que busca minimizar os custos de manutenção de inventário de produtos acabados e matéria-prima, custos de *setup* e custos de colocação de pedido.

Além disso, um importante parâmetro relacionado ao planejamento e controle de estoques é o estoque de segurança, quantidade mínima nominal de um item em estoque, que protege o seu consumidor de irregularidades no fornecimento e aumentos na demanda (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 358).

2.2.2 FLUXO DE INFORMAÇÃO

Como foi dito anteriormente, o fluxo de informações tem um importante papel no controle do fluxo de materiais. Algumas questões de grande importância na cadeia de suprimentos a serem respondidas com auxílio do fluxo de informações são as quantidades de cada referência a se produzir, quando se produzir, com quais recursos e a quais clientes deve se dar prioridade.

Os principais tipos de informação, cujo fluxo é geralmente orientado no sentido do cliente aos fornecedores, são pedidos colocados, características de demandas, previsões. Por outro lado,

outros tipos de informação podem ter fluxo com sentidos diversos, como prazos de entrega, *lead-time*, capacidades de produção, níveis de inventário (DALLERY, 2009).

Informações de pedidos e demanda podem ser transmitidas dentro de uma cadeia de suprimentos por três modos, em geral:

- Desde o varejo (em contato direto com o cliente) que transmite sua informação para distribuidores, que por sua vez, expede-as para seus fornecedores diretos, que as difundem assim sucessivamente até os extratores de matéria-prima bruta. Ou, analogamente, em uma escala interna de uma empresa, quando a última operação transmite a informação de produção para a operação antecessora e assim segue o fluxo até a primeira operação. Esse modo de produção é conhecido como **puxado** pois o fluxo de produção é orientado diretamente pelos consumidores (demanda), ou é puxada pelos mesmos (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 384).
- A empresa ou o sistema responsável centraliza as informações de produção e as transmite para as outras empresas integrantes da cadeia de suprimentos. Em escala de uma empresa, o setor de planejamento e controle de produção transmite as informações de produção ao chão-de-fábrica, sendo que cada operação de produção realiza seu trabalho sem considerar a demanda da operação sucessora. Esse modo de produção é conhecido como **empurrado**, pois a produção é orientada pelo planejamento central de um membro da cadeia de produção sem considerar as necessidades do membro seguinte, ou é empurrada pelo trabalho antecessor desde o início da cadeia (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 384).
- Muitos sistemas de produção apresentam claramente características tanto do modo de produção empurrado quanto do modo de produção puxado. Esse tipo de modo, também conhecido como modo **híbrido**, pode apresentar diversas formas. Uma possibilidade é o tamanho da ordem de compra ou de produção ser definido através de previsões de demanda enquanto o momento de lançamento da ordem ser baseado no consumo do inventário da etapa a seguir, ou seja, o tamanho da ordem refere-se a um modo empurrado

enquanto o seu momento de lançamento é baseado em um modo puxado. Um sistema de produção operando em modo híbrido deve tentar conciliar as melhores características dos sistemas puxados e empurrados de acordo com as características de cada um de seus processos (KARMAKAR, 1991).

Para auxiliar o fluxo de informações, foram criados sistemas de informação destinados a orientar o fluxo de materiais em uma empresa ou cadeia de suprimentos. Dentre os sistemas de fluxo planejado destaca-se o **MRP**, o qual simplificadaamente falando é um sistema de planejamento de recursos e controle que calcula ordens de produção e inventário, sucedido pelo **MRP II** (*Manufacturing Resource Planning*), que é um sistema mais moderno que o MRP, o qual considera outros processos já com banco de dados integrado, e o **ERP** (*Enterprise Resourcing Planning*), sistema em rede, o qual pode ser visto como uma evolução do MRP II, que atende às necessidades de informação de diversos setores (produção, finanças, marketing, etc.) de uma empresa de forma integrada (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, cap. 14). O ERP se tornou uma plataforma de suporte à tomada de decisão em uma visão colaborativa e estendida, além de um sistema para melhoria do desempenho da cadeia de suprimentos (BEHESHTI, 2010, p. 453).

Uma vez que as necessidades dos clientes e os recursos de produção disponíveis variam com o tempo, não se pode determinar com precisão total um cenário futuro. Assim o modo de produção empurrada pode requerer a realização de previsão de demanda. Segundo Kumar e Suresh (2009, p. 106) existem dois grupos de métodos para isso, os qualitativos (ou de opinião e julgamento) e os quantitativos, baseados em dados históricos, como pedidos já consumados, pedidos previstos e histórico de consumo e de oferta no próprio ponto de varejo.

Já os princípios do *just-in-time* (JIT) são usados em sistemas de fluxo puxado, pois têm por objetivo principal produzir as quantidades exatas no momento exato em que há a demanda (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 465). Para que seja aplicado satisfatoriamente, exigem níveis razoáveis de coordenação entre setores e/ou empresas envolvidas e treinamento de funcionários. Dentre as ferramentas de produção puxada pela demanda, a de maior destaque é o **Kanban**, que com simplicidade de aplicação e boa visualização foi desenvolvido na companhia

automobilística Toyota (WOMACK, JONES, ROOS, 2004, p. 51) usando práticas de supermercado norte-americanas.

2.2.3 FLUXO FINANCEIRO

Outro fluxo que tem papel determinante nas relações entre empresas de uma cadeia de suprimentos é o fluxo de recursos financeiros, pois os momentos em que ocorrem emissão de ordem, entrega de pedido e pagamento são quase sempre distintos como discutido por He et al. (2010) e como o esquema apresentado na figura 5 (DALLERY, 2009). Então o capital necessário para que os negócios de uma empresa possam operar, conhecido como necessidades de capital de giro, varia também de acordo com as relações com os clientes e empresas fornecedoras.

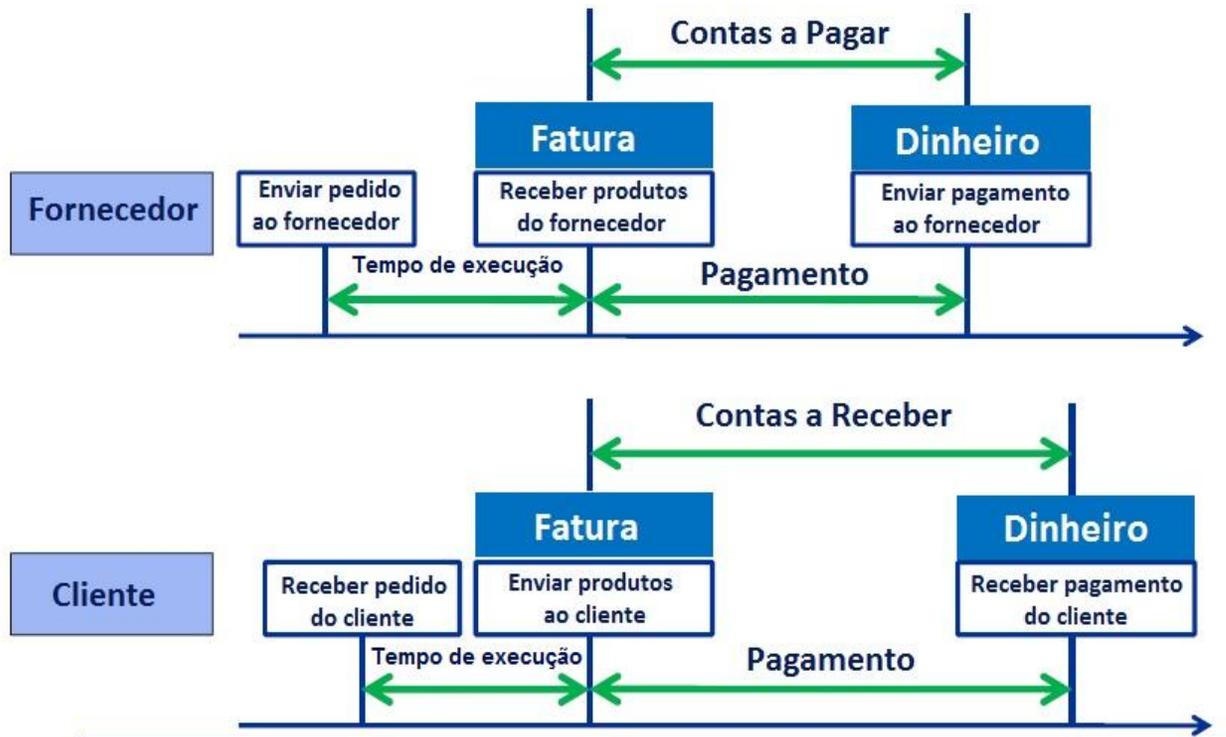


Figura 5 - Pagamentos e recebimentos na cadeia de fornecimento (traduzido de DALLERY, 2009)

O capital de giro necessário pode ser visto simplificadaamente como a soma do capital imobilizado em inventário e as contas a receber menos as contas a pagar, como indica a figura 6 (Ibidem). Assim uma empresa cujos períodos para recebimento de contas são maiores que àqueles para pagamento, terá necessidade de um alto capital de giro, o que caracteriza, por exemplo, indústrias que fornecem produtos a distribuidores ou para o varejo, porém só recebem o pagamento após a compra do cliente final, e que, por outro lado, têm relações estritamente comerciais com seus fornecedores, pagando-os no instante em que fizer o pedido ou no instante em que receber os insumos. Dessa forma, têm de pagar suas contas antes de começar a produção efetivamente e só recebem após concluir a produção, aguardar o tempo de entrega à empresa responsável pela venda junto ao cliente final e o tempo para realização da venda.

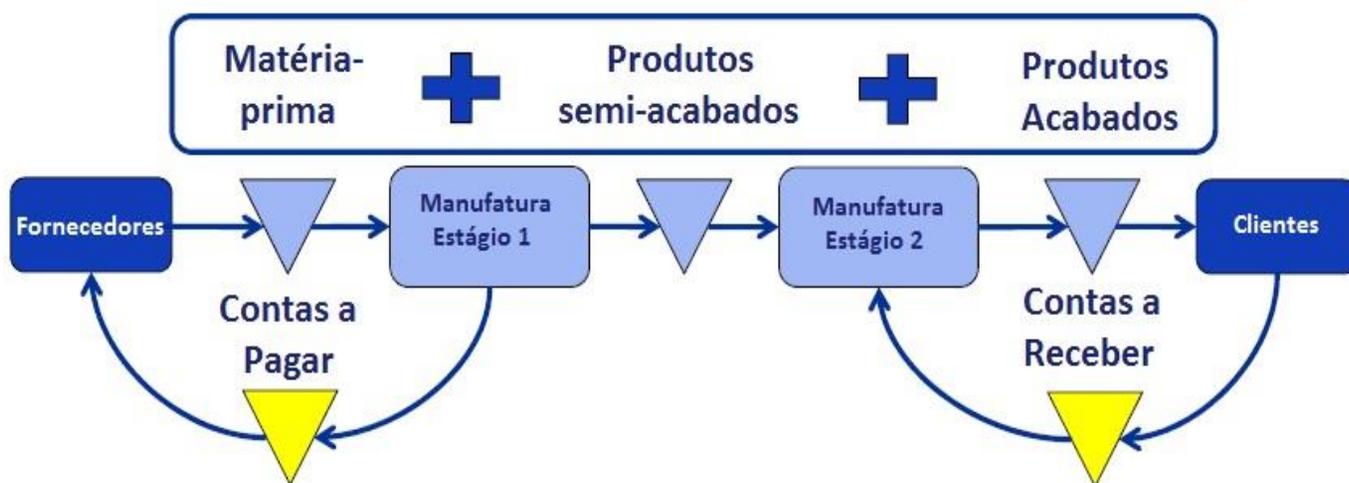


Figura 6 - Fluxo financeiro na cadeia de fornecimento (traduzido de DALLERY, 2009)

Por outro lado, empresas com período de recebimento curto, que em alguns casos recebem antecipado do comprador, mas cujo período de pagamento de contas são maiores, que podem pagar ao fornecedor, por exemplo, apenas após a venda de seu produto, terá necessidade de um baixo capital de giro, que pode chegar a ser negativo, ou seja, o capital de outras empresas “financiam” as operações dessa empresa. Um exemplo típico, que se enquadra nessa situação, são as empresas de venda pela internet.

É válido notar que trabalhar com baixo nível de inventário é uma excelente forma de reduzir o capital de giro necessário (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 391). Assim o fluxo de material e, conseqüentemente, informações são essenciais para uma boa administração do fluxo financeiro.

2.3 RELACIONAMENTO E COORDENAÇÃO

O relacionamento entre as empresas tem um papel importante na gestão da cadeia de suprimentos, pois como uma cadeia de suprimentos conta com diversas empresas integrantes, há que se coordenar de alguma forma seus objetivos, compartilhamento de informações, a distribuição de responsabilidades e recursos. Para Silva et al. (2010, p. 758) o conceito de cadeia de suprimentos envolve o entendimento dos relacionamentos das empresas a partir do primeiro fornecedor até o cliente final.

Para que as empresas estejam conectadas e assim haja compartilhamento de informação, a tecnologia da informação (TI) tem tido grande importância. Sistemas de informação interorganizacional permitem que o desempenho e o relacionamento em uma perspectiva multiorganizacional seja melhorado (HU et al, 2010, p. 1). A colaboração entre empresas membros de uma cadeia de suprimentos é suportada pela TI (HUGOS, 2006, p. 103) e pode segundo Kaplan, Norton, Rugelsjoen (2010, p. 119) fazer com que através das organizações e os terceiros envolvidos seja feito o melhor uso de recursos e serviços, além da geração da transparência esperada.

A forma de relacionamento tradicional entre membros de uma cadeia de suprimentos é orientada pela busca de interesses imediatos, o que acaba por desconsiderar os interesses de outros membros, (WENDAN ZHAO, WENDAN ZHAO, 2010, p. 337). Essa forma de relacionamento é simplesmente uma relação de mercado e dificilmente favorece capacitações internas (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 416). Baseado no relacionamento de

mercado, as transações entre as empresas podem ocorrer apenas uma vez ou mais vezes em função de preços e serviços competitivos (DAUGHERTY, 2011, p. 19).

Uma postura diferente a esta tradicional, limitada ao curto prazo, é através de relações de envolvimento mais duradouras entre as empresas, como parcerias e alianças. Para esse tipo de relacionamento, a confiança é um elemento cuja presença é importante. Acreditar nas promessas e na consistência das ações das empresas integrantes de uma cadeia de suprimentos evidencia a presença de confiança (CHEN, PAULRAJ, 2004, p. 141). Dessa forma, as relações de coordenação e de colaboração, junto com confiança, são elementos importantes para que se obtenham melhores benefícios nas inter-relações de empresas participantes de uma mesma cadeia.

O compromisso com objetivos compartilhados e foco cooperativo é representado por parcerias e alianças (DAUGHERTY, 2011, p. 20). Para Slack, Chambers, Johnston (2009, p. 406) em uma relação de parceria espera-se que os benefícios alcançados conjuntamente sejam melhores que os obtidos individualmente, através de cooperação, compartilhamento de recursos e habilidades. Já Hofer et al. (2009 apud DAUGHERTY, 2011, p. 19) “*considera parceria como uma estrutura de nível superior composta por cinco dimensões - abrangência, troca de informações operacionais, controles mútuos operacionais, benefícios e obrigações compartilhadas, e planejamento.*”

Atualmente alianças são feitas com o objetivo de se gerar vantagem competitiva, enquanto originalmente eram realizadas para terceirizar partes das cadeias de suprimentos em processo de desverticalização, de acordo com Kaplan, Norton, Rugelsjoen (2010, p. 2). Alianças ocorrem pelo acordo entre organizações para que atinjam objetivos específicos através de trabalho conjunto, em uma relação cooperativa e de longo prazo (DAUGHERTY, 2011, p. 20). Hugos (2006, p. 261) afirma que a expectativa de crescimento para cada empresa envolvida é a motivação da aliança.

A gestão da cadeia logística pode apresentar diferentes formas de gestão mais colaborativas. Moretti (2005, p. 26) destaca duas abordagens: a gestão federativa e a centralizada.

A chamada de gestão centralizada é caracterizada pelo compartilhamento livre de informações com o objetivo de atingir o melhor desempenho para cadeia de suprimentos como um todo (MORETTI, 2005, p. 27). Esta abordagem propõe a disponibilização das informações para toda a cadeia, seguindo metas centralizadas estabelecidas cooperativamente. Para isso, o compartilhamento de informações entre os membros do canal deve continuar com o avanço tecnológico, caracterizando coordenação, compromisso e cooperação.

Outra abordagem é a Federativa, a qual trata cada empresa membro da cadeia como uma espécie de cidadão, pois tem autonomia de organização independente e poder de negociar. Já as informações compartilhadas são mais reduzidas em relação ao modelo centralizado e os objetivos de negócios devem ser alinhados aos integrantes da cadeia (MORETTI, 2005, p. 27), o que possibilitará uma colaboração estratégica.

2.4 RELAÇÃO DEMANDA/PRODUÇÃO

A forma como é gerido o fluxo de materiais é essencial para alguns aspectos da cadeia de suprimentos, como: prazo de entrega, capacidade de resposta a novos pedidos, confiabilidade da entrega, racionalização de recursos de manufatura e distribuição de produtos. Com isso, existem diferentes estratégias de organização da produção em uma cadeia de suprimentos para atender à demanda do cliente.

Alguns importantes parâmetros devem ser considerados para a escolha dessas estratégias: volume de produção, variedade de produtos, nível de valor agregado do produto, complexidade do produto, riscos de produtos não serem vendidos.

A seguir são apresentadas as principais estratégias de produção para o cumprimento de pedidos.

2.4.1 *ENGINEER TO ORDER*

Engineer to Order (ETO), que pode ser traduzido em projetar/construir sob pedido, é a estratégia de desenvolver um produto e produzi-lo em resposta a um pedido de um cliente, ou seja, é feita a engenharia de um dado produto e sua produção com especificações únicas sob a encomenda de um cliente. Nesses casos a reatividade é baixíssima, pois tanto o projeto quanto a produção são únicos e despendem um tempo considerável, sendo assim o cliente aceita a espera para obter um produto da forma exata ou mais próxima possível do que deseja. Em compensação não há riscos de super produção e o preço dos produtos costumam ser elevados (DALLERY, 2009).



Figura 7 - Representação da estratégia ETO

Essa estratégia é tipicamente adotada em cadeias com produtos de elevada complexidade (que demandam desenvolvimento e produção especializada) ou/e altamente customizados, com quase todos os pedidos diferentes um do outro e de baixíssimo volume de produção (muitas vezes unitário), como na construção civil ou desenvolvimento de *softwares* sob encomenda.

2.4.2 *MAKE TO ORDER*

Make to Order (MTO), que pode ser traduzido em fazer ou produzir sob pedido, é a estratégia de produzir em resposta aos pedidos de clientes, ou seja, a produção é iniciada com o recebimento de pedido do cliente (CSCMP, 2010, p. 116; SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 677). Essa opção geralmente confere reatividade fraca/regular a cadeia (dependendo do

lead-time total de produção) e possibilidade de dificuldades devido ao nível demanda com relação à capacidade de produção (ora capacidade insuficiente, ora ociosidade), entretanto não há riscos de produzir mais do que a demanda, nem há custos adicionais aos produtos oriundos de elevados inventário de produtos acabados.



Figura 8 - Representação da estratégia MTO

Essa estratégia é tipicamente adotada em cadeias com produtos que tenham diversas especificações (de estrutura complexa e com muitos componentes) ou/e com alta variedade de produtos e baixo volume de produção, como aviões e tratores.

2.4.3 MAKE TO STOCK

Make to Stock (MTS), que pode ser traduzido em fazer ou produzir para estocar, é a estratégia de produzir em antecipação a demandas futuras (DALLERY, 2009) e estocar os bens produzidos, ou seja, se produz dentro de um planejamento que leva em conta uma previsão de demanda (KUMAR, SURESH, 2009, p. 203) antes que os clientes façam os pedidos. Essa opção geralmente confere reatividade instantânea à cadeia, entretanto há riscos de não se vender os produtos ou fazê-lo apenas mediante a preços baixíssimos em liquidações, além de se imputar maiores custos de inventário aos produtos, especialmente os produtos ainda não vendidos.



Figura 9 - Representação da estratégia MTS

Essa estratégia é tipicamente adotada em cadeias com produtos padronizados (de estrutura simples e com poucos componentes) ou/e com baixa variedade de produtos e alto volume de produção, como enlatados e produtos de higiene.

2.4.4 ASSEMBLE TO ORDER

Assemble to Order (ATO), que pode ser traduzido em montar sob pedido, é a estratégia de realizar a montagem de produtos em resposta aos pedidos de clientes, ou seja, a montagem é iniciada com o recebimento de pedido do cliente. O CSCMP (2010, p. 12) define o termo como se segue: “A estratégia empregada em produção e ambientes de manufatura leve, onde subconjuntos completos e componentes são montados em um produto acabado um pouco antes do embarque ao cliente.” Assim a produção de componentes é feita em MTS e a montagem em MTO (DALLERY, 2009). Essa opção geralmente confere reatividade intermediária/elevada a cadeia (dependendo do *lead-time* total de montagem), pequena possibilidade de dificuldades na gestão da demanda com relação à capacidade de produção (ora capacidade insuficiente ora ociosidade), com riscos de produzir mais componentes do que a demanda, embora seja menos custoso que produzir produtos acabados em excesso, com risco de algum custo adicional aos produtos, oriundo de alto inventário de componentes. Além disso, permite que se estruture a cadeia de suprimentos de forma a combinar produtividade e flexibilidade.



Figura 10 - Representação da estratégia ATO

Essa estratégia é tipicamente adotada em cadeias de produtos com certa customização ou/e com média variedade de produtos e volume de produção razoável, como computadores.

2.4.5 *DECOUPLING POINT*

Decoupling point, ponto de desacoplamento em português, é o ponto de separação entre a operação dos processos movidos pelas previsões de vendas e os movidos pelos pedidos dos clientes. Trata-se do ponto de transição entre a estratégia de produção MTS e a estratégia de produção MTO dentro de uma cadeia de suprimentos (DALLERY, 2009).

O uso de uma estratégia com ponto de desacoplamento permite que se tenha um sistema híbrido de produção, onde na primeira extensão da cadeia anterior ao ponto, o sistema operará focando a produtividade e reatividade, enquanto na segunda extensão posterior ao ponto, focará em flexibilidade (DALLEY, 2009). Isso acontece porque até um dado momento a cadeia de suprimentos produzirá componentes ou/e produtos de forma a garantir alta disponibilidade e após isso dará diferenciação a produção de acordo com a gama de produtos orientada pelas ordens dos clientes. Como afirmam Ambe e Badenhorst-Weiss (2010, p. 2218) o ponto de desacoplamento localiza-se entre as regiões de demanda empurrada e demanda puxada em uma cadeia de suprimentos, através de um inventário que permite que as duas regiões operem independentemente, também conhecido como estoque de desacoplamento (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 676). Segundo Ambe e Badenhorst-Weiss (2010, p. 2217) a cadeia de suprimentos deve ser desenvolvida de forma que seja enxuta no sentido do mercado e ágil, ao responder a demanda volátil, no sentido inverso.

A escolha dessa região de transição é feita estabelecendo a melhor relação de compromisso entre custos de estoque e reatividade a demanda. Para isso deve-se buscar um ponto da cadeia em que há forte diferenciação de produtos, a partir de onde se agregue alto valor aos produtos, de forma a satisfazer os objetivos de entrega dos clientes, o que através da estratégia de adiamento (*postponement*) “*pode aumentar a eficiência da cadeia de suprimentos ao mover a diferenciação de produtos mais próxima dos clientes finais*” (AMBE, BADENHORST-WEISS, 2010, p. 2217). O CSCMP (2010, p. 146) define a estratégia de adiamento como:

O atraso de atividades finais (como montagem, produção, embalagem, etc.) até o último momento possível. A estratégia utilizada para eliminar o excesso de inventário na forma

de produtos acabados, que podem estar embalados em uma variedade de configurações e para maximizar a oportunidade de fornecer um produto final personalizado para o cliente.

2.5 LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Um aspecto da gestão da cadeia de suprimentos é relacionado à definição da configuração da cadeia de suprimentos (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009, p. 401). Segundo Slack, Chambers, Johnston (2009, p. 153) a localização “*pode ter impacto significativo nos lucros e serviços*”. A problemática de localização é uma decisão estratégica importante (KUMAR, SURESH, 2009, p. 61) que envolve não apenas uma empresa, mas uma cadeia de suprimentos inteira, diferentemente das considerações dos primeiros pesquisadores do assunto (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009, p. 401). Através dessa conotação mais ampla, os problemas de localização na cadeia de suprimentos fazem parte dos problemas estratégicos de planejamento da cadeia, que pode ser considerado sinônimo de projeto de rede, em inglês *network design*, ou projeto da rede da cadeia de suprimentos, em inglês *supply chain network design* (SCND) (Ibidem, p. 403). Embora existam diversas instalações a serem consideradas em uma cadeia de suprimentos, a presente seção se concentra nos problemas de localização de plantas industriais.

A definição de uma localização envolve elevados investimentos (HUGOS, 2006, p. 14) e é recomendável que não se mude essa localização com muita frequência (KUMAR, SURESH, 2009, p. 61). Trata-se de uma decisão difícil de reverter, sendo que quando ocorrem, geralmente é por causa de mudanças na demanda e na oferta de insumos (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 153). Dessa forma, com o passar do tempo, a localização de uma instalação pode deixar de ser adequada (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009, p. 403). Assim é importante que os fatores considerados para essa decisão consigam abranger de alguma forma características futuras associadas à localização.

Os objetivos, que a decisão de localização busca atender, são a prestação de serviços aos clientes, os custos de operação, a receita potencial de operação (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 154), a ampliação estratégica da margem de mercado. Em se tratando de alto investimento, uma maior rentabilidade avaliada por taxas de retorno é um objetivo típico, embora a maior parte dos modelos que tratam localização sejam orientados apenas pelo custo (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009, p. 410).

Existem três situações que podem requerer decisões de localização: para novas organizações, para organizações existentes e para o caso de localização global (KUMAR, SURESH, 2009, p. 62). Esse tipo de decisão primeiramente envolve identificação de uma região para localizar a operação, depois a identificação de possíveis locais/terrenos para as novas instalações (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009, p. 403), para que se busque a melhor alternativa (KUMAR, SURESH, 2009, p. 62). Além disso, problemas de localização tipicamente envolvem decisões em grupo (NICKEL, PUERTO, RODRÍGUEZ-CHÍA, 2005, p. 762).

Para Melo, Nickel, Saldanha Da Gama (2009, p. 403), as decisões de localização podem requerer modelos sofisticados em meio às crescentes incertezas na demanda para que seja robusta a configuração da rede de suprimentos. Eles afirmam que esses modelos devem “*capturar simultaneamente vários aspectos relevantes para problemas da vida real*” (Ibidem, p. 410). Segundo Nickel, Puerto, Rodríguez-Chía (2005, p. 764), problemas de localização são problemas cuja natureza multicritério é intrínseca.

Os planos e políticas de expansão de uma empresa e a gama de produtos que se planeja ofertar são aspectos que devem influenciar a localização de uma planta para Kumar e Suresh (2009, p. 61). Eles apontam, como razão mais óbvia para localização internacional, a possibilidade de obter fatias de mercado em locais/países em expansão (Ibidem, p. 64). Melo, Nickel, Saldanha da Gama (2009, p. 406) identificaram como fatores utilizados para esses problemas os investimentos previstos em orçamento, incentivos de governos, aspectos internacionais, como: taxaço, leis, cobranças alfandegárias. Canbolat, Chelst, Garg (2007, p. 323) afirmam que: “*Decisões de localização global são complexas e arriscadas devido a fatores*

quantitativos e qualitativos, além da incerteza do cenário internacional'. Para eles, estabilidade, aspectos econômicos e competência da mão-de-obra são fatores que não devem ser negligenciados.

Uma série de fatores que influenciam os problemas de localização é proposta por Kumar e Suresh (2009) dentro de duas categorias: fatores gerais e específicos. Os fatores específicos são divididos para empresas de produção e para empresas de serviços. Os fatores gerais são enumerados a seguir:

- a) Proximidade dos mercados
- b) Fornecimento de matéria-prima
- c) Instalações de transporte
- d) Disponibilidade de infraestrutura - como energia, água, eliminação de resíduos
- e) Mão-de-obra e salários
- f) Economias de escala externas relacionadas à urbanização e à localização
- g) Disponibilidade de capital
- h) Política de governo
- i) Condições climáticas
- j) Indústrias e serviços - para fornecimento e suporte da instalação
- k) Atitudes da comunidade e mão-de-obra

1) Infraestrutura da comunidade - ruas, escolas, hospitais, etc.

Já os fatores específicos para produção são clima de trabalho favorável, proximidade de mercado, qualidade de vida, proximidade de fornecedores e recursos, utilidades, taxações e custos com bens.

No *survey* produzido por Farahani, SteadieSeifi e Asgari (2010) nas aplicações de apoio à tomada de decisão que trabalham com múltiplos atributos, foram identificados fatores e organizados na seguintes categorias: custos (terreno, transporte, instalações, manutenção, etc), valores e benefícios (faturamento, valor de produto, etc), riscos ambientais, utilização (da instalação) e acessibilidade de recursos, acessibilidade de serviços públicos (aeroportos, ferrovias, etc.), problemas e regulações públicas, competição, economia (taxa de câmbio, clima de negócios, etc.), população, capacidade (da instalação), distância (proximidade de mercado e fornecedores/recursos) e adequabilidade (aspectos sociais e culturais, infraestrutura, etc.).

Hugos (2006, p. 14), por sua vez, enumera: custo da mão-de-obra, competência da mão-de-obra, condições de infraestrutura, proximidade de fornecedores e consumidores, taxações.

Segundo Meixell e Gargeyaritique (2005) influenciam a vantagem competitiva de uma cadeia de suprimentos fatores como qualidade e disponibilidade de fornecedores, infraestrutura de transportes e competência dos trabalhadores. Através de revisão de literatura realizada por estes autores, foi identificada a presença dos seguintes fatores nos trabalhos estudados: tarifas alfandegárias, barreiras comerciais não-tarifárias, taxa de câmbio, taxação sobre o faturamento, tempo de transporte, custo de inventário, habilidades e disponibilidade de mão-de-obra.

O modelo proposto por Fernández, Ruiz (2009) busca o balanço entre a atividade industrial e o meio-ambiente. Para seleção de localização de um parque industrial em escala geográfica mais ampla, ele considera cinco categorias de fatores: social que abrange formação acadêmica da população, aspectos demográficos, desemprego; econômica que avalia custos, presença de segmentos industriais, etc.; meio-ambiente que considera clima, gestão ambiental, dentre outros

fatores; planejamento que trata aspectos referentes à utilização do solo e zoneamento; infraestrutura que envolve transporte, energia, etc.

Além disso, qualquer localização selecionada está sujeita a riscos. Incerteza na demanda e custos são os mais conhecidos, enquanto riscos relacionados à entrega e ao abastecimento podem estar relacionados a greves, oscilações cambiais, incertezas governamentais e catástrofes naturais (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009, p. 407).

De acordo com Lee, Wilhelm (2010) os modelos de apoio a decisões estratégicas de planejamento de cadeias de suprimentos global, em especial para problemas de seleção de localização, podem ser melhorados ao se incorporar teorias de economia internacional na forma de indicadores de competitividade. Para eles, adotar um conjunto de indicadores individuais que tenham relevância para uma indústria em particular é crucial para uma empresa internacional, permitindo com que se faça uma análise extensiva das vantagens competitivas e da competitividade. Eles, para isso, recomendam o uso de relatórios anuais de competitividade como fonte de dados. Dá-se maior destaque ao *Global Competitiveness Report*, ou Relatório Global de Competitividade, do Fórum Econômico Mundial e ao *World Competitiveness Yearbook*, ou Anuário Mundial de Competitividade do Instituto Internacional para o Desenvolvimento da Gestão.

São descritos por Lee e Wilhelm (2010) inclusive, como algumas características de planejamento estratégico em cadeias de suprimentos global são explicadas por indicadores de competitividade, por exemplo, a localização de instalações da indústria automobilística.

Os problemas de localização de instalações podem ser classificados em três categorias (NICKEL, PUERTO, RODRÍGUEZ-CHÍA, 2005, p. 764): problemas contínuos, de redes e discretos. Eles também podem tratar a localização de apenas uma ou de mais instalações.

Os problemas discretos são aqueles em que os locais candidatos à instalação da unidade devem ser escolhidos dentre um conjunto finito de candidatos (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009, p. 402). Quando em comportamento probabilístico para incertezas que

envolvem este tipo de problema, uma análise estocástica pode ser a mais indicada (Ibidem, p. 403). Outro tópico encontrado na literatura envolve modelos que tratam instalações em diferentes funções, camadas (*layers*) ou níveis dentro da cadeia de suprimentos (Ibidem, p. 402). De acordo com revisão realizada por Meixell e Gargeyaritique (2005), o mais comum para problemas de seleção de localização é a consideração de dois níveis, entretanto também se encontram modelos que consideram três e até quatro níveis, sendo que usualmente esses níveis têm múltiplas instalações. Por exemplo, múltiplos fornecedores de primeiro nível, ou/e múltiplas plantas de produção, ou/e múltiplos distribuidores, etc.

Os problemas de localização em rede envolvem a otimização das funções de distância entre instalações de uma rede de suprimentos representadas por um grafo (NICKEL, PUERTO, RODRÍGUEZ-CHÍA, 2005, p. 776). Enquanto, explicando de uma forma simplificada, os problemas contínuos diferem dos problemas em rede pelo espaço de decisão, o qual não é mais uma rede e sim uma região contínua.

Grande parte dos modelos para problemas de localização trabalham, principalmente, com otimização de distâncias ou custos (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009, p. 408). Meixell e Gargeyaritique (2005) verificaram que maximização de lucro (antes e após taxação) é outro objetivo comumente adotado. Os custos considerados podem ser de distribuição, como o transporte às instalações de venda e aos clientes, de produção e de suprimento. Outros objetivos são apresentados por Farahani, SteadieSeifi e Asgari (2010, p. 1691).

Os problemas de localização de instalações costumam não ser os únicos pontos de decisão tratados nos modelos encontradas na literatura. Também são consideradas as quantidades de produção, os fluxos transportados entre instalações de produção, distribuição e pontos de consumo, a seleção de fornecedores, dentre outros pontos de decisão (MEIXELL, GARGEYARITIQUE, 2005).

Em se tratando de problemas de localização de instalação discretos, os modelos baseiam-se principalmente em programação inteira mista (NICKEL, PUERTO, RODRÍGUEZ-CHÍA, 2005, p. 783). Para minimizar os custos de transporte pode ser usado o método do centro de gravidade,

o qual estabelece um ponto ótimo, ou centro de gravidade ponderado, com relação a todos os pontos de origem e de destino para onde os bens são transportados (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 158). Outra possibilidade é o método carga-distância que minimiza a soma das distâncias (pode-se usar o tempo alternativamente) de todas as movimentações para e da instalação ponderadas pelas respectivas cargas (KUMAR, SURESH, 2009, p. 75). As cargas podem ser, por exemplo, o tamanho do mercado referente a certas regiões, ou frequências de entregas para os pontos de consumo.

Outro método que pode ser adotado é a pontuação ponderada, que avalia o desempenho de cada localização candidata baseando-se em diversos critérios. Os candidatos são avaliados com relação à cada critério e uma pontuação global é obtida por fatores de ponderação de cada critério, baseado em sua importância relativa (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 158). Trata-se, assim, de um método multicritério simples.

Por outro lado, uma avaliação de investimento pode ser realizada para cada localização candidata através do método de empate ou *break even analysis*. Com ele, analisa-se para cada candidato o ponto em que o faturamento se iguala aos custos totais, o que pode ser verificado de forma gráfica, através da variação desse balanço em função do volume de produção (KUMAR, SURESH, 2009, p. 75).

Outros métodos mais amplos também podem ser usados em problemas de localização de instalações, como alguns métodos de apoio multicritério à decisão (NICKEL, PUERTO, RODRÍGUEZ-CHÍA, 2005). De acordo com Farahani, SteadieSeifi e Asgari (2010, p. 1705), problemas de localização de instalação multicritério têm aumentado continuamente, pois esse tipo de análise permite que se atinjam soluções mais próximas da realidade. Özdağoğlu (2011), por exemplo, utilizou o método *analytic network process* (ANP), o qual é semelhante ao *analytic hierarchy process* (AHP), diferindo basicamente na capacidade de tratar problemas com interação entre os critérios em diferentes níveis hierárquicos, para um problema de localização de uma instalação na indústria de alimentos.

Fernández e Ruiz (2009) utilizam o AHP em um problema de seleção de localização de um parque industrial. O processo de seleção é estruturado hierarquicamente em três fases associadas a diferentes escalas geográficas. Primeiramente selecionam-se grandes áreas adequadas para a instalação em escala regional, depois selecionam com maior precisão áreas em escala local (pode envolver um ou mais municípios), por fim selecionam-se terrenos.

Canbolat, Chelst, Garg (2007) desenvolvem um método para apoiar a seleção de um país dentre um conjunto de alternativas em escala global para a localização de uma instalação que produz um componente ou um subsistema. Ele faz a avaliação de incertezas (taxa de câmbio, produtividade e inflação) associadas aos custos de mão-de-obra através do método da árvore de decisão, para depois incorporá-los a um modelo desenvolvido com o *Multiattribute Utility Theory* (MAUT). Para a avaliação do valor total, quatro objetivos foram considerados: custo total (o mais importante); localização geográfica e demográfica; qualidade; estabilidade. Um exemplo de aplicação é feito para uma fabricante de componentes e sistemas de freios automotivos.

Os métodos AHP e MAUT, assim como outros métodos multicritério, são abordados mais à frente na revisão teórica desta dissertação.

2.6 LOGÍSTICA ENXUTA

Esta seção trata a temática da logística fundamentada na mentalidade enxuta, a qual traz importantes conceitos para gestão da cadeia de suprimentos. Como coloca Nishida (2008, p.1), a logística enxuta é uma necessidade para que a gestão da cadeia de suprimentos seja enxuta.

Antes que a logística enxuta seja abordada, primeiramente é feita uma descrição da mentalidade enxuta e de suas ferramentas no item a seguir.

2.6.1 MENTALIDADE ENXUTA

A manufatura enxuta, *Lean Manufacturing*, é uma filosofia organizacional que desde o seu surgimento promove o foco na geração de valor aos clientes com a busca sistemática pela eliminação de desperdícios através do processo de melhoria contínua (PETITQUEUX, 2006, p. 3). Dentre as implicações da organização enxuta, pode-se citar o aumento da qualidade sob a perspectiva do cliente e a redução do *lead-time*. Para Slack, Chambers, Johnston (2009, p. 452) uma operação enxuta busca menores custos, maior confiabilidade e rapidez, produtos e serviços de maior qualidade. Dessa forma, a mentalidade enxuta promove a máxima redução possível de atividades que não agregam valor ao cliente, dentro das empresas e suas interfaces com outras empresas, tais como atividades de transporte e compras, culminando, por exemplo, em redução dos tempos de entrega, redução dos lotes de suprimentos, elevação e uniformização do padrão de qualidade, dentre outras melhorias.

Na definição do CSCMP (2010, p. 110) trata-se da “*filosofia de gestão de negócios que considera o gasto de recursos para qualquer objetivo que não a criação de valor para o cliente final como um desperdício, e, portanto, um alvo para a eliminação*”.

Seu estudo acadêmico foi iniciado em meados de 1980 por pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) em conjunto com governos e indústrias (principalmente do ramo automobilístico), em um programa denominado *International Motor Vehicle Program* (IMVP - Programa Internacional de Veículos Automotores). Na realidade, a maioria das práticas que integram o *lean* vieram do Sistema Toyota de Produção, concebido principalmente por Taiichi Ohno além de Eije Toyoda e outros colaboradores, o qual foi alvo de estudo do IMVP financiado por diversas entidades ocidentais públicas e privadas (WOMACK, JONES, ROOS, 2004).

Woomack e Jones (2003, p. 10) sintetizam a aplicação da mentalidade enxuta através de cinco passos:

- I. Valor: com a definição de valor, feita pelo cliente, a empresa deve gerar uma necessidade equivalente e vendê-la. Com isso, poderá melhorar continuamente seus processos, eliminar desperdícios e melhorar a qualidade.
- II. Fluxo de Valor: deve-se identificar o fluxo de valor para se obter um produto, da concepção, passando pela produção e sua entrega. Então se reconhece as atividades que geram valor, aquelas que não geram valor, mas são inevitáveis dentro das atuais possibilidades tecnológicas, e aquelas que não geram valor e que são evitáveis, as quais devem ser eliminadas.
- III. Fluxo Contínuo: deve-se criar um fluxo contínuo entre as atividades, onde suas execuções e trocas de informações devem ser dinâmicas e contínuas, com uma redução da burocracia interna, privilegiando a integração entre os diferentes setores.
- IV. Produção Puxada: deve-se estabelecer um ritmo de produção determinado pela demanda, ao invés de empurrar a produção aos clientes. Trata-se esta da produção puxada.
- V. Perfeição: todos os elementos integrantes da empresa devem ser direcionados à perfeição, através de ciclos de melhoria contínua em busca do mínimo custo, máxima rapidez e qualidade. Para Womack, Jones e Roos (2004, p. 4) a perfeição envolve *“custos sempre declinantes, ausência de itens defeituosos, nenhum estoque e uma miríade de novos produtos”*.

Para o *lean*, são enumeradas as sete principais fontes de desperdícios (alguns incluem uma oitava fonte geralmente relacionada ao desperdício de talento), que em japonês são chamados de *muda*, as quais devem ser sistematicamente reduzidas até que sejam eliminadas (WOMACK, JONES, 2003, p. 15):

- Produção em excesso;
- Espera - fluxo de valor parado;

- Transporte;
- Processamento - processos desnecessários;
- Estoque - valor estagnado;
- Movimentação - custo que não gera valor;
- Defeitos - resulta em retrabalho, perdas e outros inconvenientes.

É importante esclarecer que para combater estes desperdícios deve-se concentrar na eliminação de suas causas raiz antes de qualquer coisa. Caso se resolva eliminar algum desses desperdícios sem eliminar suas verdadeiras causas, os processos associados não conseguirão funcionar normalmente e haverá diversos efeitos nocivos.

Com relação ao estoque, impõe-se o mesmo fundamento. Eliminam-se as causas para que se possa eliminar o estoque. Para conseguir ajustar e guiar o fluxo de material entre processos ou entre empresas, uma técnica eficiente é o *Kanban*. Baseada sempre na demanda do destino do material, o fluxo de produção é puxado entre as diversas etapas de produção. Além de funcionar por cartões (tradicional), o sistema pode funcionar através de indicações físicas, como prateleiras e caixas de recebimento e envio, ou indicações digitais, como painéis eletrônicos e leitura/rastreamento digital dos materiais (MANN, 2005, p. 49).

Um estudo do fluxo de produção, através de toda cadeia de suprimentos, pode ser feito com uso do VSM (*Value Stream Mapping* ou Mapeamento da Cadeia de Valor em português). Seu método privilegia a macro-visualização da movimentação de materiais e informações, desde os fornecedores de matéria-prima até o cliente final, o que permite um diagnóstico mais fácil de atividades gargalo ou/e que não agregam valor. Com isso, esta ferramenta auxilia na avaliação da cadeia de suprimentos, bem como pode ser usada em análises mais específicas como de *layout* de plantas produtivas, de tempos de ciclo e *setup* de atividades, gestão de informações, de volume de estoques, de tempo de entrega de matéria-prima, dentre outras. Como ressaltam Rother e Shook

(1999), o VSM permite mais do que a visão de um único processo ou mais do que identificação de desperdícios, mas a visão do fluxo e de fontes de desperdício.

Resumidamente para implementação do VSM é importante que se realize a seleção do conjunto ou famílias de produto/serviço a serem analisados, em seguida, mapeia-se os fluxos de material e informações, o chamado mapa do estado atual. Após esta etapa, procura-se identificar limitações e problemas do estado atual para então elaborar o mapa do estado futuro, que deve apresentar evoluções em relação ao modelo inicial. Por fim propõe-se à empresa um plano de melhorias para atingir o estado futuro (ROTHER, SHOOK, 1999).

Para o desenho dos mapas é importante que a simbologia e sintaxe sejam padronizadas. A figura 11 apresenta um mapa do VSM como exemplo.

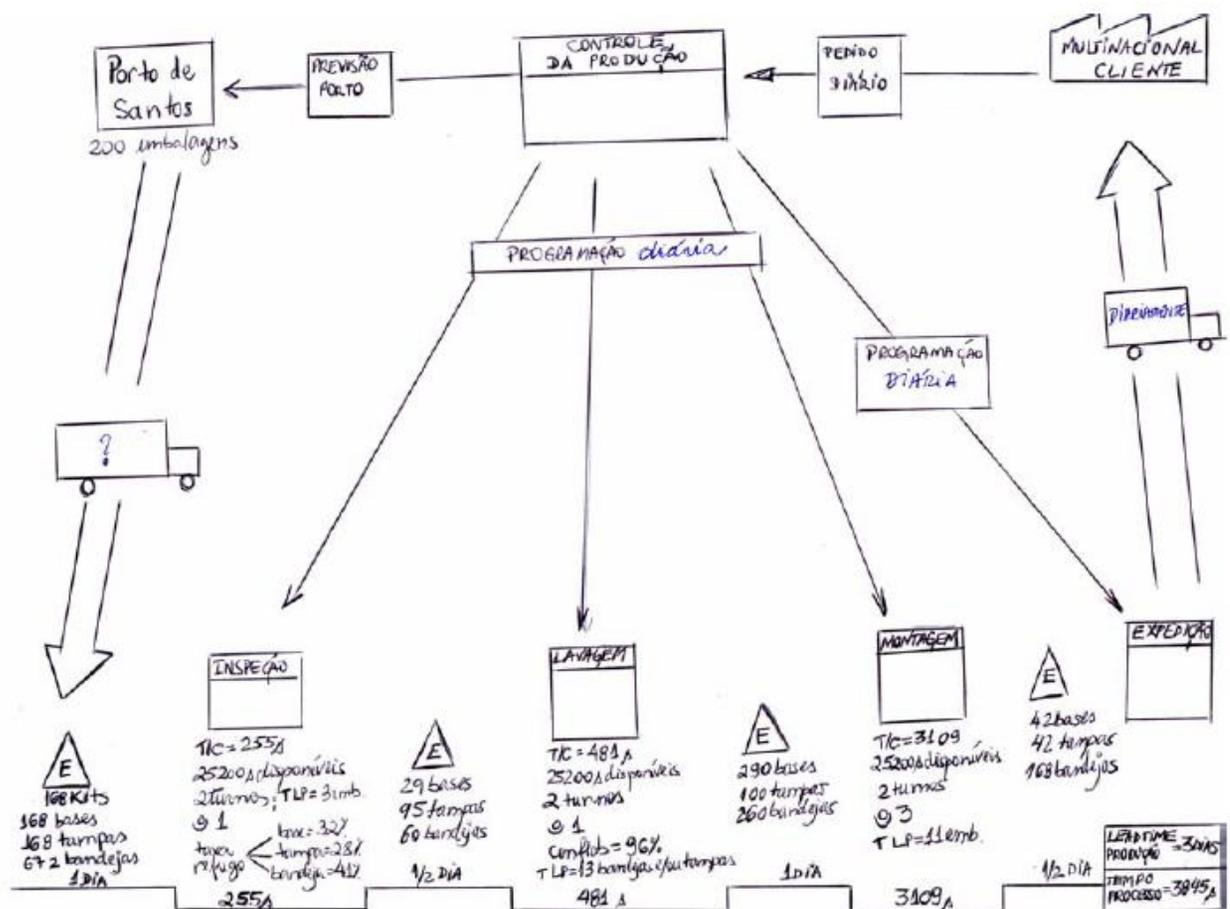


Figura 11 - Exemplo de VSM (MORETTI, 2005, p. 111)

Em geral as ferramentas adotadas pelo modelo enxuto seguem a ideia de se realizar pequenas melhorias, de forma contínua e incremental (WOMACK, JONES, 2003, p. 23), através de pequenas equipes lideradas. No Japão o termo *kaizen*, que significa boa mudança, é usado para representar essa prática (MANN, 2005, p. 194).

Uma das ferramentas enxuta mais difundidas é o 5S, que estabelece um conjunto de regras que se destinam a redução de desperdícios (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 456) através de ações simples. Cada “S” representa a inicial de um termo em japonês o qual representa um passo ou uma regra. Os termos são (WOMACK, JONES, 2003, p. 348):

- I. *Seiri*: separe os materiais de trabalho necessários e elimine o que é desnecessário;
- II. *Seiton*: organize o material de forma identificada e de acordo com o uso;
- III. *Seiso*: realize a limpeza dos materiais e da área de trabalho;
- IV. *Seiketsu*: realize frequentemente os passos anteriores;
- V. *Shitsuke*: crie o hábito e o compromisso de manter os padrões.

Deve-se ressaltar que alguns autores propõem diferentes significados para alguns dos termos, embora o propósito geral do 5S seja mantido. Vanti (1999 apud CABEÇA, SILVA, 2010, p. 4), por exemplo, afirma que o quarto “S” estabelece o senso de saúde.

Outra prática que busca a redução de desperdícios é o trabalho padronizado. Ele é designado para sistematizar a forma com que uma peça deve ser processada, tanto em termos das ações humanas quanto do funcionamento de máquinas (CABEÇA, SILVA, 2010, p. 5). Ele tem o intuito de mostrar como deve ser realizado o trabalho em cada etapa, da melhor forma possível para que seja realizado dessa forma todas às vezes (WOMACK, JONES, 2003, p. 113). Sua aplicação é válida não apenas para operações de produção, mas também para processos em qualquer outra área.

Com relação às ações humanas, o *lean* verifica que algumas delas podem ser transferidas para a máquina para que assim sejam detectadas, automaticamente, as anomalias de processo, o que é conhecido como autonomia ou *jidoka* em japonês (WOMACK, JONES, 2003, p. 347; PETITQUEUX, 2006, p. 4). Assim para prevenir erros em processos podem ser incorporados dispositivos à prova de erro ou procedimentos de prevenção, conhecidos como *poka-yoke* (WOMACK, JONES, 2003, p. 350), cuja origem vem de *yokeru* e *poka*, que significam em português, respectivamente, prevenir e erros de desatenção (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 609).

Para conferir maior qualidade em seus processos e produtos, a Toyota implementou medidas em suas operações de produção/montagem como a parada completa na linha quando se verificasse problemas em que o operador não conseguisse corrigir. Assim a causa raiz do problema seria estudada para que se encontrasse uma solução e ela nunca mais se repita (WOMACK, JONES, ROOS, 2004, p. 46). Para que se encontre a causa raiz, um método que pode ser usado chama-se “Os Cinco Porquês”. Nele se questiona “por que” para a primeira causa encontrada do problema, depois se questiona a causa dessa causa, repetindo-se esse procedimento até o quinto questionamento. Através de práticas como essa, a Toyota conseguiu reduzir substancialmente as operações de reparo (WOMACK, JONES, ROOS, 2004, p. 46).

Um aspecto fundamental da manufatura enxuta é a redução do tamanho do lote de produção em direção do lote unitário através da melhoria contínua. Essa medida faz com que o material recém-processado avance para o processo seguinte sem ter que esperar o restante do lote ser processado, o que reduz muito o *lead-time*.

Na prática, não se deve reduzir o tamanho lote sem que se eliminem as restrições a ele, sendo que o tempo de *setup* é uma das maiores restrições para isso. Não é razoável produzir um pequeno volume de produtos para depois fazer um *setup* longo para poder produzir o lote seguinte. Assim reduzir o tempo de *setup* pode trazer flexibilidade e responsividade. Um grupo de técnicas desenvolvidas por Shigeo Shingo (ex-funcionário da Toyota) foi criado para que esse tempo possa ser reduzido para menos de dez minutos, conhecidas como SMED ou *Single Minute Exchange of Die* (WOMACK, JONES, 2003, p. 352).

Outras vantagens da redução do tamanho de lote são a redução de inventário de produtos acabados e em curso, menores descontinuidades no fluxo de produção, evitar sobrecarga sob o pessoal e as máquinas.

Uma prática importante realizada na manufatura enxuta é o balanceamento de produção. Pode-se compreendê-lo como a determinação do “ritmo” exato em que a produção deve ser executada, processo a processo, equilibrando os tempos de ciclo executados por cada operação/máquina para evitar a formação de inventário em processo (WIP, *work-in-process*), com consequente espera de material, falta de suprimento e aumento do *lead-time*. Sendo que o arranjo de produção celular, que agrupa estações de trabalho para famílias de produtos, é uma opção de *layout* com a qual é mais fácil realizar esse balanceamento (WOMACK, JONES, 2003, p. 63). Na manufatura celular, isso é trabalhado ao usar-se um referencial temporal chamado *Takt-Time*, relação entre a demanda em termos de unidades de um produto e o tempo disponível para produzi-lo. As limitações para que a produção “acompanhe” o *Takt-Time* envolvem, usualmente, algumas operações mais demoradas que outras, chamadas de operações gargalo (MANN, 2005, p. 195).

Outras vantagens decorrentes da manufatura celular são menor movimentação, menor transporte e espera de materiais, ciclos de produção menores e melhor controlados, dentre outras.

A mentalidade enxuta coloca que os operadores tenham maior participação nas decisões de processos, na proposição de sugestões de melhoria, enfim ela considera que os operadores devem ter uma cultura de autonomia. Esse conceito é um dos aspectos que sustentam o *Total Productive Maintenance* (TPM) ou Manutenção Produtiva Total, em português. Este é um conjunto de métodos aplicados nas máquinas para que elas possam realizar as tarefas a que são destinadas sem interrupções (WOMACK, JONES, 2003, p. 353), ao promover uma maior eficácia dos equipamentos e também o planejamento da manutenção (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 614). Uma de suas características é envolver os funcionários para que realizem “*atividades rotineiras de manutenção e reparos simples*” (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 462).

2.6.2 ASPECTOS GERAIS

A partir da descrição levantada sobre a mentalidade enxuta, esse item aborda a logística enxuta. Segundo Jones, Hines e Rich (1997, p. 170) a “*logística enxuta decorre da filosofia fundamental do Sistema Toyota de Produção (STP) e se baseia no STP estendido ao longo da cadeia de suprimentos, a partir do cliente e de volta para a extração de matéria-prima*”. A logística enxuta busca uma maior efetividade da logística da cadeia de suprimentos através da cooperação (WANG, LIU, 2010, p. 751). Para Nishida (2008, p. 2), a logística enxuta conta com três elementos fundamentais: tamanhos de lote reduzidos, elevada frequência de entrega e reposição nivelada. Seu objetivo central é operar com baixo nível de inventário, ao mesmo tempo em que a cadência de produção seja mantida constante (CHAUDHARI, 2008, p. 4).

São apontadas algumas características da logística enxuta segundo Zhao e Ning (2009, p. 2): orientação para demanda dos clientes através de um sistema de produção puxada; cumprimento das tarefas a tempo, precisão nos processos e informações logísticas e velocidade de resposta a demanda; alocação de recursos visando redução de custos e aumento da eficiência; integração sistemática no compartilhamento de recursos operacionais, informações e benefícios; presença de um sistema eletrônico para a excelência do fluxo de informações.

Os cinco princípios de implementação do *lean* também podem ser aplicados às atividades logísticas, sendo que o Mapeamento da Cadeia de Valor pode ser aplicado para o diagnóstico de desperdícios, levando a realização de melhorias (JONES, HINES, RICH, 1997, p. 171).

Ao contrário de uma cadeia de suprimentos, em que os fornecimentos são realizados em lotes grandes, com oscilações consideráveis, Nishida (2008, p. 2) defende um sistema puxado em que os membros da cadeia gerem o fluxo de materiais através de lotes pequenos, produção nivelada e em elevada sincronia com a demanda. Esse sistema necessita de mecanismos para que a demanda seja puxada, sendo uma alternativa conhecida a implementação de *kanban*, haja capacidade de nivelamento de produtos, o que é facilitado pela presença de lotes de tamanho reduzido, sendo que o uso de métodos como o SMED pode auxiliar nessa medida através da

redução do tempo de *setup*. Além disso, são defendidas a adoção de *milk-run* no planejamento de rotas para que o nível de inventário seja reduzido assim como a reatividade seja aumentada e de *cross-dock*, para que se reduza o nível de inventário na consolidação de cargas (NISHIDA, 2008, p. 3). Já Zhao e Ning (2009) apresentam um modelo operacional de logística enxuta baseado em RFID.

Como pode ser notado, a logística enxuta tem um grande enfoque na redução de inventário, um dos setes desperdícios segundo a mentalidade enxuta. Apesar disso, outros desperdícios também são fortemente combatidos, como: a espera decorrente do próprio inventário ou da má sincronia entre os processos logísticos da cadeia, o que envolve a demanda.

Wang, Liu (2010) aplicam a logística enxuta para estudar em uma mesma cadeia de suprimentos a relação entre uma empresa fabricante e os vários distribuidores, sendo que a integração é vista através dos ganhos com revenda, custos de integração e os ganhos com sinergia.

Deve-se atentar que o alvo de redução de custos não são apenas os custos logísticos relacionados à transporte ou inventário, mas sim o custo total logístico, ou seja, não se deve realizar uma minimização local nos custos, mas sim global. Dessa forma, um aumento nos custos operacionais da logística junto de uma redução significativa do nível de inventário pode implicar em uma redução global dos custos logísticos (NISHIDA, 2008, p. 4) e até na melhoria dos níveis de serviço. Outra vantagem financeira, resultante de uma logística enxuta, é a redução do capital-de-giro e do próprio capital imobilizado pela cadeia de suprimentos, pois se reduz o montante total de inventário, assim como o tamanho da estrutura física necessária para armazená-los e operá-los em termos de inventário de matéria-prima, em processo e produtos acabados.

De uma forma geral, as ferramentas adotadas dentro da mentalidade enxuta para redução de desperdícios podem ter aplicação estendida para a logística. Porém antes do desenvolvimento da logística enxuta em todos os negócios, é recomendado que sejam selecionados produtos com menor variação de demanda para sua aplicação (NISHIDA, 2008, p. 5). Assim, por exemplo, tanto as atividades logísticas operacionais quanto às administrativas podem ser padronizadas,

gerando menor variabilidade e outros benefícios. Já os 5S podem trazer muitas melhorias relacionadas à simples organização e limpeza, como a redução de tempo gasto para localização de materiais de trabalho, redução de acidentes, melhorar à disposição de materiais de trabalho, reduzindo a movimentação entre atividades, ou mesmo, para o caso de uma empilhadeira, o tempo gasto com manobras e com caminhos obstruídos. Outras possibilidades levantadas são a adoção de TPM, por exemplo, nos caminhões da frota da cadeia, a aplicação de ferramentas enxuta de qualidade como “os cinco porquês” para identificar a causa de problemas de confiabilidade logística ou reduzir atividades de carga e descarga de material através de SMED ou mapeamento de processos.

Uma medida mais estratégica praticada no *lean* é a redução do número de fornecedores, seja pelo estabelecimento de relações a longo prazo com os fornecedores selecionados, seja pela desverticalização das operações de forma a segmentar os fornecedores de acordo com a complexidade dos produtos. Neste último caso, por exemplo, fornecedores de parafuso se relacionam com fornecedores de sistemas de freio, que por sua vez se relacionam com a montadora de veículos, dessa forma a montadora acaba se relacionando diretamente com um menor número de fornecedores. Assim iniciativas como o desenvolvimento de fornecedores podem ocorrer de forma que todos os membros da cadeia compartilhem a cultura enxuta. Com relação à desverticalização, Li, Liu, Xu (2007) propõem um modelo para eliminação de desperdícios baseado no *outsourcing*, através do chamado *Third-party Lean Logistics* (TPLL).

3 TOMADA DE DECISÃO

Peter Drucker (2007, p. 190) afirma: “A *decisão é um julgamento. É uma escolha entre alternativas.*” De acordo com esta perspectiva, deduz-se que como o julgamento faz um juízo de valores baseado em critérios, a decisão também realiza o mesmo procedimento em relação às suas alternativas de decisão. Dessa forma, em um ambiente de negócios, a tomada de decisão reflete diversas características inerentes às entidades envolvidas, desde sua verdadeira missão até o perfil de seus profissionais e o que eles enxergam sobre a empresa (Ibidem, p. 18). Sendo assim os valores de uma empresa, sua estrutura de suporte à decisão, sua estrutura organizacional, sua disponibilidade de capital, a formação de seus funcionários, dentre outros fatores interferem diretamente na forma com que as decisões são tomadas.

Em muitas empresas, a adoção de bases sistemáticas e disponibilidade de recursos adequados para apoiar à tomada de decisão é consideravelmente defasada ou quase inexistente. Nesses casos, é recorrente não haver ou pouco haver:

- Definição de sistemática para tomada de decisão em questões com características que se repetem continuamente;
- Registros de informações que poderiam auxiliar na identificação de padrões, tendências ou eventos de seus diversos processos;
- Elaboração de esquemas, representações gráficas ou modelos simplificados para que se possam visualizar melhor os pontos de decisão levantados;
- Integração de funcionários de diversas áreas para realização de projetos em equipes multidisciplinares;
- Recursos tecnológicos adequados para realização de análise e processamento de informação.

A falta de padronização e o não estabelecimento de uma sistemática para o auxílio à tomada de decisão podem conduzir empresas a decidir apenas sob influência do capital humano que dispõe no momento, assim elas não retêm conhecimento permanentemente, pois são dependentes da experiência e conhecimento de funcionários, que podem sair da organização (WOMACK, JONES, ROOS, 2004), por aposentadoria, demissão ou muitos outros motivos. Outra consequência disso é que decisões que poderiam ser tomadas com métodos que conduzem a alternativas com maior probabilidade de sucesso seriam feitas, na verdade, sob forte influência de experiências individuais, ou mesmo, intuição, o que pode implicar em falta de coerência nos critérios. Além disso, tais circunstâncias podem levar a decisões que negligenciem aspectos importantes e ser influenciadas por muitos vieses (BOUYSSOU et al., 2006, p. 2).

Por outro lado, embora existam métodos de análise de problemas e auxílio à tomada de decisão, para algumas questões ainda não foram desenvolvidas ferramentas para tratativas (DRUCKER, 2007, p. 72) ou não há necessidade de utilizá-las. Este último caso acontece quando não há benefícios que justifiquem os riscos e/ou recursos alocados para tratá-las (nessa categoria se enquadram decisões de importância desprezível) ou porque ela é intuitiva, simples e já se sabe o que decidir, por exemplo, quando se estudou uma decisão semelhante ou idêntica recentemente e se usará a mesma solução. Já para decisões em que não há métodos de apoio que aumentem as chances de sucesso, se compensar que se mobilizem tempo e pessoas para tanto, uma possibilidade promissora de tratativa é reunir pessoas de diferentes áreas, com diferentes pontos de vistas e experiências para que agreguem conhecimento e experiências e busquem um consenso, após exporem o que pensam e o que sabem a respeito.

É evidente que deve haver bom senso e se delegue poder de decisão para funcionários ou grupos de funcionários de acordo com a relevância do assunto tratado para o negócio (WYSOCKI, 2007, p. 266), a capacidade de decisão do funcionário, sua área de atuação, a estrutura de auxílio à decisão que terá a disposição, sendo que a relevância depende em essência dos reais valores e estratégias da empresa. O grau de autonomia concedido aos funcionários é uma importante ferramenta para alterar o perfil das decisões, o grau de motivação e a experiência profissional dos funcionários. Assim, é uma questão tanto de projeto quanto de recursos humanos.

Com relação à participação de mais de um membro da empresa na tomada de decisão, quando se tratam de questões simples e óbvias, pode não haver essa necessidade de envolvimento. Por outro lado, a participação de funcionários da empresa ou até do cliente pode ser necessária em decisões mais complexas (WYSOCKI, 2007, p. 265). Ainda segundo Wysocki (2007, p. 265) existem três tipos de modelo de tomada de decisão com relação à participação de funcionários, os quais apresentam as seguintes denominações e características:

- **Diretivo:** usado geralmente quando a decisão deve ser rápida, as decisões são tomadas por um membro da empresa que concentra a responsabilidade pelo projeto e pelas tarefas. As decisões tomadas por ele podem ocorrer mesmo dentro de uma equipe, o que pode gerar desacordo ou os outros membros da equipe podem não realizar o que foi proposto. Outro inconveniente é que como apenas o responsável pela tomada de decisão pode possuir informações, estas podem ser incorretas ou incompletas. Apesar das desvantagens levantadas, em alguns casos não há possibilidade ou não faz sentido reunir toda uma equipe para que todos deem sua contribuição antes da tomada de decisão.
- **Participativo:** este modelo se baseia na tomada de decisão a partir da participação de todos os membros da equipe. Junto da participação de todos, o comprometimento fica maior, o que fortalece a equipe. Assim é mais provável que os membros do grupo apoiem e se engajem na implementação do que foi decidido. Outra vantagem é que este modelo é melhor em termos políticos para o responsável pela equipe.
- **Consultivo:** os membros da equipe expressam suas ideias e opiniões para o responsável pela equipe, que depois realiza a tomada de decisão. Esse procedimento caracteriza um modelo híbrido entre os dois anteriores, pois na etapa em que recebe a contribuição dos membros da equipe o modelo é o participativo, enquanto na etapa seguinte, a da tomada de decisão, o modelo é diretivo. Ao escolher quais contribuições seguir, o modelo tem efeitos politicamente positivos com os membros cuja contribuição tenha sido adotada. Uma ressalva deve ser feita quanto à natureza participativa deste modelo na primeira etapa devido ao procedimento efetivamente praticado não ser idêntico, pois não há contribuição de todos os membros da equipe simultaneamente gerando reflexões e

divergências de todos para cada contribuição levantada, diferentemente do que acontece no modelo participativo.

A tomada de decisão em um ambiente corporativo pressupõe que há algum agente, representante ou responsável por decidir algo em nome da empresa, ou seja, deve ou deveria tomá-la norteado pelos principais objetivos da entidade. Apesar disso, a falta de comunicação dentro empresa, a não determinação de um planejamento estratégico coerente, o não respeito às estratégias planejadas pela empresa, enfim, a falta de integração da gestão estratégica da empresa com todos os seus setores podem causar um desalinhamento entre o que se planeja para os seus negócios e suas decisões. Logo a coordenação da gestão estratégica da empresa com suas outras áreas é pré-requisito para que suas decisões de negócios reflitam seus verdadeiros objetivos.

Outro aspecto fortemente relevante na tomada de decisão é o comportamento diante do risco. Como qualquer negócio está imerso em um cenário não-determinístico, alguns mais, outros menos, as decisões devem levar em conta a ocorrência de eventos com possibilidade não desprezível de acontecerem. Inclusive para alguns eventos, as informações associadas às alternativas de decisão são completamente conhecidas enquanto para outros não (KUMAR, SURESH, 2009, p. 28). Além disso, a decisão nesse contexto é dependente do grau de aversão e gosto ao risco das pessoas envolvidas nela. Na maioria dos casos, verifica-se que há aversão ao risco quando se trata de ganho de benefícios enquanto há gosto pelo risco quando se trata de perdas (MOUSSEAU, 2009).

Um parâmetro altamente relevante para decisão que também deve ser considerado é o tempo necessário para tomá-la e o tempo disponível para tanto. Em alguns casos, a competição de mercado influencia a não análise de determinados pontos de decisão com o cuidado necessário. Já em situações diferentes, o cuidado que o assunto demanda faz com que o tempo de decisão seja mais longo, como por exemplo, a decisão se uma companhia irá ou não realizar um investimento em um mercado promissor por meio de um empréstimo financeiro que pode levá-la a falência.

Segundo Drucker (2007, p. 41), deve haver um balanço ótimo entre custos e benefícios na tomada de decisão. Em termos gerais, ela tenderá a buscar maior qualidade, maior rapidez, maior

confiabilidade, maior flexibilidade e reduzir custos (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 40). Uma possível perspectiva da busca pela qualidade está associada à satisfação do cliente, definida pela ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005 apud CARPINETTI, 2010, p. 14) como “*grau no qual um conjunto de características inerentes satisfaz a requisitos*”. Por sua vez uma maior rapidez diz respeito a menores tempos de fabricação, prestação de serviços, entrega, desenvolvimento de produto, ou seja, de qualquer processo de negócio. Já a confiabilidade trata da realização da forma como foi designado, dentro do tempo e sem falhas.

Ao almejar maior flexibilidade através de suas decisões, a empresa deseja, de acordo com o CSCMP (2010), “*responder mais rápida e eficientemente às mudanças de cliente e as demandas dos clientes*”. Flexibilidade envolve duas habilidades principais, o alcance (capacidade de atingir diversos estados) e a responsividade, ou seja, a facilidade (em termos de custo, tempo e mudança organizacional) com que se muda (SLACK, 2005, p. 1194). No mesmo artigo de Slack, é dito que o nível e tipo da flexibilidade devem ser determinados pela variedade de produtos, processos e atividades e pela incerteza em que a empresa opera, sempre com o intuito de melhorar sua disponibilidade, produtividade e independência. Então ele propõe que flexibilidade pode ser classificada em cinco tipos:

- a) Produto: habilidade de introduzir novos produtos ou modificar os já existentes;
- b) *Mix*: habilidade de alterar a gama de produtos feitos dentro de um determinado período de tempo;
- c) Volume: habilidade de mudar a quantidade produzida;
- d) Entrega: habilidade de mudar as datas de entrega planejadas e adotadas;
- e) Qualidade: habilidade de alterar os níveis de qualidade previstos dos produtos (o aspecto de flexibilidade menos lembrado pelas empresas).

Entretanto é usual que os funcionários de uma empresa enxerguem flexibilidade de forma limitada em função de sua área de atuação profissional, com foco em aspectos da flexibilidade de acordo com o sistema de produção que adota sua empresa e o segmento que está inserida. Além disso, as empresas têm buscado limitar sua demanda interna e externa para que possam reduzir a necessidade de serem flexíveis, ou seja, restringem os aspectos onde a flexibilidade pode impactar (como a demanda) ao invés de se beneficiarem dela (Ibidem, p. 1193).

Em se tratando de redução de custos, toca-se na medida de negócios mais frequente historicamente. As empresas tendem a avaliar seu desempenho principalmente na dimensão financeira. Neste sentido, o lucro é visto não como um objetivo, mas um requisito (DRUCKER, 2007, p. 22), o que remete as empresas a atentarem a seus custos ao concentrar esforços continuamente para reduzi-los. Além disso, reduzir os custos é a forma mais usada para se diferenciar e obter vantagem estratégica frente às empresas concorrentes.

A partir do que foi exposto inicialmente, as seções deste capítulo abordam diferentes características a respeito da tomada de decisão que são relevantes para esta dissertação: o processo decisório, alternativas para o apoio à decisão e decisões no contexto da cadeia de suprimentos.

3.1 PROCESSO DECISÓRIO

O processo de decisão é descrito de uma forma simplificada por Marques (2009, p. 78), referindo-se a quando um decisor elege a melhor alternativa dentre as possíveis. Entretanto ele destaca a necessidade de haver um conjunto de alternativas factíveis para que o processo seja possível. O que é colocado por Newnan, Eschenbach, Lavelle (2004, p. 6) de maneira diferente, ao afirmar que “... *para haver uma situação de tomada de decisão, deve haver pelo menos duas alternativas disponíveis.*” Segundo Bouyssou et al. (2006, p. 30), o processo de decisão em um dado instante é caracterizado pelos atores participantes do processo, de suas preocupações e de seus recursos.

Drucker (2007), por sua vez, enumera elementos do processo decisório efetivo:

- O entendimento que uma decisão que estabelece uma regra ou um princípio é a única forma de solução de um problema que é genérico;
- A definição das especificações, ou condições de contorno, para que a resposta ao problema as satisfaça;
- Pensar na solução do que satisfará completamente as especificações requeridas antes de tornar a decisão aceitável;
- A ação necessária para que a decisão seja realizada;
- A avaliação do estado atual para testar a validade e efetividade da decisão.

Wysocki (2007, p. 267) descreve o processo de decisão em seis fases:

- I. Definição da situação
- II. Geração da situação de decisão
- III. Ideias para ação
- IV. Plano de ação da decisão
- V. Planejamento da avaliação da decisão
- VI. Avaliação dos resultados e do processo

Outro possível modelo do processo de decisão é apresentado em nove fases (NEWNAN, ESCHENBACH, LAVELLE, 2004, p. 7):

- I. Reconhecimento do problema
- II. Definição do(s) objetivo(s)
- III. Reunião de dados relevantes
- IV. Identificação de alternativas factíveis
- V. Seleção do(s) critério(s) para determinar a melhor alternativa
- VI. Construção de um modelo
- VII. Predição dos resultados e das consequências de cada alternativa
- VIII. Escolha da melhor alternativa
- IX. Fazer auditoria dos resultados

Já Kumar e Suresh (2009, p. 29) indicam seis fases:

- I. Definição do problema
- II. Estabelecimento do(s) critério(s) de decisão
- III. Formulação do modelo
- IV. Geração das alternativas
- V. Avaliação das alternativas
- VI. Implementação e monitoramento

Apesar dos modelos anteriores do processo de decisão apresentarem fases diferentes, a tabela 1 apresenta um quadro onde constam as equivalências entre essas fases:

Tabela 1 - Quadro comparativo entre os diferentes modelos de processo decisório

	Fases									
Newnan, Eschenbach, Lavelle	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Kumar e Suresh	I		III	IV	II	III	V	VI		
Wysocki	I			II	III			IV	V	VI

Pode se verificar no quadro que algumas atividades são realizadas em diferente ordem, de acordo com o modelo, entretanto como afirmam Newnan, Eschenbach, Lavelle (2004, p. 6): “... é comum para tomada de decisão repetir os passos, executá-los fora de ordem e ao mesmo tempo”.

Além disso, verifica-se que o enfoque de cada modelo é diferente. Wysocki (2007, p. 267) destaca o plano de implementação da decisão, o aprendizado e avaliação do processo decisório em seu modelo. Newnan, Eschenbach, Lavelle (2004) descrevem com maior cuidado o estudo do problema e a elaboração/aplicação de modelo para avaliação das alternativas. Já Kumar e Suresh (2009, p. 29) consideram um procedimento em que as alternativas são geradas a partir dos parâmetros da modelagem.

Um conceito importante relacionado ao processo decisório é o de apoio à decisão, o qual pode ser definido como “a atividade da pessoa que, através do uso explícito de modelos, mas não necessariamente formalizado, ajuda obter elementos de resposta às questões colocadas pelos stakeholders em um processo decisório” (ROY, 2005, p. 4). E dessa forma a adoção deste tipo de apoio, através de modelos de decisão estruturados, está sujeita ao peso dos “esforços” envolvidos, em termos de tempo necessário e recursos consumidos (BOUYSSOU et al., 2006, p. 2). O que depende, segundo Kumar e Suresh (2009, p. 28), da importância da decisão, da duração de seu efeito e também do seu grau de dificuldade.

Além disso, pode-se afirmar que o apoio à decisão é baseado em modelos que visam ajudar um agente envolvido em um processo de decisão a obter elementos de resposta às suas perguntas,

a aumentar a coerência entre o seu sistema de valores e suas decisões. Na figura 12 é apresentado um esquema de apoio à decisão de acordo com Mousseau (2009).

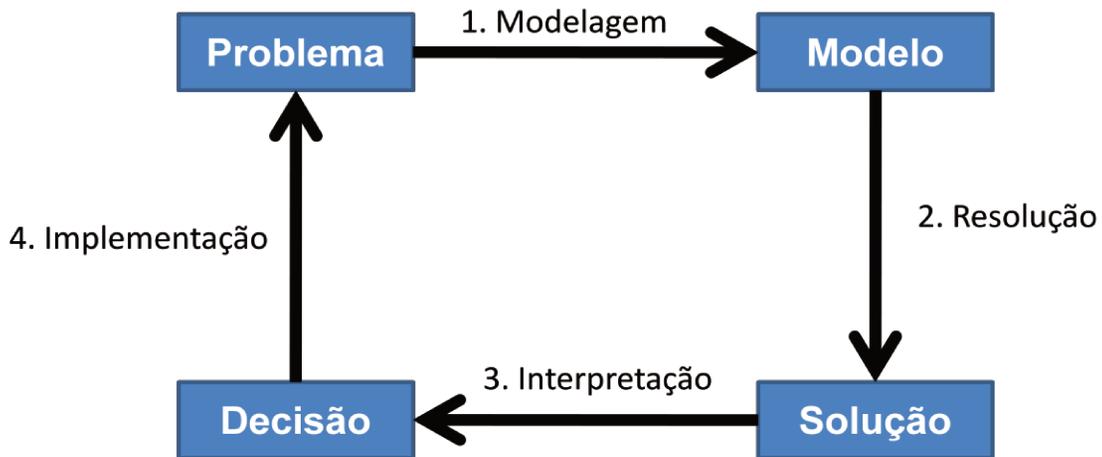


Figura 12 - Esquema de apoio à decisão (MOUSSEAU, 2009)

Na etapa de modelagem é feita uma análise do problema, do campo de decisão, dos agentes envolvidos, frequência e horizonte da decisão, compreensão do sistema de valor, dos objetivos e preferência do responsável pela decisão. Também são feitas traduções de decisões na linguagem formal escolhida (BOUYSSOU et al., 2006, p. 37), definição de variáveis de decisão, definição dos parâmetros (seus domínios e graus de incerteza), enunciado e formalização das restrições que delimitam o domínio de decisão e formalização do(s) critério(s).

Dessa forma, ao tratar o modelo utilizado, é preciso que se reconheçam as principais características observadas do problema explorado. Por exemplo, se o evento ou estado tratado é estático ou está inserido em um processo evolutivo (caso esteja, qual é a razão). Se o evento é globalizado ou localizado, se é real ou virtual, etc.

Já na etapa de resolução, é estabelecido o algoritmo seja heurístico ou exato, depois com a possibilidade de ajuda de *softwares* específicos, *solvers* ou modeladores, é aplicado o algoritmo, construindo-se o resultado. Por fim pode ser feita uma análise de sensibilidade ou robustez (MADEIRA, 2010, p. 60; MARQUES, 2009, p. 98).

Em se tratando da interpretação, são efetuadas recomendações (BOUYSSOU et al., 2006, p. 44) com base nos resultados obtidos, seguidas de apresentação aos envolvidos no processo.

Então na etapa final, são implementadas as recomendações. Posteriormente devem-se monitorar seus impactos, realizar ações corretivas, efetuar validação (BOUYSSOU et al., 2006, p. 42) e identificação de eventuais novos problemas.

Para que o apoio à tomada de decisão possa ser executado adequadamente, é importante que haja um sistema de suporte à decisão, o qual está mais relacionado ao suporte sistemático de métodos e recursos tecnológicos durante o processo decisório. Para Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 227):

Um sistema de suporte à decisão é aquele que fornece informação com o objetivo direto de adicionar ou apoiar o processo decisório gerencial. Consegue isso estocando informação importante, processando-a e apresentando-a de forma que possa contribuir para a decisão a ser tomada.

Dentro dessa proposta, esse tipo de sistema se concentra em compreender as características das decisões e suas consequências, especialmente na decisão financeira. Ressalta-se que não é o sistema que decide.

Segundo Kumar e Suresh (2009, p. 35):

Sistema de apoio à decisão (DSS) é um sistema baseado em computador projetado para auxiliar os tomadores de decisão de qualquer fase do processo de decisão no desenvolvimento de alternativas e avaliação de possível curso de ação. Sua finalidade é fornecer a informação e apoio analítico que permite aos gestores a melhor controlar e orientar o processo de decisão.

3.2 ALTERNATIVAS PARA O APOIO À DECISÃO

Esta seção considera o estudo de alternativas cuja finalidade seja apoiar à tomada de decisão. Dessa forma, são apresentadas na continuação da seção 3.2, primeiramente uma recomendação dos métodos quantitativos mais adequados segundo grau de incerteza e risco envolvidos, seguida de alternativas para o apoio à tomada de decisão: apoio multicritério, engenharia econômica, gestão de desempenho, *benchmarking*.

3.2.1 INCERTEZA E RISCO

Para que a modelagem de uma dada situação de decisão seja realizada com os métodos analíticos mais adequados, é importante que se considerem a disponibilidade e o tipo de informação (KUMAR, SURESH, 2009, p. 30). O grau de incerteza associado com as variáveis de decisão e as características dos possíveis resultados, sejam elas potencialmente benéficas ou prejudiciais aos interessados, são influências à seleção de certos métodos quantitativos (KUMAR, SURESH, 2009, p. 30). Assim grau de risco e incerteza são fatores determinantes na escolha de métodos quantitativos. Nesse sentido, são listados a seguir os possíveis cenários de decisão e alguns métodos de auxílio à decisão indicados de acordo com Kumar e Suresh (2009, cap. 2).

3.2.1.1 CENÁRIO INTEIRAMENTE CONHECIDO

São conhecidos ou supõe-se conhecer todas as informações que influenciam a decisão, relacionadas às variáveis de decisões, restrições, consequências. Trata-se de um cenário completamente conhecido, ou seja, em condições de certeza absoluta. Nesse caso, recomenda-se então o uso de:

- Álgebra - produto da lógica e da linguagem matemática - é útil tanto para cenários certos quanto para análise de incertezas. A sua aplicação depende da elaboração de hipóteses adequadas, para que assim se chegue a soluções deterministas como as análises custo-benefício;
- Cálculo - é uma importante área da matemática com destaque para o estudo de valores ótimos, seja por maximização ou minimização como, por exemplo, a possibilidade de se minimizar os custos relacionados à aquisição de um certo componente;
- Programação matemática - pode ser de vários tipos, como programação linear, não-linear, inteira, dinâmica, multiobjetivo. Suas técnicas têm encontrado aplicações em problemas de transporte, definição de redes de produção e distribuição, estabelecimento de suas capacidades, programação e planejamento de produção.

Comumente usada em atividades de planejamento da produção (VANDERBEI, 2008, p. 3), a programação matemática busca determinar as variáveis de decisão que conduzem um dado problema a uma solução ótima. Como já foi dito, existem várias tipos de programação matemática, sendo que neste trabalho é dada maior ênfase a programação linear, a qual é descrita a seguir.

A programação linear é uma forma de programação destinada a tratar um modelo composto apenas de equações lineares (VANDERBEI, 2008, p. 3). Segundo Denardo (2011, p. 10): “*Um programa linear é um problema de otimização que se enquadra em um formato particular: uma expressão linear é maximizada ou minimizada sujeita a um número finito de restrições lineares.*” Logo, por se tratar de um problema de complexidade reduzida, se comparado, por exemplo, com a programação não-linear, sua solução é menos complexa, a exigência computacional é menor e existem diversos *softwares* capazes de tratar esse tipo de problema.

Um modelo matemático próprio para o uso da programação linear restrita caracteriza-se pela presença de (VANDERBEI, 2008, p. 6):

- variáveis de decisão (só assumem valores reais):

$$x_s, \forall s \in \mathbb{N}^* | s \leq m \quad (1)$$

onde “ m ” é o número de variáveis de decisão.

- função objetiva, que é uma função matemática linear que se busca maximizar ou minimizar,:

$$\text{Min/Max } f(x_s) = \sum_{s=1}^m l_s x_s \quad (2)$$

- sistema de restrições (sistema de equações/inequações lineares que restringem o espaço de trabalho):

$$\sum_{s=1}^m h_{i,q,s} x_s \geq b_q, \quad \forall q \in \mathbb{N}^* | q \leq ki \quad (3)$$

$$\sum_{s=1}^m h_{e,r,s} x_s = b_r, \quad \forall r \in \mathbb{N}^* | r \leq ke \quad (4)$$

$$x_s \geq 0, \quad \forall s \in \mathbb{N}^* | s \leq m \quad (5)$$

Onde “ ki ” é o número de inequações de restrição e “ ke ” é o número de equações de restrição.

Durante a modelagem desse tipo de problema, na etapa de definição das variáveis de decisão, é preciso identificar elementos cujos valores não sejam fixos e sejam suficientes para exprimir a função objetivo e as restrições do problema de decisão. Kumar e Suresh (2009, p. 262) definem variáveis de decisão como “*Um parâmetro controlável, numérico, que, se modificado, produz uma variedade de resultados*”.

Já na etapa de definição das restrições e da função objetivo, é importante que se estabeleçam as restrições de não-negatividade das variáveis de decisão (DENARDO, 2011, p. 4),

se respeitem também a linearidade matemática. Pode ser notado que a influência de cada variável de decisão nas funções depende apenas do seu próprio valor e de um coeficiente próprio fixo, logo ela contribui independentemente do valor de outras variáveis na função objetivo.

As possíveis soluções de um problema de programação linear se encontram no espaço admissível que contém todos os pontos, $S \subset \mathbb{R}^m$, que satisfazem as restrições. Sendo que toda solução admissível, $X \in S$, e a solução ótima, $X^* \in S$, se encontram no espaço admissível.

Com relação aos tipos de solução de um modelo de programação linear, podem existir quatro tipos (DENARDO, 2011, p. 8):

- solução única – quando há apenas uma solução ótima;
- solução não-única – quando há mais de uma solução, seja um quantidade finita de soluções (um conjunto de pontos), sejam infinitas soluções;
- solução ilimitada – não há uma solução ótima definida pois sempre haverá uma solução que traga um melhor resultado para a função objetiva;
- sem solução admissível – não há solução possível que satisfaça as restrições do modelo.

Para alguns problemas é mais conveniente trabalhar com variáveis de decisão inteiras, assim nesses casos se estabelece a restrição de que todas as variáveis de decisão são números inteiros, o que caracteriza um problema de **programação inteira** (DENARDO, 2011, p. 11).

Um método conhecido e simples de se resolver modelos de programação linear é o Simplex (DANTZIG, ORDEM, WOLFE, 1955). Nele, brevemente descrevendo, inicia-se a resolução adotando uma solução básica admissível, depois se passa a adotar soluções básicas admissíveis melhores, até que a solução atual não seja melhor que nenhuma solução básica adjacente existente. Isso é feito utilizando a ideia de custo marginal, coeficientes da função objetivo quando ela está expressa apenas em função das variáveis não básicas, para que se determinem as novas

variáveis básicas e operações matriciais básicas, a fim de que se manipule o sistema de equações (DENARDO, 2011, p. 125).

Uma alternativa ao método Simplex e suas variações é o método dos Pontos Interiores (KARMAKAR, 1984), o qual pode ser aplicado a resolução de problemas de programação linear e de programação não-linear. Destaca-se que este método faz uso de variáveis de folga em restrições originalmente de desigualdade, além de adicionar uma “penalidade” à função objetivo através de uma função conhecida como barreira logarítmica.

3.2.1.2 CENÁRIO INCERTO

Nessa situação são desconhecidas as probabilidades de ocorrência de determinados eventos em função dos diferentes estado da natureza. Quatro critérios de decisão possíveis são MaxMin, MaxMax, Laplace, e MinMax regret.

Uma formalização desses critérios, baseando-se em Mousseau (2009), é dada por:

$\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_e\}$: os “e” estados naturais.

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_s\}$: as “s” decisões consideradas.

$rd(a_k, \theta_h)$: o resultado da decisão “ a_k ” caso o estado da natureza “ θ_h ” aconteça.

Exemplificando através da matriz de resultados da figura 13 (MOUSSEAU, 2009) em que os resultados de decisão são os números apresentados para cada elemento da matriz:

	a₁	a₂	a₃
θ₁	2	5	6
θ₂	10	9	8
θ₃	4	5	6

Figura 13 - Matriz de resultados

- Laplace - ao considerar todos estados da natureza equiprováveis, seleciona a alternativa com a maior média aritmética ou maior somatória dos resultados de decisão. Pode ser visto como uma análise da esperança matemática para cenários equiprováveis;

$$Max_{(a_k \in A)} \{ \sum_{h=1}^e rd(a_k, \theta_h) \} \quad (6)$$

	a₁	a₂	a₃
θ₁	2	5	6
θ₂	10	9	8
θ₃	4	5	6
	16	19	20

Figura 14 - Matriz de resultados pelo critério de Laplace

Portanto, escolhe-se a_3 .

- MinMax regret - também conhecido como Critério de Savage, determina o pior resultado relativo para cada alternativa em cada cenário e escolhe a alternativa com o melhor dentre os piores cenários relativos de cada alternativa. Com essa abordagem, seleciona-se a alternativa cujo pior desempenho comparativo é o melhor dentre as alternativas.

$$Min_{(a_k \in A)} \{ Max_{[\theta_h \in (1, \dots, e)]} \{ [Max_{[a_{kc} \in A]} rd(a_{kc}, \theta_h)] - rd(a_k, \theta_h) \} \} \quad (7)$$

Resultados			
	a_1	a_2	a_3
θ_1	2	5	6
θ_2	10	9	8
θ_3	4	5	6

→

Resultados relativos			
	a_1	a_2	a_3
θ_1	4	1	0
θ_2	0	1	2
θ_3	2	1	0
	4	1	2

Figura 15 - Matriz de resultados pelo critério de Savage

Portanto, escolhe-se a_2 .

- MaxMin - também conhecido como Critério de Wald ou Critério da Prudência - é um critério pessimista, pois analisa cada alternativa na situação em que seu desempenho é o pior possível. Assim após determinar o pior resultado possível para cada alternativa, seleciona-se a alternativa que tem o “melhor pior desempenho”. Apesar da realidade não ser necessariamente a pior possível, o critério busca que se garanta um desempenho mínimo.

$$Max_{(a_k \in A)} \{ Min_{[\theta_h \in (1, \dots, e)]} rd(a_k, \theta_h) \} \quad (8)$$

	a_1	a_2	a_3
θ_1	2	5	6
θ_2	10	9	8
θ_3	4	5	6
	2	5	6

Figura 16 - Matriz de resultados pelo critério de Wald

Portanto, escolhe-se a_3 .

- MaxMax - é uma abordagem notadamente otimista, pois considera os resultados na melhor situação possível. Assim a melhor alternativa considerada é aquela com melhor desempenho na melhor das situações.

$$Max_{(a_k \in A)} \{Max_{[\theta_h \in (1, \dots, e)]} rd(a_f, \theta_h)\} \quad (9)$$

	a₁	a₂	a₃
θ₁	2	5	6
θ₂	10	9	8
θ₃	4	5	6
	10	9	8

Figura 17 - Matriz de resultados pelo critério de MaxMax

Portanto, escolhe-se a_1 .

3.2.1.3 CENÁRIO COM RISCOS

Quando cada estado da natureza tem a sua probabilidade de ocorrência conhecida, configura-se um caso intermediário entre a certeza e a incerteza, encontra-se a situação de risco. Nesse tipo de situação o critério do valor esperado é uma abordagem muito utilizada.

Para o cálculo do valor esperado, multiplica-se o valor de cada estado da natureza para cada alternativa por sua probabilidade de ocorrência, sendo que a soma de todas as probabilidades previstas para uma alternativa deve resultar em 100%, pois os estados da natureza são mutuamente exclusivos. Em seguida devem-se somar os valores calculados para cada alternativa. Por fim seleciona-se a alternativa que apresentar o maior ou menor valor esperado, de acordo com a necessidade. Como destaca Newnan, Eschenbach e Lavelle (2004, p. 313) o valor esperado é o cálculo de uma média ponderada pela probabilidade de ocorrência.

Quando em uma matriz de resultados, como a que foi mostrada anteriormente (figura 13), os estados da natureza têm seu valor de probabilidade conhecido, pode ser considerado o critério de decisão do valor esperado v . Em uma decisão financeira, por exemplo, pode ser utilizada a denominação valor esperado de ganho, ou esperança matemática de ganho.

Assim pela notação definida nas expressões dos estados da natureza e das decisões consideradas:

$p(\theta_h/a_k)$: probabilidade do evento θ_h ocorrer dado que se tenha tomado a decisão a_k .

$$v = \text{Max/Min}_{(a_k \in A)} \{ \sum_{h=1}^e p(\theta_h/a_k) \cdot rd(a_k, \theta_h) \} \quad (10)$$

Além disso, o valor esperado do ganho com a informação original, v_o , é a esperança matemática da política ótima, determinada sem informações adicionais (MOUSSEAU, 2009). Para v_a o valor esperado do ganho com informações adicionais (sem levar em conta o custo de aquisição desta informação), e v_p o valor esperado do ganho com a informação perfeita (é informado qual estado da natureza efetivamente ocorrerá), é possível determinar a eficiência da informação adicional, γ , para fins de análise do investimento na informação adicional.

$$\gamma = \frac{v_a - v_o}{v_p - v_o} \quad (11)$$

O critério do valor esperado pode ser modelado junto de outras abordagens, sendo uma delas a árvore de decisão como indica Newnan, Eschenbach e Lavelle (2004, p. 317) ou com a Teoria da Utilidade (MOUSSEAU, 2009).

3.2.1.4 CENÁRIO INCERTO E COM RISCOS

Quando as informações sobre os resultados e as variáveis de decisão são probabilísticas, é reconhecido um cenário de risco e incerteza. As abordagens recomendados são:

- Análise estatística - seja pela análise de dados históricos e atuais e/ou tentativa de previsão de situações futuras como nos estudos de previsão de demanda, através do uso de probabilidade e distribuição de probabilidade, teoria de decisão, análise de variância, estimativas e testes de hipótese, estatística bayesiana, técnicas de correlação e regressão;
- “*Modelos baseados em inteligência artificial - sistema multi-agentes, programação linear fuzzy, programação multi-objetivo fuzzy, programação objetivo fuzzy, números fuzzy, reforço de aprendizagem, programação evolutiva e algoritmo genético*” (PEIDRO, et al., 2009, p. 402);
- Métodos Heurísticos - envolvem um conjunto de regras e algoritmos exploratórios que facilitam soluções e implicam na busca da solução mais próxima possível da ideal. São largamente utilizados em problemas de *layout*, programação e problemas de distribuição;
- Simulação - busca replicar ou reproduzir um processo ou operação real. Em análise de resultados de investimento, comportamento de processos de produção, atividades de planejamento e manutenção é uma ferramenta de grande aplicação;
- Técnicas de análise de rede - baseada na análise de redes em geral - são úteis na identificação de ações de curso alternativo e controle de atividades de projeto. Como ferramentas de análise, destacam-se os métodos PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) e CPM (*Critical Path Method*), além de árvores de decisão;
- Teoria da Utilidade - também conhecida como Teoria da Preferência. Baseada em um conjunto de axiomas, permite que os responsáveis pela tomada de decisão avaliem alternativas de decisão levando em consideração suas preferências incorporadas em uma estrutura relativamente formalizada;
- Teoria das Filas - conhecida também como Teoria do Enfileiramento, estuda parâmetros ligados a espera e taxas de movimentação. Tem aplicações em diversos problemas de

análise de fluxos como na análise de controle de processos de produção, atividades de manutenção, sistemas de prestação de serviço, problemas de escalonamento;

- “*Modelos híbridos - programação linear e simulação, modelo de controle preditivo (model predictive control - MPC), programação dinâmica estocástica, programação linear inteira mista (mixed integer linear programming - MILP) e simulação de eventos discretos, algoritmo genético e simulação, MILP e dinâmica de sistema*” (PEIDRO, et al., 2009 p. 402);

3.2.1.5 CENÁRIO DE EXTREMA INCERTEZA

Quando não há informações para que se possa avaliar a probabilidade dos possíveis resultados envolvendo uma decisão, caracteriza-se um cenário de extrema incerteza.

Uma possível aplicação para esse tipo de cenário é a Teoria dos Jogos que, a partir do estudo das estratégias de jogadores em busca de melhores resultados, é uma abordagem quando não há indícios das configurações futuras.

Os próximos itens desta seção tratam algumas alternativas usadas para o apoio à tomada decisão.

3.2.2 APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

O apoio à tomada de decisão pode se basear em apenas um critério, análise monocritério, ou em mais de um critério, análise multicritério. Segundo Bernard Roy (2005, p. 6), ao considerar apenas um critério, certos aspectos presentes em uma situação real podem ser desconsiderados. Ele afirma que em uma análise de decisão, é raro um decisor ter em mente apenas um critério de

forma clara. Por outro lado, uma perspectiva multicritério pode prover uma avaliação mais ampla das alternativas estudadas. Aspectos como finanças, qualidade, meio ambiente, impacto social podem estar contidos no conjunto de critérios considerados. “*Em muitos problemas do mundo real, os tomadores de decisão gostam de perseguir mais de um objetivo ou considerar mais de um fator ou medida*” (FARAHANI, STEADIESEIFI, ASGARI, 2010, p. 1690).

Também conhecido como *multicriteria decision aiding* (MCDA), o apoio multicritério à decisão (AMCD) auxilia a tomada de decisões ao se considerar a influência de mais de um critério. Além disso, seus modelos incorporam, em maior grau, valores de seus decisores nas avaliações (MARQUES, 2009, p. 81). Suas aplicações têm se encontrado em problemas complexos de engenharia, administração e outras áreas (BEHZADIAN et al., 2010, p. 198).

O AMCD assume a subjetividade dos valores humanos ao reconhecer o juízo de valores. Portanto atua também em situações onde há critérios conflitantes e reconhece que pode haver incertezas nas informações. Ao que diz respeito às decisões envolvendo mais de um decisor, esse tipo de abordagem é capaz de combinar diferentes preferências em seu modelo para então estabelecer prioridades (ALENCAR, ALMEIDA, 2011, p. 610; MARQUES, 2009, p. 81) e selecionar as alternativas com as melhores relações de compromisso (BEHZADIAN et al., 2010, p. 198).

Então são apresentados três atores envolvidos no processo de decisão, o decisor, o analista e o facilitador (GOMES, GOMES, ALMEIDA, 2009 apud MADEIRA, 2010, p. 47). O primeiro é a pessoa ou grupo de pessoas cujos valores devem ser considerados e que tem a responsabilidade de realizar a tomada de decisão final. O segundo ator é o responsável pelo apoio à tomada de decisão desde executar a formulação e avaliar as alternativas segundo o modelo explícito, até ajudar os outros atores a interpretarem o problema e as consequências das alternativas. Já o outro ator é o responsável por orientar e modelar o processo de avaliação e/ou negociação, mantendo-se imparcial com relação às alternativas de decisão. Cabe a ele conduzir as preferências do decisor, concentrando-se na busca pela resolução do problema.

Uma possível classificação da problemática de ajuda à tomada decisão sob a perspectiva multicritério diz respeito ao seu objetivo principal, conforme é apresentado a seguir (ROY, 2005):

- **P. α** : Escolher, dentre um conjunto de ações, a melhor ação (ou um pequeno subconjunto das melhores ações);
- **P. β** : Organizar as ações de melhor para o pior (a classificação pode ser completa ou não);
- **P. γ** : Atribuir ações às categorias pré-definidas;
- **P. δ** : Elaborar um conjunto adequado de ações potenciais sem pedir a elaboração de qualquer prescrição ou recomendação.

Outros conceitos importantes em análises multicritério são apresentados. Dessa forma, é discutida a noção de critério, pois toda alternativa pode ser caracterizada pela existência de “pontos de vista” sobre as suas consequências, assim um critério busca comparar atributos, sendo que em alguns casos as comparações podem ser efetuadas de forma direta (MOUSSEAU, 2009).

Seja A o conjunto das alternativas a_1, a_2, \dots, a_s e F o conjunto dos “ n ” pontos de vista (ÖZTÜRK, TSOUKIÀS, VINCKE, 2005, p. 28). Seja critério uma função g avaliada entre os reais e definida em A , a qual permite determinar o resultado da comparação entre um par de alternativas relativamente a um eixo de significação (MOUSSEAU, 2009). Com essa notação $g_i(a_k)$ corresponde a avaliação da alternativa a_k do ponto de vista $i \in F$ (ÖZTÜRK, TSOUKIÀS, VINCKE, 2005, p. 29).

Um conjunto de critérios deve manter a coerência entre todos critérios designados para avaliar as alternativas de decisão. Para que isso se ocorra, deve-se construir uma família de critérios F que transcrevam os aspectos julgados pertinentes para a decisão envolvida. Sendo que a família de critérios deve satisfazer três axiomas (MADEIRA, 2010, p. 50; GRECO, MOUSSEAU, SŁOWINSKI, 2008, p. 417):

- **Axioma da Exaustividade:** verifica que todos os atributos associados ao problema são representados exaustivamente por todos os critérios estabelecidos. Neste caso, duas alternativas que apresentem o mesmo vetor de atributos devem ter relação de indiferença (MOUSSEAU, 2009).
- **Axioma da Coesão:** verifica se há uma coerência mínima entre as preferências referentes a cada critério e às preferências globais (MOUSSEAU, 2009).
- **Axioma da não redundância:** verifica se cada um dos critérios estabelecidos não é redundante, utilizando os dois axiomas anteriores.

A escala com que a avaliação de um critério é realizada pode ser de dois tipos principais (ROY, 2005, p. 9):

- a) Puramente ordinal: também conhecida como escala qualitativa, é caracterizada por não ser possível estabelecer um significado claro entre duas referências ao que diz respeito à diferença de preferência. Pode ser verbal ou numérico.
- b) Quantitativa: também conhecida como escala cardinal, em que os graus são definidos por uma quantidade concreta associada à existência de uma unidade.

Então, tratando-se outro aspecto básico de AMCD, é descrito o princípio de dominância. Quando há unanimidade de avaliação em favor de uma dentre duas alternativas para todos os critérios, configura-se uma relação de dominância (MARQUES, 2009, p. 83). Então para duas ações $a_1, a_2 \in A$, a_1 domina a_2 se e somente se (MOUSSEAU, 2009):

$$g_i(a_1) \geq g_i(a_2), \quad \forall i \in F \quad (12)$$

Porém também é possível que se estabeleçam relações binárias de comparação entre as alternativas a partir de modelos de preferência. Quando há preferência por uma alternativa em relação à outra, caracteriza-se a relação de preferência (P), enquanto, por outro lado, pode haver

relação de indiferença (I) entre alternativas (ÖZTÜRK, TSOUKIÀS, VINCKE, 2005, p. 40). Além dessas relações comparativas, existe também a incomparabilidade e a possibilidade de se classificar o nível preferência por sua intensidade, como fraco ou estrito.

As relações binárias de preferência podem compor estruturas de preferência, as quais envolvem uma partição do espaço definido em $A \times A$. Algumas estruturas são:

- I. Ordem total: as alternativas podem ser classificadas da melhor para a pior, sem que haja empate por similaridade;
- II. Pré-ordem total: as alternativas podem ser classificadas da melhor para a pior, podendo haver empate por similaridade, sendo que a equivalência se enquadra em uma relação de indiferença;
- III. Quase-ordem: a fronteira da relação de indiferença e preferência é definida por um limiar;
- IV. Ordem intervalar: há um limiar variável que separa os limites entre a relação de indiferença e preferência;
- V. Pseudo-ordem: existência de um limiar para a relação de indiferença e outro para a relação de preferência, sendo que pode haver uma região, denominada de preferência fraca, em que não há uma preferência estrita nem se pode caracterizar indiferença.

Quando há relações de incomparabilidade, essas estruturas são ditas parciais (ÖZTÜRK, TSOUKIÀS, VINCKE, 2005, p. 44).

Ao que concernem os métodos AMCD existentes, estes podem ser divididos em três grupos: de sobreclassificação, de critério único de síntese e outros métodos (MADEIRA, 2010). A seguir é feita uma descrição de cada um desses grupos.

3.2.2.1 MÉTODOS DE SOBRECLASSIFICAÇÃO

Esse grupo de métodos foi originado através da chamada escola francesa. Ele faz comparações entre todos os pares de alternativas definidas, de forma que se possa estabelecer relação de sobreclassificação, também chamada de relação de superação (MADEIRA, 2010, p. 38) entre um dado par de alternativas. Essa relação determina que uma alternativa sobreclassifica a outra quando é pelo menos tão boa ou desejável quanto a outra. Um ponto de destaque referente às relações de comparação entre as alternativas, é que tais métodos admitem a possibilidade de haver incomparabilidade. Os dois métodos mais difundidos dentre os métodos de sobreclassificação são o PROMETHEE e o ELECTRE.

A família de método PROMETHEE, cuja nomenclatura completa vem de *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*, é original da escola francesa de métodos de apoio multicritério à decisão. Baseando-se na sobreclassificação das alternativas (ou candidatos) de decisão, o PROMETHEE demanda que se agreguem informações adicionais referente às alternativas e os critérios. Assim ele realiza ordenação das alternativas através da avaliação de seus fluxos de sobreclassificação. O método PROMETHEE I permite que haja relações de incomparabilidade enquanto a versão II não tem esta possibilidade (MADEIRA, 2010, p. 39). Já as versões III e IV têm aplicação para problemas de maior complexidade, com ordenação por intervalos e com uso da versão II no domínio contínuo (BRANS, MARESCHAL, 1992 apud BEHZADIAN et al., 2010, p. 199). O PROMETHEE V, por sua vez, impõe restrições após a realização do PROMETHEE II. Particularmente, em sua sexta variação, o método faz com que os coeficientes de ponderação dos critérios estejam contidos em intervalos, baseando-se no princípio de que a preferência por alguns critérios não pode ser traduzida com precisão (BRANS, MARESCHAL, 2005, p. 181).

A aplicação dos métodos PROMETHEE tem se disseminado em diversas áreas como mostra um estudo recente de Behzadian et al. (2010), onde foram verificadas publicações em, respectivamente da área mais recorrente para a menos recorrente, gestão ambiental, gestão de

negócios e gestão financeira, hidrologia e gestão de recursos hídricos, química, logística e transporte, gestão energética, manufatura e montagem, aspectos sociais.

Já o *Elimination Et Choix Traduisant la Réalité* (ELECTRE) que, traduzido do francês significa Eliminação e Escolha Traduzindo a Realidade, é um método que estabelece relações de superação (MADEIRA, 2010, p. 38) a partir do conceito de concordância e discordância, considerando-se os coeficientes de ponderação dos critérios (BOUYSSOU et al., 2006, p. 150). O ELECTRE I seleciona um conjunto de alternativas satisfatórias, enquanto o ELECTRE II realiza uma ordenação da melhor para pior alternativa. As versões III e IV do ELECTRE também realizam ordenação, embora no primeiro caso haja uso do conceito de credibilidade e, no outro, não é necessário que especifiquem os valores dos coeficientes de ponderação (FIGUEIRA et al., 2010). Além desses, também destacam-se a versão TRI, que classifica as alternativas em categorias, a versão IS, que faz uma seleção semelhante à versão I, porém incorpora limites de tolerância na determinação das relações de preferência (faz uso de pseudo-critério).

3.2.2.2 MÉTODOS DE CRITÉRIO ÚNICO DE SÍNTESE

Originado na escola americana (MADEIRA, 2010, p. 37), este grupo de métodos sintetiza a avaliação de uma alternativa com relação a diversos pontos de vista em apenas um valor numérico (ROY, 2005, p. 15) através de uma função de agregação. Esses valores, conseqüentemente as alternativas que eles avaliam, podem ser ordenados do melhor para o pior, baseando-se no conceito de transitividade. A análise das alternativas ocorre apenas a partir da agregação que pode ser realizada por uma função de utilidade ou de valor (usualmente aditiva) a ser otimizada. Alguns dos métodos mais conhecidos pertencentes a este grupo são MAUT, SMART, AHP, MACBETH, TOPSIS (ROY, 2005, p. 15).

O *Multiattribute Utility Theory* (MAUT) que, em português significa Teoria da Utilidade Multiatributo, é um método que permite incorporar o comportamento e escolhas do decisor na avaliação de alternativas (MADEIRA, 2010, p. 37), as quais são modeladas através de valores de

utilidade para seus diversos atributos. Com uso de uma ou mais funções de utilidade ou de valor aditivas, o método *Utilités Additives* (UTA) avalia, a partir de técnicas de programação linear, essas funções para que sejam o mais consistente possível com as preferências do tomador de decisão (SISKOS, GRIGOROUDIS, MATSATSINIS, 2005).

Já o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que traduzido para o português quer dizer Processo Hierárquico Analítico, possui um modelo de avaliação estruturado hierarquicamente, sendo as alternativas inferiores hierarquicamente aos critérios (ou até subcritérios) (BOUYSSOU et al., 2006, p. 157). Nele, comparações são elaboradas em pares baseadas em termos de importância relativa.

Por sua vez, ao julgar a atratividade das alternativas, o *Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique* (MACBETH) compara-as em pares para assim construir funções de valor (BOUYSSOU et al., 2006, p. 157). Segundo Maderia (2010, p. 42), ele é utilizado para situações de seleção e de ordenação. Esse método pode ser considerado um híbrido entre os métodos de sobreclassificação e de critério único de síntese.

3.2.2.3 OUTROS MÉTODOS

Esse tópico trata os métodos que não se enquadram em algum dos dois grupos descritos. Tratam-se ou de métodos híbridos dos grupos anteriores ou de grupos que não são baseados em procedimentos de agregação multicritério matematicamente explícitos (ROY, 2005, p. 18), geralmente interativos. Dentre a primeira opção se encontram métodos como o TODIM ou o MACBETH (dependendo da classificação), enquanto na segunda encontram-se métodos baseados na descrição verbal como o ZAPROS LM (MADEIRA, 2010, p. 42).

O método Tomada de Decisão Interativa e Multicritério (TODIM) faz uso da Teoria dos prospectos para incorporar à modelagem aspectos relacionados ao gosto e aversão ao risco (MADEIRA, 2010, p. 41), ao mesmo tempo que realiza comparações de forma hierárquica, em

semelhança ao AHP, e usa relações de sobreclassificação para ordenação das alternativas. Portanto pode ser considerado um método híbrido.

3.2.3 ENGENHARIA ECONÔMICA

Um importante aspecto com relação ao presente item, é que este trata sobre a dimensão econômica, pois são abordados conceitos ligados à rentabilidade de negócios e não sobre a dimensão financeira, a qual diz respeito à disponibilidade de recursos.

O trecho deste capítulo que trata o tema gestão do desempenho, considera como indicadores financeiros todos os indicadores ligados ao montante de dinheiro, sejam eles na dimensão financeira ou econômica. Estes são as classes de indicadores mais conhecidas e as mais comumente usadas em análises para decisão. Isso acontece porque o desempenho financeiro é uma condição básica para que as empresas possam funcionar, já que a falta de capital implica na impossibilidade de obtenção dos recursos básicos para que uma empresa possa exercer suas atividades. Inclusive para que uma empresa opere o volume financeiro necessário em condições normais, há a designação capital de giro, que já foi apresentada no capítulo anterior.

Outra razão para que as empresas trabalhem com os indicadores financeiros é a necessidade de contabilizar aspectos de sua situação financeira/econômica e suas operações financeiras para fins legais, principalmente para o cálculo de tributos devidos.

Retomando a natureza teórica dos indicadores econômicos, é verificado que são temas de estudo da Engenharia Econômica, pois esse domínio trata da análise de custos, benefícios e receitas com o passar do tempo, como afirma Newnan, Eschenbach e Lavelle (2004, p. 5). Para eles, um problema deve ser analisado através da Engenharia Econômica quando três critérios são característicos: sua importância justifique o empenho; não seja tão simples para que uma pessoa consiga analisá-lo apenas com o uso da própria mente, ou seja, haja a necessidade de uma análise

cuidadosa e organizada do problema e todas as suas consequências; ao tomar uma decisão, tenha aspectos econômicos importantes.

Esse tipo de análise, em geral, busca elementos de resposta para situações, como: qual projeto é o mais rentável, qual projeto deveria ter a maior prioridade, como ele deveria ser arquitetado (NEWNAN, ESCHENBACH, LAVELLE, 2004, p. 27). Ainda segundo a mesma referência, algumas outras situações de cunho estratégico também comuns são como atingir as metas financeiras de longo prazo, como comparar diferentes formas de financiamento, como tomar decisões de investimentos de curto e longo prazo.

Assim antes de tratar sobre algumas das ferramentas de avaliação do desempenho econômico mais pertinente para este trabalho, serão introduzidos conceitos fundamentais de Engenharia Econômica.

Com isso, baseado no conceito de desempenho citado anteriormente agora sob uma perspectiva econômica, pode-se concluir que sua busca remete a aumentar a parcela de resultados financeiros desejados a partir de um volume de recursos inicial. Então, nesse sentido, há um interesse contínuo em se obter uma maior entrada de recursos a partir de um dado investimento, em outras palavras, busca-se uma maior margem líquida (ou lucro) para o menor investimento possível, conseqüentemente fala-se de maior rentabilidade, logo um maior retorno ao investimento, conforme defende Ballou (2006, p. 382).

Portanto diferentemente de concepção popular, a busca por resultados econômicos de maior desempenho não se refere ao lucro principalmente, mas a rentabilidade. O lucro é sim apenas um aspecto derivado da rentabilidade, pois há necessidade de lucro para que se tenha rentabilidade embora nem sempre o aumento do lucro implique em maior rentabilidade, vide um eventual aumento desproporcional no ativo total para que se tenha um aumento simples no lucro.

Uma consideração que se deve fazer à respeito do conceito de valor monetário em diferentes momentos é que ele é mutável (BUCHANAN, 2006, p. 1). Partindo desse pressuposto, estabelece-se a taxa de oportunidade que é a taxa com que se estaria valorizando um dado capital

caso ele estivesse empregado em um dado investimento, o que é na verdade um conceito relativo e dependente das diferentes oportunidades de investimento. Daí surge a ideia dos juros, que é o montante pago para que se disponha de um capital por um determinado período, uma forma de custo de capital calculada através da taxa exigida por um capital inicial, a ser paga no final do período no qual a taxa é capitalizada.

Os juros podem ser de dois tipos: simples e compostos. No primeiro, a taxa sempre incide sobre o valor inicial considerado, enquanto no segundo incide sobre o valor do período anterior de capitalização. Assim os juros compostos incidem sobre o valor inicial e sobre o valor adicional oriundo dos juros incididos anteriormente (NEWNAN, ESCHENBACH, LAVELLE, 2004, p. 65).

Dessa forma, admitindo-se uma taxa de juros compostos, j , por período de capitalização, onde z é o número de períodos a ser capitalizado, VP é a quantia de dinheiro na data presente, VF é a quantia de dinheiro no futuro, por relações de progressão geométrica obtêm-se as seguintes relações:

$$VF = VP(1 + j)^z \leftrightarrow VP = VF(1 + j)^{-z} \quad (13)$$

Ponderando que valores só podem ser comparados quando se encontram na mesma data já que, como visto, o capital tem valor mutável. Com as relações acima, é possível comparar valores econômicos em valores futuros após “ z ” períodos de capitalização a partir do presente e também é possível comparar valores econômicos em valores presentes através dos equivalentes temporais presentes de valores futuros. Esse último método é conhecido como **Método do Valor Presente** (BUCHANAN, 2006, p. 6).

Outra relação muito utilizada para a equivalência de valores é a série uniforme de pagamento, VA , que transforma um valor presente ou valor futuro em uma série de valores uniformes existentes em “ z ” períodos de capitalização.

$$VP = VA \left[\frac{(1+j)^z - 1}{(1+j)^z \cdot j} \right] \leftrightarrow VA = VP \left[\frac{(1+j)^z \cdot j}{(1+j)^z - 1} \right] \quad (14)$$

$$VF = VA \left[\frac{(1+j)^z - 1}{j} \right] \leftrightarrow VA = VF \left[\frac{j}{(1+j)^z - 1} \right] \quad (15)$$

Em situação de balanço de contas ou análise de investimentos, caso se calcule a diferença entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos gastos envolvidos, será determinado o **Valor Presente Líquido (VPL)** (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 239).

$$VPL(j, z) = \sum_{b=1}^i VP(j, z)_b - \sum_{d=1}^q VP(j, z)_d \quad (16)$$

Onde “*b*” diz respeito aos “*i*” benefícios e “*d*” se refere aos “*q*” gastos da situação analisada.

Assim com uso das relações obtidas, são discutidos a seguir dois métodos para análise de investimentos, o **Payback** simples e a **Taxa Interna de Retorno (TIR)**. O primeiro efetua a razão capital investido sobre retorno econômico por período (lucro e outros benefícios financeiros) (NEWNAN, ESCHENBACH, LAVELLE, 2004, p. 280). O segundo, por sua vez, é a taxa “*j*” que faz com que o valor presente líquido seja nulo, ou seja, é a taxa de juros que faz com que o valor presente dos gastos seja igual ao valor presente dos benefícios.

$$Payback = \frac{VP_I}{VA_R} \quad (17)$$

Onde VA_R é o valor de retorno líquido (geralmente anual) e VP_I é o valor presente do investimento inicial.

TIR é a taxa “*j*” que resolve a expressão abaixo:

$$\sum_{b=1}^i VP(j, z)_b - \sum_{d=1}^q VP(j, z)_d = 0 \quad (18)$$

Ainda é válido destacar que a TIR é um método de análise de investimento mais preciso que o **Payback**, apesar de seu cálculo ser mais difícil. Para se contornar essa dificuldade de cálculo, uma alternativa razoável é usar métodos de cálculo numérico (como o Método das

Secantes). Já a principal vantagem da TIR é resumir em um único número um indicador de comparação da atratividade econômica de um projeto. Logo diferentes projetos podem ser comparados diretamente por suas respectivas TIRs, desde que superem a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), uma taxa de referência para sua avaliação.

O *Payback* avalia quanto tempo será necessário para recuperar o investimento feito em um projeto, porém o valor obtido é aproximado por não considerar os efeitos de composição de juros, já que ele é baseado apenas nas receitas líquidas do projeto por período, tratando-as como imutável ao longo do tempo. Por outro lado, devido a sua simplicidade, é mais fácil de calcular em comparação com a TIR. Deve ser usado com cuidado por não considerar efeitos de juros incidentes sobre benefícios, gastos e investimento inicial.

A **Análise do Fluxo Anual de Caixa** constitui uma alternativa aos métodos já propostos. Nele define-se uma taxa de oportunidade e se analisa o valor uniforme de custos, ou o valor uniforme de benefícios ou a diferença entre ambos (o valor líquido uniforme) (NEWNAN, ESCHENBACH, LAVELLE, 2004, p. 178). Geralmente trabalha-se com valores anualizados, ou Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), o qual deve ser minimizado, ou Benefício Anual Uniforme Equivalente (BAUE), o qual deve ser maximizado, ou a diferença entre BAUE e CAUE, a qual deve ser maximizada.

Outra possibilidade é o indicador ROA, que já foi tratado no capítulo 2, geralmente comparado entre empresas do mesmo segmento, porém deve ser avaliado com cuidado, pois depende dos valores contábeis dos ativos (que podem estar atualizados ou não). Seu uso é mais difundido por instituições financeiras, pois estas costumam apresentar avaliação contábil atualizada.

Diferente do ROA, há outra métrica baseada no capital investido, o ***Return On Investment*** (ROI), em português Retorno sobre Investimento. Ele avalia o lucro ou perda resultante de uma operação de investimento, normalmente expressa na forma de uma taxa anual (HERRMANN, 2007; WYSOCKI, 2007, p. 98).

3.2.4 GESTÃO DO DESEMPENHO

Este item faz uma revisão teórica sobre gestão do desempenho devido a sua relevância e utilidade como apoio à tomada de decisão. Trata-se de uma ferramenta administrativa que fornece informações aos atores responsáveis pela tomada de decisão, para que possam se basear nas estratégias e resultados da empresa.

Historicamente a avaliação do desempenho organizacional é abordada principalmente por análises de relatórios contábeis e o acompanhamento de indicadores exclusivamente financeiros (BHASIN, 2008, p. 672; NUDURUPATI et al., 2011, p 280). Este enfoque foi prática empresarial comum, sobretudo nas empresas situadas em economias capitalistas tradicionais, durante a época em que o fluxo de informação não era tão intenso e fácil. Não havia a interação empresa-cliente que existe atualmente, o monitoramento e controle de informação eram muito mais custosos levando em conta a dificuldade de se coletar, armazenar, processar e atualizar informações, pois, por exemplo, os sistemas de produção eram essencialmente mecânicos, com poucos sensores, ausência de eletrônica e informática, os sistemas de comunicação eram muito mais restritos.

Com isso não havia sinergia ou algo próximo entre a avaliação do desempenho em seu sentido amplo (não apenas desempenho financeiro) com a gestão estratégica. Para tentar unir esses dois aspectos administrativos e estender a sua abrangência, foram propostas diversas alternativas de gestão cujos princípios comuns consolidaram a chamada gestão de desempenho.

Em essência ela pode ser compreendida como um processo sistemático com a finalidade de que o desempenho organizacional melhore através do desenvolvimento e organização adequada dos recursos humanos de que dispõe a organização (ARMSTRONG, 2000 apud CUZ, 2008, p. 18). Esse processo pode fazer parte de um contexto em que os aspectos geridos referem-se a decisões operacionais ou mesmo estratégicas.

O procedimento de execução de um sistema de gestão de desempenho em uma esfera operacional passa pela definição de metas e objetivos segundo um plano estratégico corporativo (MASKELL, BAGGALEY, 2003, p. 301). O monitoramento da evolução do desempenho é realizado pelos gestores conjuntamente com os responsáveis diretos pela operação. Dessa forma, são feitas revisões pré-liminares dos resultados obtidos. Ocasionalmente podem ocorrer reorientações e novas proposições, com a implementação de planos de ação para que o desempenho planejado possa ser alcançado. (CUZ, 2008, p. 17)

Então os resultados obtidos são avaliados ao final de um período (geralmente pré-estabelecido). Com isso, pode-se realizar uma análise de evolução operacional e definição de novos objetivos ou novas métricas (NUDURUPATI et al., 2011, p 287), assim dando início a um novo ciclo.

Para que haja um acompanhamento dos resultados e tendências relativas ao desempenho da empresa, é feito uso de um conjunto de indicadores os quais devem ser relacionados entre si e responder as metas estipuladas no planejamento estratégico. Para isso são necessários tanto indicadores financeiros quanto os indicadores não financeiros (MARTINEZ, PAVLOV, BOURNE, 2010), os quais apresentam o desempenho do negócio sob outras perspectivas.

Deve haver uma relação de causa e efeito entre indicadores que tratam dos mesmos aspectos, porém em diferentes graus de relevância estratégica. Os indicadores relacionados aos objetivos estratégicos desdobrando-se em indicadores específicos das diferentes áreas funcionais que, por sua vez, se desdobram em indicadores relativos às subáreas (CARPINETTI, 2010, p. 217). Assim é importante que esses indicadores avaliem os processos de negócio considerados críticos, para que a empresa busque um melhor desempenho dentro de sua estratégia.

Ressalta-se que com a importância a que se têm ganhado as relações interempresas, a medição de desempenho deve se estender às empresas envolvidas na mesma cadeia de suprimentos, como fornecedores, clientes, operadores logísticos, dentre outros (CHEN, PAULRAJ, 2004, p. 146; FLYNN, HUO, ZHAO, 2010; NUDURUPATI et al., 2011, p 287).

Na implementação da medição do desempenho, os indicadores devem ser detalhados contendo os seguintes elementos, de acordo com Carpinetti (2010, p. 218): fórmula de cálculo, dados usados para o cálculo, unidade de medição, frequência de medição, responsável por coleta de dados, responsável por cálculo, formato de exibição dos resultados, responsável pela análise, características de distribuição/divulgação dos resultados.

Além disso, como os indicadores são produto dos resultados obtidos pelo trabalho de pessoas, eles exercem influência no comportamento dentro da organização. Logo as características dos indicadores podem ser selecionadas para tentar modificar o comportamento das pessoas (Ibidem, p. 200).

De uma maneira geral, a avaliação do desempenho pode apresentar dois enfoques fundamentais: o da eficácia e da eficiência (NEELY et al., 1995 apud NUDURUPATI et al., 2011, p 280). De acordo com o dicionário online Michaelis (WEISZFLOG, 2007), eficácia é: *“1 Qualidade daquilo que é eficaz. 2 Qualidade daquilo que produz o resultado esperado”*. Porém reconhece-se que em uma empresa o beneficiado direto pelo que é produzido é o cliente, externo ou interno. Portanto a eficácia está relacionada à satisfação das expectativas do cliente do processo. Enquanto eficiência se refere à forma de execução para atingir um dado resultado, ou seja, é uma medida dos resultados atingidos dada a capacidade e modo de se gerar resultados. Para Júnior e Miyake (2011, p. 165) *“... a eficiência está relacionada ao consumo de recursos, indicando a intensidade com que as organizações consomem recursos produtivos em seus processos de serviços”*

Segundo Carpinetti (2010, p. 199), a tomada de decisão depende da quantificação dos níveis de desempenho a partir da avaliação do desempenho de processos e produtos de uma organização, o qual ele compara ao funcionamento de um sistema de controle com retroalimentação.

Para que sejam apresentadas funcionalidades de gestão de desempenho, as quais podem ser diretamente aplicadas à tomada de decisão, o tópico a seguir aborda modelos de medição de desempenho.

3.2.4.1 MODELOS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO

Baseado em Nudurupati et al. (2011, p 281) são enumerados alguns dos modelos de medição de desempenho mais importantes: *Strategic Measurement and Reporting Technique* (SMART), *The Performance Measurement Matrix, Results and Determinants Framework*, *Balanced Scorecard* (BSC), *Cambridge Performance Measurement Systems (CPMS) Design Process*, *Integrated Performance Measurement Systems* (IPMS), *Performance Prism* (PP), *FFQM Business Excellence Model*. A seguir há a descrição de alguns destes modelos.

Dentre os modelos em medição do desempenho propostos um ganhou maior destaque nos meios acadêmicos e empresarial, o *Balanced Scorecard* (BSC), desenvolvido pelos professores Robert Kaplan e David Norton da Harvard Business School no início dos anos 90 (CARPINETTI, 2010, p. 206). Trata-se de um modelo de gestão que alinha aspectos operacionais de uma empresa com a sua estratégia através de um sistema de indicadores de desempenho orientados por objetivos da companhia em diversos níveis organizacionais. Ele por um lado mantém as tradicionais medidas financeiras, enquanto, por outro lado, adiciona medidas não financeiras, sendo que todas são orientadas através de relações de causa e efeito.

Com relação ao desempenho organizacional, o BSC propõe medições dentro de quatro perspectivas as quais são ligadas entre si e com a estratégia da organização por relações de causa e efeito (KAPLA, NORTON, 2001 apud PRANCIC, 2008, p. 43), conforme representado na figura 18: do cliente, financeira, dos processos internos da empresa e do aprendizado e crescimento.

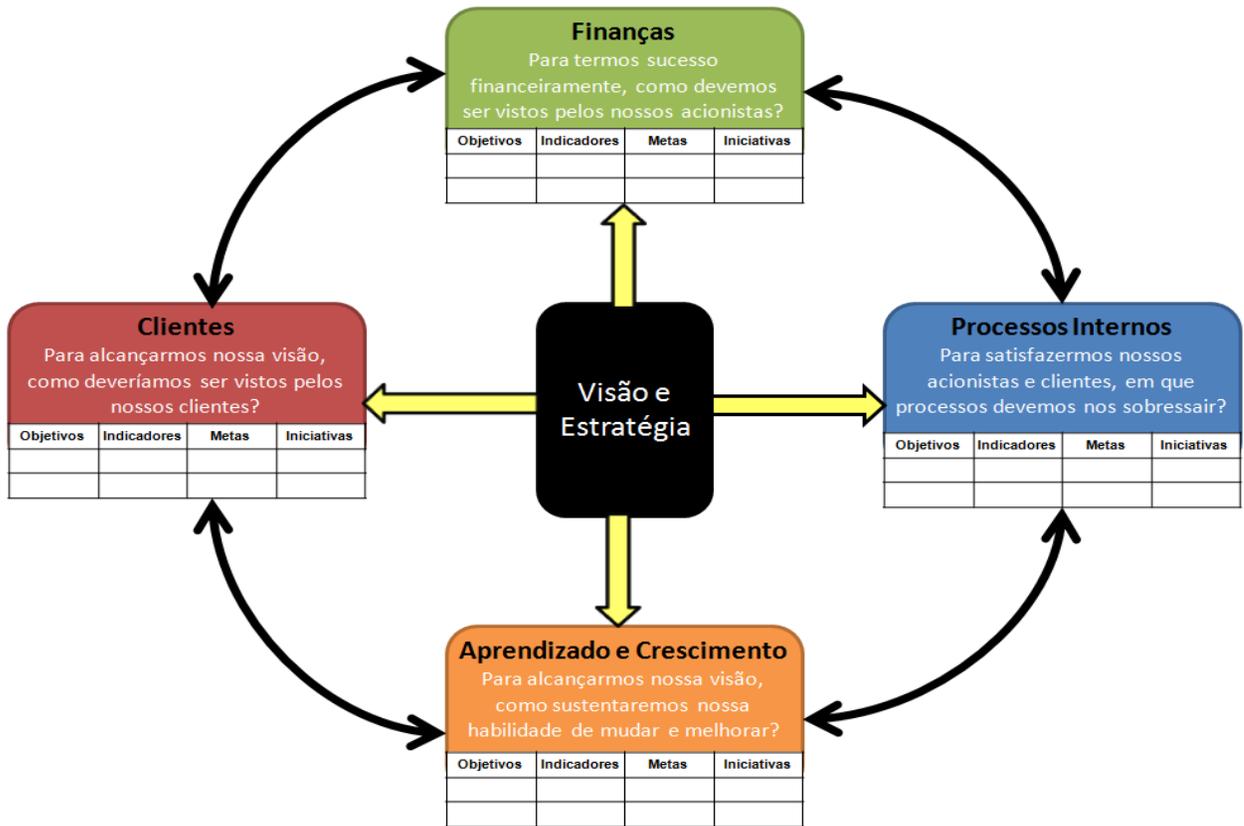


Figura 18 - Esquema de Balanced Scorecard baseado em Kaplan e Norton (1997)

Kaplan e Norton (1997) propuseram um modelo cujo escopo de medição contém em diversos níveis aspectos internos e externos à empresa, tanto de longo quanto de curto prazo. Como destacam Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 566), o BSC apresenta em um quadro geral de desempenho com informações suficientes, concisas, mas que sintetizam uma visão ampla de toda organização, estimulando uma tomada de decisão sob uma perspectiva holística, em contraponto as abordagens mais específicas, que em alguns casos focalizam demasiadamente o perímetro do problema, que acaba por criar soluções que tragam melhorias exclusivamente locais.

Como propõem Kaplan, Norton e Rugelsjoen (2010), o BSC pode ser aplicado para fortalecer as relações de aliança entre empresas com a criação de novas métricas para avaliação de confiança, transparência, redução de atividades duplicadas, lealdade e nível de comunicação, junto da definição de objetivos em conjunto.

Apesar da elevada aceitação do BSC quanto à sua aplicação na gestão estratégica e avaliação do desempenho da empresa, existem críticas a seu respeito, desde problemas nas relações de causa e efeito até a ausência de um sistema de melhoria (SCHEIDERMAN, 1999 apud PRANCIC, 2008, p. 44).

Desenvolvido por Andy Neely, da Cranfield Business School, o *performance prism* é um sistema de medição de desempenho cujo foco principal é no estabelecimento de estratégias para satisfazer a demanda dos *stakeholders*¹ (PRANCIC, 2008, p. 59). Isso deve ser alcançado pela abordagem de cinco prismas inter-relacionados: identificação dos *stakeholders* e suas demandas; formulação de estratégias; identificação dos processos críticos para implementação da estratégia e medidas de desempenho; definição da capacidade requerida dos recursos; contribuição dos *stakeholders* para a organização (CARPINETTI, 2010, p. 208).

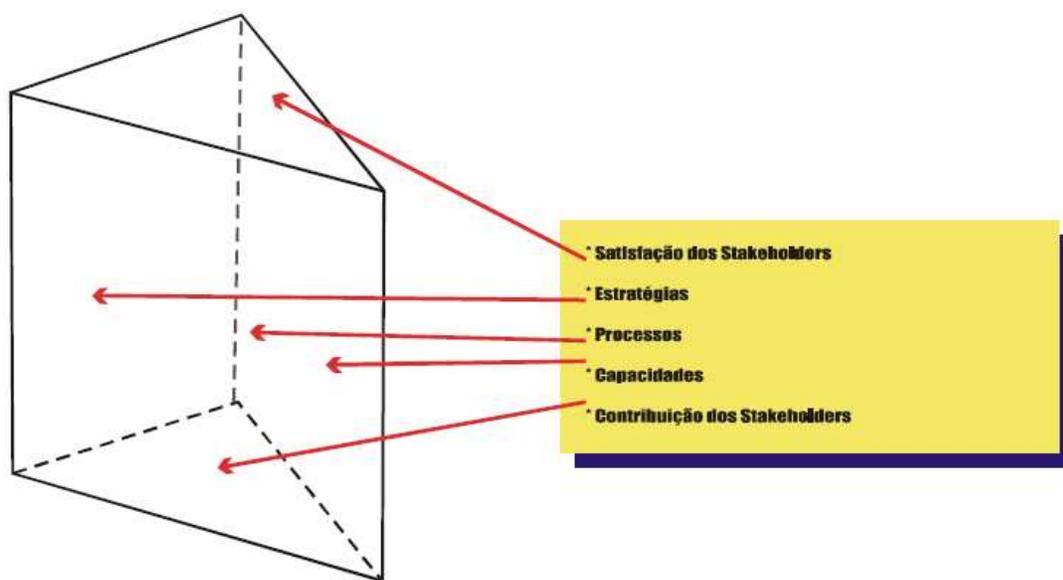


Figura 19 - *Performance Prism* (NEELY, ADAMS, 2002 apud PRANCIC, 2008, p. 49)

Já o *Integrated Performance Measurement Systems* estabelece uma estrutura de referência de um sistema de medição de desempenho em que os objetivos de desempenho são desdobrados

¹ Este trabalho considera que este termo se refere às partes interessadas nas atividades e desempenho da organização. Pode envolver, por exemplo, acionistas, funcionários, clientes, sociedade, governo, etc.

ao longo de quatro níveis hierárquicos organizacionais: corporativo, unidade de negócio, processo de negócio e atividades (BITITCI et al., 1997 apud PRANCIC, 2008, p. 45). Em cada nível, cinco fatores-chave devem estar presentes: *stakeholders*, critérios de controle, medidas externas, objetivos de melhoria e medidas internas. Um esquema da hierarquia do IPMS é apresentado na figura 20. O modelo também deve abranger o uso dos seguintes conceitos em sua estrutura geral: desdobramento da política, critérios competitivos e benchmarking, orientação para o processo, planejamento normativo, monitoramento ativo (PRANCIC, 2008, p. 46).

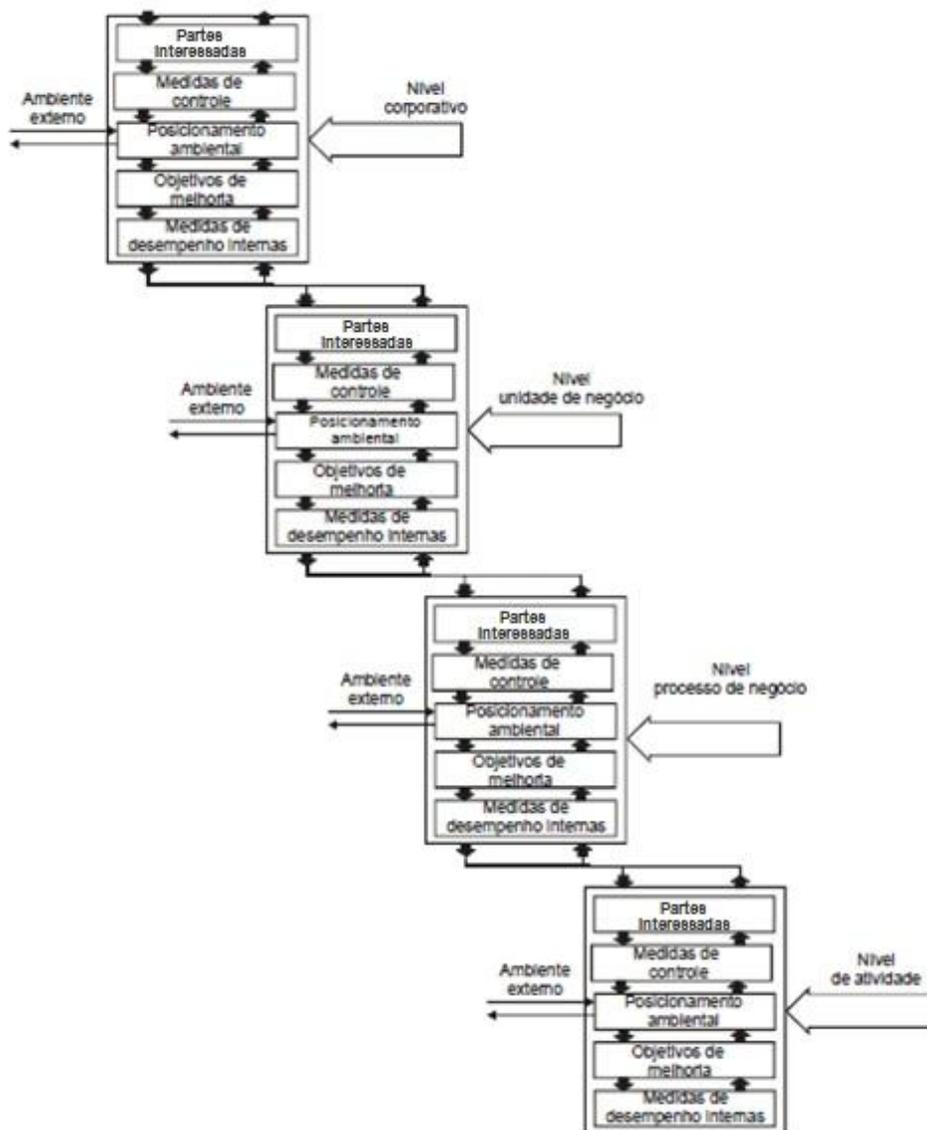


Figura 20 - Hierarquia do IPMS (adaptado de BITITCI et al., 1997 apud PRANCIC, 2008, p. 47)

Outro modelo, o *Strategic Measurement and Reporting Technique* é fundamentado na *Performance Pyramid*, uma pirâmide organizacional (apresentada na figura 21) em que os objetivos estratégicos tentam ser transmitidos de cima para baixo e a medição de desempenho é realizada de baixo para cima, ou seja, de uma dimensão operacional a uma dimensão corporativa (PRANCIC, 2008, p. 38). No topo da pirâmide encontram-se as estratégias corporativas; no nível abaixo, os objetivos financeiros e de mercado da unidade de negócio; no nível seguinte, referente aos processos quanto à satisfação do cliente, flexibilidade e produtividade; no nível da base, os departamentos e centros de trabalho com medidas de desempenho operacionais abrangendo qualidade, perda, tempo de ciclo e entrega (PRANCIC, 2008, p. 39). Assim o SMART promove a ligação entre seus processos internos com os objetivos externos à organização, buscando maior eficiência interna e eficácia externa (SILVA, LIMA, 2009, p. 3).



Figura 21 - *Performance Pyramid* (CROSS, LYNCH, 1989 apud PRANCIC, 2008, p. 39)

3.2.5 BENCHMARKING

O presente tópico trata o *benchmarking* por constituir uma alternativa de apoio à tomada de decisão, a qual considera características externas a um dado processo ou organização. Assim é dos meios mais utilizados para que as empresas amparem sua tomada de decisão, conseguindo acompanhar o movimento competitivo do mercado.

Em um primeiro momento nesta dissertação, a prática gerencial *benchmarking* é definida formalmente como: “a busca pelas melhores práticas que levarão a um desempenho superior” (CAMP, 1989 apud CARPINETTI, 2010, p. 225). Já Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 568) o definem da seguinte forma: “*Benchmarking é o processo de aprender com os outros e envolve a comparação do seu próprio desempenho ou método com o de outras operações comparáveis*”.

Segundo Drucker (2007, p. 78), o *benchmarking* é usado para obter informação:

[...] comparando o desempenho de alguém com o melhor desempenho da indústria ou, melhor ainda, com o melhor em qualquer lugar nos negócios. Benchmarking assume corretamente que o que uma organização faz, qualquer outra organização pode fazer também. E assume, também corretamente, que ser tão bom quanto o líder é um pré-requisito para ser competitivo.

Quanto ao processo de *benchmarking*, ele pode ser classificado como de desempenho ou de prática, quando lida com níveis de desempenho ou adoção de melhores práticas de operações, respectivamente (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 568). Outra classificação diz respeito se ele é relativo a um produto ou processo (CARPINETTI, 2010, p. 226).

Em se tratando das comparações empenhadas dentro do processo de *benchmarking*, estas podem ser classificadas como interna ou externa sob a perspectiva da organização que o pratica. Quando se trata de comparações externas, estas podem ser do mesmo segmento de atuação da organização ou de um segmento diferente, denominado *benchmarking* genérico. Porém ao que concerne o mesmo segmento de atuação, pode ser em relação a uma organização concorrente ou

a uma organização não concorrente, processos denominados, respectivamente, como *benchmarking* competitivo e *benchmarking* funcional (Ibidem, p. 227).

Um ponto a que se deve atentar na implementação de melhorias através do *benchmarking* são as relações de ética entre organizações e o respeito da propriedade intelectual, de tal forma que as organizações devam reconhecer esses limites (Ibidem, 2010, p. 227).

3.3 DECISÕES NA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Conforme discutido anteriormente, a tomada de decisão deixou de ser uma ação unilateral por parte de uma empresa. Através de uma perspectiva mais ampla, as decisões envolvendo uma cadeia de suprimentos podem permitir com que se façam economias relacionadas a custos e melhoria dos níveis de serviços quando comparada à decisão baseada em apenas uma empresa (BALLOU, 2006, p. 384). Dentro dessa mentalidade, a melhor decisão para cadeia trará melhores resultados para suas empresas-componentes, mesmo que seja apenas a longo prazo, do que decisões tomadas buscando melhores resultados de empresas individualmente.

A decisão dentro de uma organização pode ter classificação com relação ao horizonte temporal em três (PEIDRO, et al., 2009, p. 401) ou quatro níveis diferentes: em longo prazo, chamadas de decisões estratégicas; em médio prazo, decisões táticas; em curto prazo, as decisões operacionais (HUGOS, 2006, p. 153); em muito curto prazo, podem ser também classificadas como decisões operacionais detalhadas ou simplesmente execução (SAHIN, 2009). No decorrer deste estudo, optou-se por adotar a nomenclatura operacional detalhada para decisões de muito curto prazo.

Essa classificação quando aplicada a cadeia de suprimentos apresenta um horizonte temporal de atuação flexível, o qual é dependente da extensão da cadeia e das estratégias de seus integrantes. Nota-se que esta análise aliada ao conceito de *supply chain* exige uma coerência com as decisões tomadas em diferentes níveis. Em particular as decisões tomadas em um nível inferior

devem necessariamente incorporar as limitações decorrentes de decisões tomadas em nível hierárquico superior.

Os tópicos que esta seção trata a seguir envolvem as decisões na cadeia de suprimentos quanto a seus horizontes temporais e com relação a sua área de atuação, que pode ser relacionada ao aprovisionamento, produção, distribuição ou demanda, de acordo com o modelo proposto por Yves Dallery (2003). Dessa forma, são encontradas dezesseis categorias diferentes em que uma decisão na cadeia de suprimentos pode se enquadrar, conforme apresentado na figura 22.

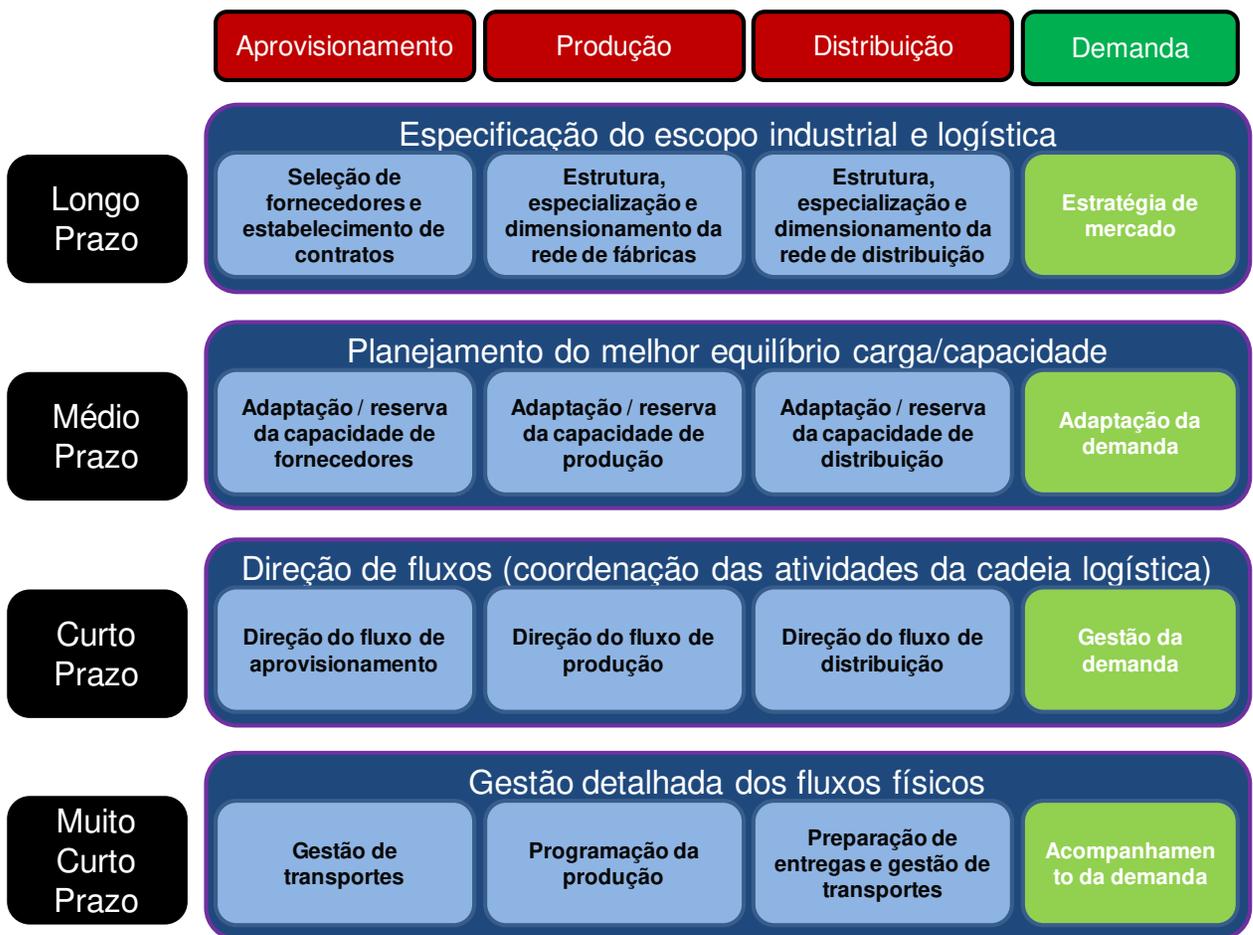


Figura 22 - Esquema simplificado de decisão na cadeia logística (DALLERY, 2003)

Nos próximos tópicos desta seção, são enumerados diversos pontos de decisão na cadeia de suprimentos, segundo Dallery (2003) e Sahin (2009). Outros autores que tratam alguns destes pontos também são indicados.

3.3.1 NÍVEL ESTRATÉGICO

O nível estratégico inclui todas as decisões de configuração e posicionamento da cadeia de suprimentos em relação ao ambiente externo, em inglês corresponde as decisões de *supply chain strategy and design*. Há várias alternativas para que ela adquira os recursos necessários para a produção, produtos intermediários ou produtos acabados, além das atividades de suporte necessárias para que a empresas realize suas atividades centrais. Com isso, deve-se definir se a empresa pode desempenhar determinadas atividades internamente ou se essas serão feitas externamente, em quais localizações, se de forma centralizada ou dispersa. O regime de fornecimento de cadeia será feito por uma única empresa ou por várias? E com relação aos produtos individualmente? Portanto verifica-se que são decididos aspectos que implicam em características de longo prazo da cadeia, o que caracteriza sua estrutura logística e industrial.

A seguir são enumerados pontos de decisão estratégica em diferentes áreas.

3.3.1.1 APROVISIONAMENTO

Decisões que envolvem a definição da base de fornecedores e as disposições de relacionamento.

- As decisões de subcontratação ou terceirização de atividades (produção, transporte, armazenamento, embalagem, reciclagem, etc.);

- Escolha do modo de fornecimento: onde comprar matérias-primas, componentes ou produtos acabados (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009). Identificação de fornecedores e prestadores de serviços com quem trabalhar (HO, XU, DEY, 2010). Estabelecimento de contratos com diferentes integrantes da cadeia logística (CHEN, PAULRAJ, 2004);
- Definição dos modos de colaboração com os prestadores de serviços (por exemplo, co-produção), estabelecimento de contratos logísticos e condições gerais de venda (CHEN, PAULRAJ, 2004).

3.3.1.2 PRODUÇÃO

Contempla a definição da rede de manufatura e suas características gerais.

- Definição da estrutura do sistema de manufatura (fábricas de processamento, montagem e condicionamento);
- Definição de quais unidades fabris abrir/fechar (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009);
- No caso de abertura de novas unidades, decidir onde localizar as novas (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009; NICKEL, PUERTO, RODRÍGUEZ-CHÍA, 2005);
- Seleção de quais tipos de unidade abrir (por exemplo, fábricas especializadas ou polivalentes) (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009);
- Determinação de quantas unidades abrir de cada tipo (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009);

- Determinação da capacidade das fábricas e quanto investir em capacidade/tecnologia de produção;
- Estabelecimento do volume produzido de cada fábrica que irá para cada centro de distribuição (YOU, WASSICK, GROSSMANN, 2009);
- Concepção das oficinas, células e linhas de produção;
- Escolha das tecnologias de produção;
- Definição das estratégias de operação;
- Definição das estratégias de serviço;
- Determinação de quantos centros de reparo devem ser mantidos e quais produtos devem ser dirigidos para cada centro.

3.3.1.3 DISTRIBUIÇÃO

Essa categoria é referente às decisões de dimensionamento da rede distribuição e suas características gerais.

- Definição da estrutura de rede de distribuição;
- Determinação de quais centros de distribuição/lojas devem abrir/fechar (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009);
- No caso de abertura de novos centros de distribuição/lojas, estabelecimento de onde localizá-los (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009);

- Seleção de quais tipos de cada centro de distribuição (por exemplo, armazenamento de um tipo de produto ou de vários tipos, regional ou local) (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009);
- Determinação dos níveis de estocagem (incluindo lojas/pontos de venda);
- Determinação dos tipos de estoque;
- Definição da capacidade dos centros de distribuição (ou lojas);
- Atribuição de áreas de mercado aos centros de distribuição/lojas;
- Escolha dos pontos de armazenamento versus *cross-docking*;
- Escolha dos modos de transporte (incluindo dutos para transporte de líquidos);
- Definição das formas de colaboração com os clientes, estabelecimento de contratos logísticos e das condições gerais de venda (BEHESHTI, 2010);
- Escolha dos canais de distribuição (venda através da Internet, correio, etc.).

3.3.1.4 DEMANDA

Definição da gama de produtos oferecidos e dos volumes de demanda previstos, além das estratégias de mercado.

- Definição da oferta de produtos / serviços oferecidos aos clientes;

- Definição da complexidade do produto, com os respectivos números de componentes necessários para fabricar o produto;
- Definição da diversidade de produtos, pelo número de variantes de produtos oferecidos aos clientes finais;
- Definição das durações de vida dos produtos, em particular para produtos como peças de reposição;
- Localizar o ponto de desacoplamento MTS (*make-to-stock*) / MTO (*make-to-order*) para diferentes tipos de produtos;
- Formulação das estratégias de mercado;
- Estabelecimento da previsão de demanda (processo que gera uma previsão que permitirá planejar a cadeia de suprimentos como um todo baseado na demanda estimada).

3.3.2 NÍVEL TÁTICO

O nível tático inclui todas as decisões de planejamento para que faça um balanço entre a demanda e capacidade, em inglês corresponde às decisões de *supply chain planning*. Assim busca fazer ajustes e mudanças nos recursos disponíveis para que se respondam as expectativas futuras de uma forma organizada e minimizando a capacidade excedente e a falta de recursos. Portanto tratam-se de decisões que influenciam em médio prazo a cadeia.

A seguir são enumerados pontos de decisão tática em diferentes áreas.

3.3.2.1 APROVISIONAMENTO

Envolve as decisões de demanda junto aos fornecedores com ajustes de recursos.

- Distribuição da produção entre diferentes fornecedores;
- Reserva de capacidade entre os fornecedores, subcontratados e prestadores de serviços logísticos.

3.3.2.2 PRODUÇÃO

Abrange a definição da produção nos diferentes elementos da rede de manufatura e o ajuste de recursos.

- Ajuste da capacidade das unidades de manufatura;
- Adição / mudanças dos recursos físicos (investimentos menores);
- Definição e especificação das necessidades de recursos humanos (nível de qualificação / competências, a política de recrutamento, etc.);
- Adição / mudanças dos recursos humanos (a determinação do número de equipes, recrutamento de postos de trabalho provisório, etc.);
- Definição das horas de trabalho (incluindo horas-extras);
- Distribuição da produção entre as diferentes unidades fabris (YOU, WASSICK, GROSSMANN, 2009);

- Constituição dos estoques de antecipação;
- Escolha de tecnologias;
- Definição do design de produto que minimize o custo para garantir a disponibilidade de peças de reposição.

3.3.2.3 DISTRIBUIÇÃO

Define a distribuição de produtos acabados através da rede de distribuição e faz ajustes nos recursos.

- Distribuição de produtos acabados entre estoques e centro de distribuição (YOU, WASSICK, GROSSMANN, 2009);
- Escolha da capacidade de transporte entre cada unidade de manufatura;
- Ajuste da capacidade dos estoques;
- Adição / mudanças dos recursos físicos (investimentos menores);
- Definição e especificação das necessidades de recursos humanos (nível de qualificação / competências, a política de recrutamento, etc.);
- Adição / mudanças dos recursos humanos (a determinação do número de equipes, recrutamento de postos de trabalho provisório, etc.);
- Definição das horas de trabalho (incluindo horas-extras);

- Escolha de tecnologias;
- Escolha de quais peças de reposição devem ser mantidas em estoque (quantidade e em que lugar).

3.3.2.4 DEMANDA

Envolvem adaptações da demanda.

- Ajuste de pedidos (este processo gera previsões restringidas em função dos parâmetros decididos pelo S&OP) (BEHESHTI, 2010).

3.3.3 NÍVEL OPERACIONAL

O nível operacional (com horizonte de curto prazo) inclui todas as decisões relacionadas à gestão de fluxos, relativo às decisões sobre o momento de se iniciar as atividades, com quais produtos e suas quantidades, em inglês corresponde as decisões de *flow management and inventory control*.

A seguir são enumerados pontos de decisão operacional em diferentes áreas.

3.3.3.1 APROVISIONAMENTO

Compreende o planejamento das necessidades de fornecimento.

- Lançamento das ordens de fornecimento (matérias-primas e embalagens).

3.3.3.2 PRODUÇÃO

Refere-se as decisões de planejamento das necessidades de produção.

- Estabelecimento do Plano Diretor de Produção;
- Lançamento das ordens de produção;
- Estabelecimento da política de manutenção.

3.3.3.3 DISTRIBUIÇÃO

Concerne às decisões de planejamento das necessidades de distribuição.

- Estabelecimento do DRP com a implantação de múltiplos níveis de estoque na rede de distribuição;
- Escolha do tipo de transporte (dedicado ou compartilhado).

3.3.3.4 DEMANDA

Diz respeito à gestão da demanda.

- Gestão das ordens dos clientes.

3.3.4 NÍVEL OPERACIONAL DETALHADO

Este é o último nível temporal de decisão, as decisões de curtíssimo horizonte, que tratam, em geral, a programação e execução de tarefas segundo um planejamento já estabelecido.

A seguir são enumerados pontos de decisão operacional detalhada em diferentes áreas.

3.3.4.1 APROVISIONAMENTO

Compreende a gestão dos transportes de suprimentos.

- Organização dos transportes a partir dos fornecedores;
- Gestão de fornecimento defeituoso, pendências e acompanhamento de fornecedores.

3.3.4.2 PRODUÇÃO

Envolve as decisões mais detalhadas de programação da produção.

- Programação de produção (decidir em curtíssimo termo a programação detalhada de produção – quais meios de produção usar, em que ordem de produto) (KUMAR, SURESH, 2009, cap. 10).

3.3.4.3 DISTRIBUIÇÃO

Contempla a preparação de entregas e a gestão dos transportes ao cliente.

- Organização do transporte aos clientes (roteirização para veículos, etc.) (LIAO, LIN, SHIH, 2010).

3.3.4.4 DEMANDA

Referente às decisões de acompanhamento de ordens e clientes.

- Acompanhamento de ordens e qualquer eventual alteração das prioridades de produção e distribuição;
- Gestão de fornecimento defeituoso e pendências, acompanhamento de clientes.

4 MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar os principais métodos que foram utilizados na aplicação desta dissertação (desenvolvida no capítulo 5), envolvendo problemas de dimensionamento de lote e seleção de localização.

Uma primeira situação de decisão tratada na aplicação em contexto industrial refere-se a um dimensionamento de lote de aprovisionamento com auxílio de um modelo para o JELP o qual considera os custos do comprador e do fornecedor. Esse modelo é o *lot-for-lot*, desenvolvido por Banerjee (1986), o qual contém algumas características semelhantes ao Lote Econômico de Pedido (LEP). A realização dessa aplicação se baseia em Ballou (2006).

Já em uma segunda situação de decisão é tomada uma decisão referente à seleção de localização de uma instalação industrial com auxílio de uma análise multicritério a qual faz uso de uma simplificação do método UTA^{GMS} (GRECO, MOUSSEAU, SŁOWINSKI, 2008) e é baseada em aplicação desenvolvida por Mousseau (2009).

Assim o presente capítulo está dividido em três seções: a primeira justifica os métodos selecionados, a segunda é sobre o modelo *lot-for-lot* (BANERJEE, 1986) e a terceira é sobre a análise multicritério adotada.

4.1 SELEÇÃO DOS MÉTODOS

Esta seção apresenta a justificativa para a seleção dos métodos adotados nas duas situações de decisão do presente estudo aplicado.

4.1.1 PRIMEIRA SITUAÇÃO DE DECISÃO

Para primeira situação de decisão, a sistemática adotada nesse trabalho, a qual é derivada do Lote Econômico de Pedido, se baseia em aplicação de Ballou (2006) e na fundamentação do modelo de Banerjee (1986). Destaca-se que também há semelhanças com o modelo de Beheshti (2010), apesar de ele considerar uma estrutura mais ampla de cadeia de suprimentos e de algumas diferenças no cálculo dos custos. Ela considera não apenas os custos dos compradores, como é feito usualmente, mas também os custos da empresa fornecedora, o que sob a perspectiva da cadeia de suprimentos corrobora o princípio de integração interorganizações para redução do custo conjunto. Além disso, como é verificado mais à frente neste capítulo, o custo de aquisição determinado pelo LEP é pouco sensível nas proximidades do tamanho de lote ótimo, o que possibilita que possam ser feitos ajustes nos tamanhos de lotes em cada transação para se adequar a eventuais oscilações na demanda pelo item comprado. Assim por essas considerações levantadas somadas as possibilidades de se aplicar o LEP tanto para itens de demanda independente (BALLOU, 2011, p. 240) como para itens de pouca criticidade, baseado em Ballou (2011, p. 251), cuja transcrição encontra-se na seção 2.2.1 desta dissertação, optou-se pela escolha deste modelo.

Assim adotou-se o modelo *lot-for-lot* de Banerjee (1986), pois ela usa o LEP de uma forma mais ampla ao buscar uma redução de custos conjuntos de uma empresa compradora e outra vendedora de um dado item, através de apenas uma variável de decisão, o tamanho de lote, que não varia de compra para compra dentro do horizonte temporal considerado. Com isso o modelo trabalha a integração entre empresas para a obtenção de melhores resultados globais, além de ser simples e de fácil aplicação em relação a modelos mais sofisticados como a política ótima desenvolvida por Hill (1999 apud BEN-DAYA, DARWISH, ERTOGRA, 2008). Por sinal, trata-se de um caso particular da política ótima de Hill (1999, apud Ibidem, p. 737), sendo que outros modelos que tratam esse problema que não o de Banerjee (1986) costumam apresentar um tamanho de lote variável além de outros tipos de variável de decisão, como o número de expedições por lote produzido, o que configura maior complexidade de aplicação e planejamento. Assim o modelo adotado, por ser mais simples, facilita atividades como controle de inventário e

execução de compras. Outra vantagem de sua seleção é que um eventual aumento nos custos de aquisição em função de oscilações na demanda seria menos expressivo.

É importante salientar que a solução analítica do modelo *lot-for-lot* é obtida através de operações de cálculo diferencial para determinação de valor mínimo. Inclusive, por se tratar de um cenário inteiramente conhecido, segundo as hipóteses do modelo (apresentadas na próxima seção), o método adotado para sua resolução, o cálculo, se enquadra nas indicações de Kumar e Suresh (2009) para a adoção de métodos de acordo com os riscos e incertezas envolvidos na situação de decisão, conforme tópico apresentado no capítulo 3 desta dissertação.

4.1.2 SEGUNDA SITUAÇÃO DE DECISÃO

Quando um ponto de decisão apresenta mais de um critério para sua análise, é possível que se construa um modelo multicritério para apoiar a tomada de decisão. Como apontado na seção 2.5 desta dissertação, os problemas de localização são de natureza multicritério (NICKEL, PUERTO, RODRÍGUEZ-CHÍA, 2005, p. 764). Então para o problema de localização de instalação industrial, referente à segunda situação de decisão, optou-se pela adoção de um método multicritério.

Assim optou-se por um método híbrido, fundamentado tanto no critério único de síntese como na sobreclassificação, embora tenha muito mais perfil de um método de critério único de síntese. Trata-se de um método desenvolvido em torno de uma função de agregação aditiva baseado no método UTA^{GMS}, uma generalização do método UTA (GRECO, MOUSSEAU, SŁOWINSKI, 2008), junto de sua extensão GRIP (FIGUEIRA et al., 2008), porém com uma estrutura mais simplificada e que utiliza coeficientes de ponderação², o que não está previsto pelo UTA^{GMS} original. Esse método, uma simplificação do UTA^{GMS} (GRECO, MOUSSEAU, SŁOWINSKI, 2008) e aplicado por Mousseau (2009), faz uso de um procedimento em que não

² Greco, Mousseau, Słowinski (2008) utilizam a nomenclatura *weight*, que pode ser traduzida como peso em português, para tratar o que este trabalho denomina coeficiente de ponderação.

há necessidade de se especificar um valor exato para os coeficientes de ponderação, bastando-se apontar os intervalos em que estão contidos, de forma semelhante ao que é feito com o uso do método PROMETHEE VI (BRANS, MARESCHAL, 2005, p. 181). Logo se optou pelo método, pois se baseia na avaliação da utilidade de atributos, presente nos métodos do critério único de síntese, com uma estrutura de agregação aditiva que, portanto, reúne a noção de compensação de ganho, com as comparações binárias produzidas com os métodos de sobreclassificação, preservando a hesitação do tomador de decisão em ter que exprimir em valor exato os coeficientes de ponderação, que representam a importância dos critérios em termos de ponderação para uma avaliação global. Além disso, os coeficientes de ponderação variam dentro de uma margem de acordo com a preferência do decisor.

Uma vantagem importante do método selecionado em comparação com o método da pontuação ponderada aplicado à localização de uma instalação industrial é que se baseia em um modelo mais sofisticado, capaz de incorporar restrições referentes às preferências dos decisores e capaz de identificar relações de preferência e indiferença entre os pares de alternativas. Por outro lado, ele apresenta estrutura mais simples que o método UTA^{GMS} original, o que torna mais fácil sua aplicação e entendimento, implicando em uma melhor compreensão do método por parte dos tomadores de decisão, facilitando o processo de modelagem.

4.2 LOT-FOR-LOT (BANERJEE, 1986)

Dada a importância da gestão do fluxo de materiais em uma organização moderna, as decisões de gestão de estoque devem cada vez mais ser tratadas com maior atenção. De acordo com os objetivos de trabalho deste estudo, a presente seção se concentra em um importante ponto de decisão do planejamento e controle de inventário através do modelo *lot-for-lot* (BANERJEE, 1986), que pode ser visto como derivado do LEP. Esse ponto de decisão é a definição do tamanho de lote referente a um pedido de compra.

O Lote Econômico de Pedido é um modelo de dimensionamento de lotes que é descrito com mais detalhes ainda nesta seção. Ele é conhecido internacionalmente como *Economic Order Quantity* (EOQ), em português Lote Econômico de Pedido também conhecido como Quantidade Econômica de Encomenda.

Então primeiramente é apresentado o modelo do LEP para que seja em seguida descrito o modelo mais amplo desenvolvido por Banerjee (1986).

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 368) o LEP é o modelo mais comum quando um determinado item de estoque necessita da reposição. Entretanto esse modelo faz algumas hipóteses e considerações que muitas vezes não correspondem exatamente à realidade analisada. A demanda (D) no horizonte de tempo analisado deve ser perfeitamente conhecida e contínua (KUMAR, SURESH, 2009, p. 181). Além disso, a taxa de demanda deve ser constante. Os custos de colocação de pedido e de manutenção do item são fixos com o passar do tempo. O preço é constante. O capital disponível é ilimitado. Chiu et al. (2009, p. 505) destaca a hipótese de que todo item produzido tem qualidade perfeita, apesar de isso não ocorrer na prática.

Então o intervalo teórico de tempo (T) entre entregas do item é função apenas da demanda e o do tamanho de lote (Q), não ocorrendo faltas de produto nem limitações de armazenagem (ROSA, MAYERLEB, GONÇALVES, 2010, p. 627).

$$T = \frac{Q}{D} \quad (19)$$

Com isso a frequência teórica de lotes entregues (fr) no horizonte de tempo considerado pode ser calculada. É comum que seja considerado um horizonte de tempo de um ano. Considera-se que fr seja avaliado em pedidos por unidade de tempo.

$$fr = \frac{D}{Q} \quad (20)$$

Outra relação que é obtida a partir do que foi assumido, é que a quantidade média de itens em inventário é a metade do tamanho de lote. Assim o ciclo do item em inventário pode ser representado graficamente como na figura 23.

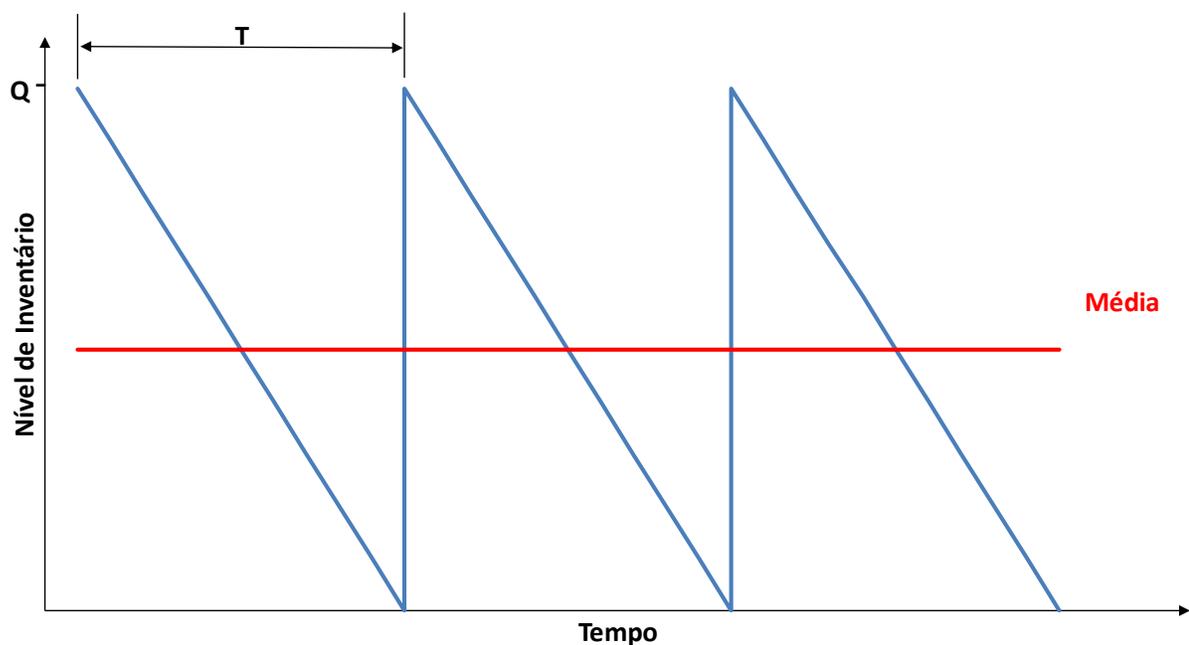


Figura 23 - Ciclo de inventário (baseado em KUMAR, SURESH, 2009, p. 181)

Com relação aos custos considerados no modelo, há os que decorrem da colocação de um pedido ao cliente. Eles envolvem os custos de comunicação e negociação de contrato, das transações em si de compra, de armazenamento e transmissão de informações associadas, de inspeção e recebimento do material, do transporte e embalagem dos itens, de eventuais ajustes ou *setup* que envolva o processamento do item adquirido (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 362), e eventuais custos associados ao desconto nos preços do produto em função do tamanho do lote ou custos extras em função de pequeno tamanho de lote (Ibidem, p. 364).

Há também os custos referentes à manutenção ou posse do item por um determinado período. Eles compreendem os custos diretamente associados ao armazenamento físico do item, seguros, custos de capital empatado e custos de obsolescência (Ibidem, p. 362, 364).

Baseado no balanço entre o custo total de colocação de pedido (C_C), que diminui com o aumento do tamanho do lote (redução do número total de colocações de pedido), e do custo total de posse do item com o tempo (C_P), que aumenta com o aumento do tamanho de lote (mais unidades em média em estoque), o LEP tenta determinar um tamanho de lote ótimo que minimize a soma desses dois custos, denominada como custo de aquisição (C_A).

$$C_A = c_C \cdot \frac{D}{Q} + c_P \cdot \frac{Q}{2} \quad (21)$$

Onde c_C é o custo unitário de colocação de um pedido e c_P é o custo unitário de posse de um item no horizonte de tempo analisado.

Já o custo total de aquisição (C_T), envolve o pagamento dos itens a um dado preço (Pr) e o custo de aquisição.

$$C_T = D \cdot Pr + C_A \quad (22)$$

Apesar disso, como o pagamento dos itens é tratado pelo modelo como um custo fixo independente do tamanho de lote, é usado na análise apenas o custo de aquisição (C_A), também denominado custo de aquisição variável, pois varia em função do tamanho de lote.

Curvas que exibem o custo de aquisição em função do tamanho de lote são mostradas no gráfico da figura 24.

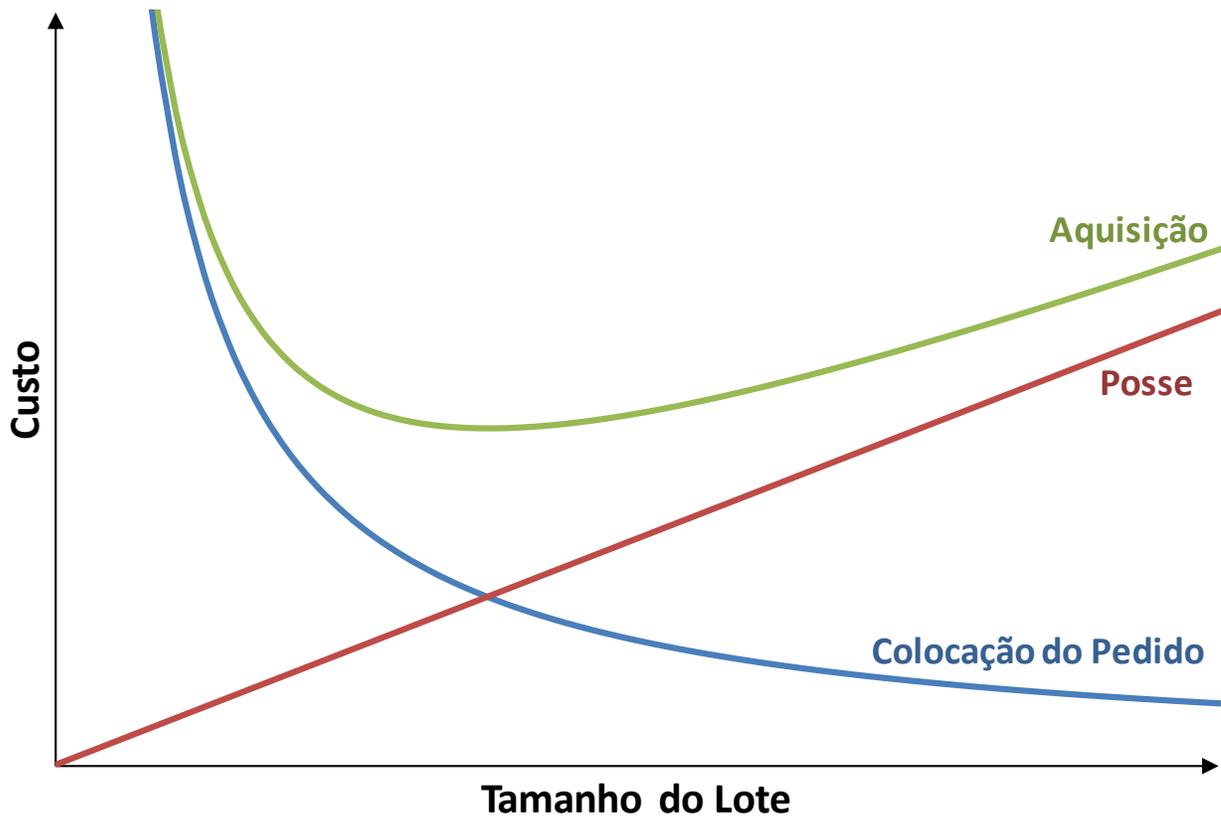


Figura 24 - Custos de aquisição (baseado em SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 366)

Como pode ser visto nesse gráfico, há um tamanho de lote (Q^*) que minimiza o custo de aquisição. Então se calcula esse tamanho de lote derivando-se a expressão do custo de aquisição com a relação ao tamanho de lote e igualando-a a zero.

$$\frac{dC_A}{dQ} = -\frac{c_C \cdot D}{(Q^*)^2} + \frac{c_P}{2} = 0 \quad (23)$$

Assim,

$$Q^* = \sqrt{\frac{2c_C \cdot D}{c_P}} \quad (24)$$

Portanto nota-se que o lote ótimo é diretamente proporcional a raiz quadrada do custo total de colocação de um pedido e a raiz quadrada da demanda e também é inversamente proporcional a raiz do custo total de posse de um item no horizonte de tempo analisado.

Ao observar a representação gráfica do custo de aquisição, nota-se que uma pequena variação nos custos de colocação de pedido ou de posse do item com o tempo não implicam em grandes variações do custo de aquisição na região do tamanho de lote ótimo. Assim conclui-se que o custo de aquisição é pouco sensível as variações decorrentes de pequenas imprecisões na estimativa dos custos nas proximidades de Q^* (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 366).

É importante ressaltar que a aplicação do LEP é sujeita a diversas restrições baseadas em suas simplificações. Em muitos casos, a demanda é desconhecida ou sua previsão é pouco precisa para que se possa adotar o modelo. Por vezes, os fornecedores impõem um tamanho mínimo de lote ou impõem um tamanho de lote muito grande, porém na prática ele não pode ultrapassar a capacidade de armazenamento da empresa compradora.

De uma maneira geral, ao se analisar os modelos baseados no LEP, uma das principais críticas envolve seu enfoque que se preocupa em definir tamanhos ótimos de compra considerando os custos de aquisição para então tentar reduzi-los, ao invés de se empenhar em reduzir o nível de inventário (ROSA, MAYERLEB, GONÇALVES, 2010, p. 627). Além disso, segundo a filosofia de manufatura enxuta, os níveis de estoque devem ser reduzidos ao máximo através da eliminação de suas causas, diferentemente do balanço de custos proposto pelo LEP.

Apesar das limitações indicadas, o modelo é considerado uma adequada opção para determinadas situações em que suas suposições se aproximem da realidade (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 368). Além disso, o uso de modelos mais complexos pode ser tão dispendioso que o aumento na precisão dos resultados não se justifique, ou talvez não seja garantida pela falta de dados.

Baseado em proposição de Ballou (2006), os custos são analisados de forma a estender a sistemática tradicional do LEP, que trata apenas a perspectiva da empresa compradora, ao considerar-se também a empresa vendedora. Trata-se de uma relação simples entre um fornecedor e um comprador, uma cadeia de suprimentos simplificada e reduzida.

O custo total de colocação de pedido é composto pelos custos de colocação de pedido do comprador $C_{C,c}$ e do vendedor $C_{C,v}$, sendo seus custos unitários respectivamente denotados por $c_{C,c}$ e $c_{C,v}$. Esses custos envolvem os itens de custos associados à colocação de pedido já enumerados nesta seção, sendo que no caso do fornecedor, esses custos dizem respeito principalmente aos custos de realização de *setup*. Com isso o cálculo de C_C é apresentado a seguir:

$$C_C = c_{C,c} \cdot \frac{D}{Q} + c_{C,v} \cdot \frac{D}{Q} \leftrightarrow C_C = \frac{D}{Q} (c_{C,c} + c_{C,v}) \quad (25)$$

O modelo adotado nessa dissertação considera os custos referentes à posse de inventário por parte do vendedor, segundo a política *lot-for-lot* de Banerjee (1986), diferentemente do que é considerado por Ballou (2006), que não os inclui no modelo. Ao analisar o nível de inventário do fornecedor, identifica-se uma diferença em relação ao comportamento verificado com o inventário do comprador, o qual é representado pela figura 23. Ao considerar que o fornecedor produz a uma taxa diferente da demanda do comprador pelo item e como essa taxa de produção r geralmente é maior que a taxa de demanda (BEN-DAYA, DARWISH, ERTOGRA, 2008, p. 731), para que assim ela possa ser satisfeita, assume-se que o vendedor produz ou compra o item a ser vendido continuamente até obter o tamanho de lote da transação. Considera-se que logo em seguida a obter a quantidade de itens do lote, o vendedor já entrega os produtos ao comprador. Assim a partir do momento em que o vendedor começa a produzir o lote de pedido, inicia-se o armazenamento dos itens por sua parte. Ressalta-se que é comum que o tamanho de lote seja múltiplo de algum valor referente a tamanhos de embalagem, capacidade da carga transportada, capacidade de armazenamento ou até a características do processo de produção. O modelo adotado considera apenas uma única expedição/transporte para cada lote produzido, conforme destacam Ben-Daya, Darwish e Ertogra (2008, p. 732), apesar de todos os outros modelos revisados por eles considerarem a possibilidade de se realizar mais de uma expedição/transporte

por lote. A figura 25 apresenta o esquema de um ciclo de inventário simplificado para o fornecedor, considerando a taxa de produção constante.

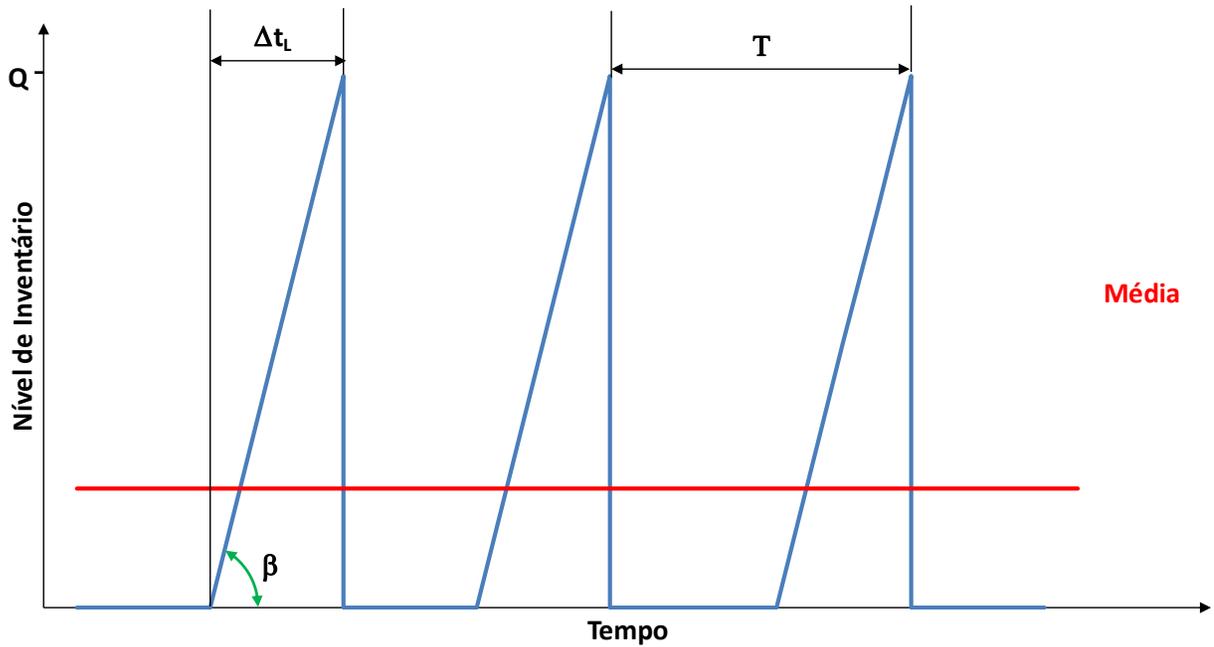


Figura 25 - Ciclo de inventário do fornecedor (baseado em BEN-DAYA, DARWISH, ERTOGRA, 2008, p. 732)

Como pode ser visto na figura 25, o termo Δt_L , o qual é considerado constante, equivale ao intervalo de tempo necessário para produzir o lote com Q itens, dado neste modelo em dias.

A taxa de produção dada em unidades do item por unidade de tempo, também constante, é dada como se segue:

$$r = \frac{Q}{\Delta t_L} \quad (26)$$

Sendo que o cálculo do ângulo β é dado da seguinte forma:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{Q}{\Delta t_L} \right) \quad (27)$$

Logo:

$$r = \tan(\beta) \quad (28)$$

Então o intervalo de tempo total em que o vendedor tem o produto em estoque durante o horizonte de tempo analisado, também denominado tempo de posse de inventário do vendedor ($T_{P,v}$) é proporcional ao número de encomendas realizadas por unidade de tempo:

$$T_{P,v} = fr \cdot \Delta t_L \quad (29)$$

Enquanto o período em que o vendedor não tem o produto em estoque durante o horizonte de tempo considerado ou o tempo de ausência de inventário do vendedor ($\tilde{T}_{P,v}$) é:

$$\tilde{T}_{P,v} = T_H - T_{P,v} = T_H - fr \cdot \Delta t_L \quad (30)$$

Onde T_H é o horizonte de tempo considerado, que pode ser, por exemplo, o ciclo de uma transação ou 365 dias que compõem um ano comum.

Assim o nível de estoque médio em posse do vendedor (\bar{E}_v) é calculado pela ponderação dos diversos níveis do referido item em estoque pelos intervalos de tempo em que se mantiveram com relação ao horizonte de tempo considerado:

$$\bar{E}_v = \frac{\sum_{f=1}^y \bar{E}_{v,f} \cdot \Delta t_f}{T_H} = \frac{(\sum_{f=1}^y \bar{E}_{v,f} \cdot \Delta t_f)_{estoque\ vazio} + (\sum_{f=1}^y \bar{E}_{v,f} \cdot \Delta t_f)_{com\ estoque}}{T_H} \quad (31)$$

Onde $\bar{E}_{v,f}$ é a quantidade média do item em estoque do vendedor pelo f -ésimo intervalo de tempo (Δt_f) no horizonte de tempo considerado, sendo y o número total de intervalos de tempo.

Quando há produção, como a taxa de produção é constante, a quantidade média de itens em inventário é a metade do tamanho de lote. Então se adotando um período de um ciclo de ressuprimento, ou seja, $T_H = T$ identificam-se dois intervalos de tempo Δt_f , que podem ser verificados com o auxílio da figura 25. O intervalo de tempo $\Delta t_1 = T - \Delta t_L$ no qual o estoque do vendedor está vazio, $\bar{E}_{v,1} = 0$, após a expedição do lote anterior e outro intervalo de tempo $\Delta t_2 = \Delta t_L$ no qual o estoque do vendedor aumenta com a produção do lote a uma taxa constante r , totalizando uma quantidade média de itens em inventário igual à metade do tamanho de lote, $\bar{E}_{v,2} = \frac{Q}{2}$. Com isso:

$$\bar{E}_v = \frac{\bar{E}_{v,1} \cdot \Delta t_1 + \bar{E}_{v,2} \cdot \Delta t_2}{T} = \frac{0 \cdot (T - \Delta t_L) + \frac{Q}{2} \cdot \Delta t_L}{T} = \frac{\frac{Q \cdot Q}{2 \cdot r}}{\frac{Q}{D}} \quad (32)$$

Que pode ser rearranjado em:

$$\bar{E}_v = \frac{Q \cdot D}{2 \cdot r} \quad (33)$$

Enquanto o custo de total de posse do item é calculado pela soma do custo de posse do comprador ($C_{P,c}$) e do custo de posse do vendedor ($C_{P,v}$), como exibido a seguir. Os seus respectivos custos unitários são $c_{P,c}$ e $c_{P,v}$. De acordo com Ben-Daya, Darwish, Ertogra (2008, p. 731) assume-se que $c_{P,c} > c_{P,v}$, pois geralmente o valor de um item estocado aumenta em níveis da cadeia de suprimentos mais próximos do cliente, conseqüentemente os custos de posse tendem a ser maiores. Assim:

$$C_P = c_{P,c} \cdot \frac{Q}{2} + c_{P,v} \cdot \frac{Q \cdot D}{2 \cdot r} \leftrightarrow C_P = \frac{Q}{2} \left(c_{P,c} + c_{P,v} \frac{D}{r} \right) \quad (34)$$

Dessa forma o custo de aquisição conjunto é:

$$C_A = \frac{D}{Q} (c_{C,c} + c_{C,v}) + \frac{Q}{2} \left(c_{P,c} + c_{P,v} \frac{D}{r} \right) \quad (35)$$

A aquisição tem custos associados apenas ao vendedor, ou o custo de venda do vendedor dado por:

$$C_{A,v} = c_{C,v} \frac{D}{Q} + c_{P,v} \frac{Q \cdot D}{2 \cdot r} \quad (36)$$

Com isso o lote econômico de pedido para o modelo que considera os custos do vendedor é dado por:

$$Q_v^* = \sqrt{\frac{2c_{C,v} \cdot D}{c_{P,v} \frac{D}{r}}} = \sqrt{\frac{2c_{C,v} \cdot r}{c_{P,v}}} \quad (37)$$

Por outro lado, o custo de aquisição do comprador assim como o tamanho de lote econômico considerando apenas os custos do comprador são dados pelas equações 21 e 24, respectivamente, as quais são reescritas de acordo com nova notação (contém índices associados ao comprador):

$$C_{A,c} = c_{C,c} \cdot \frac{D}{Q} + c_{P,c} \cdot \frac{Q}{2} \quad (38)$$

$$Q_c^* = \sqrt{\frac{2c_{C,c} \cdot D}{c_{P,c}}} \quad (39)$$

Portanto comparando-se a expressão 35 com a expressão do custo de aquisição apenas da empresa compradora, verifica-se que o termo $(c_{C,c} + c_{C,v})$ é o coeficiente que multiplica o termo $\frac{D}{Q}$ assim como o termo c_C . O mesmo se verifica quanto ao termo $(c_{P,c} + c_{P,v} \frac{D}{r})$ que é coeficiente do termo $\frac{Q}{2}$ assim como o termo c_P . Logo o lote econômico de pedido para o modelo que considera os custos do comprador e do vendedor é:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2(c_{C,c} + c_{C,v}) \cdot D}{(c_{P,c} + c_{P,v} \frac{D}{r})}} \quad (40)$$

Porém pode-se definir a razão entre custo unitário de posse do vendedor e do custo unitário de posse do comprador:

$$\alpha = \frac{c_{P,v}}{c_{P,c}} \quad (41)$$

Com isso as equações 34 e 35 podem ser rearranjadas assim como a equação 40, como se segue:

$$C_P = \frac{Qc_{P,c}}{2} \left(1 + \alpha \frac{D}{r} \right) \quad (42)$$

$$C_A = \frac{D}{Q} (c_{C,c} + c_{C,v}) + \frac{Qc_{P,c}}{2} \left(1 + \alpha \frac{D}{r} \right) \quad (43)$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2(c_{C,c} + c_{C,v}) \cdot D}{c_{P,c} \left(1 + \alpha \frac{D}{r} \right)}} \quad (44)$$

Em se tratando do modelo *lot-fot-lot* de Banerjee (1986), que pode ser considerado como uma versão estendida do EOQ para um vendedor e um comprador conjuntamente, ele pode auxiliar a integração entre duas empresas nas operações de encomenda por lote. Sendo que mecanismos formais e informais de divisão de benefícios podem ser instituídos de acordo com Ballou (2006) para estimular a cooperação e resolver conflitos.

4.3 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

É descrito a seguir o método adotado, que é uma simplificação do método UTA^{GMS}, para a situação de decisão referente à seleção de localização de uma instalação industrial.

O método multicritério adotado para avaliação e comparação das alternativas de decisão tem a finalidade de realizar a recomendação de alternativa(s) mais adequada(s) para o tomador de

decisão de acordo com suas preferências. Trata-se de um problema multicritério de escolha, ou um problema P. α aplicado a localização industrial. Além disso, esse é um problema discreto e relacionado à apenas uma única instalação.

Dois aspectos importantes a serem definidos antes da estruturação do modelo são a seleção das alternativas de decisão e dos critérios para avaliação das alternativas. Ao que concerne às alternativas de decisão, tratam-se de potenciais localizações de instalação das unidades industriais. É importante que nessa etapa identifiquem-se candidatos que respeitem pré-requisitos estabelecidos com base nas características básicas do problema e pelos agentes decisores.

Já a definição dos critérios deve buscar cobrir todos os aspectos de seleção importantes para o problema, segundo o axioma de exaustividade, sendo que os subcritérios mais específicos devem ser agrupados para compor critérios mais gerais. Isso pode ser feito através da opinião e conhecimentos dos tomadores de decisão e também por *benchmarking*, sejam por publicações acadêmicas, desenvolvidas por organizações de segmentos específicos da indústria, órgãos financeiros, consultorias, contatos com profissionais especializados, dentre outras formas. No caso de problemas de localização Kumar e Suresh (2009) enumeram uma série de doze fatores, os quais podem influenciar à tomada de decisão. Tanto os fatores apontados por esses autores como outros fatores levantados junto a outras referências são apresentados na seção 2.5 desta dissertação. Além disso, os axioma de coesão e de não redundância devem ser satisfeitos.

Em se tratando do sistema de avaliação considerado, estabelece-se uma função representando o critério global de avaliação do desempenho da alternativa a_k considerando todos os critérios da família de critérios F .

$$g(a_k) = f(g_i(a_k)), \quad \forall i \in F \quad (45)$$

Entretanto esse critério global pode ser representado pela função de valor $U(a_k)$, que representa a avaliação do critério global da alternativa a_k dentro de uma escala definida. Uma forma analítica simples e também muito usada para representação desse critério global é de natureza aditiva, baseada na **Soma Ponderada**, a qual é utilizada no modelo adotado,

diferentemente do UTA^{GMS} que adota outro tipo de função de agregação aditiva. A função de valor adotada é formalizada pela expressão a seguir:

$$U(a_k) = \sum_{i=1}^n w_i \hat{u}_i(g(a_k)) \quad (46)$$

Na expressão acima w_i são os coeficientes de ponderação de cada critério, os quais devem ser dados em uma escala definida e podem ser normalizados, e $\hat{u}_i(g(a_k))$ é a função de valor marginal da alternativa a_k com relação ao critério “ i ”.

A avaliação dos atributos das alternativas para cada critério deve ser realizada, por sua vez, dentro de uma escala em que os limites da função de valor sejam os mesmos para todos os critérios. Diferentemente do que é proposto por Greco, Mousseau, Słowiński (2008) em que qualquer função não-decrescente pode representar as funções de valor marginal, adota-se no presente modelo funções de valor mais simples, as quais são lineares, porém os valores de referência dessas funções não são variáveis como pode ser feito no UTA. Assim são usadas em alguns momentos mais de uma função linear (por intervalos) para definição das funções de valor marginal, sendo que os valores de referência são definidos por atribuição direta e as avaliações realizadas entre dois valores de referência são obtidas por interpolação linear.

Para a função de valor referente a um critério que envolve “ o ” subcritérios, utiliza-se a seguinte representação:

$$\hat{u}_i(g(a_k)) = \sum_{j=1}^o w_{i,j} \hat{u}_{i,j}(g(a_k)) \quad (47)$$

Onde $\hat{u}_{i,j}$ é avaliação que a função de valor do j -ésimo subcritério que compõe o critério “ i ”, ou subcritério “ i,j ”, assume para a alternativa a_k , $w_{i,j}$ é o coeficiente de ponderação do j -ésimo subcritério que compõe o critério “ i ”. Sendo que diferentemente de w_i , que é uma variável de decisão, $w_{i,j}$ não é uma variável.

Os indicadores de competitividade recomendados por Lee, Wilhelm (2010) para problemas de localização de instalações, ou em casos mais gerais, problemas estratégicos de cadeia de suprimentos globais, podem ser usados como dados para a avaliação dos atributos das alternativas para critérios ou subcritérios.

Além disso, os coeficientes de ponderação devem satisfazer algumas restrições gerais, ou requisitos básicos, traduzidas por restrições. Eles devem ser positivos e a soma de todos deve ser igual a um. Essas duas restrições são apresentadas a seguir.

$$w_i > 0, \quad \forall i \in F \quad (48)$$

$$\sum_i^n w_i = 1 \quad (49)$$

Com relação ao método adotado, constrói-se um modelo de agregação enriquecido por informações adicionais de preferência. Para a modelagem de preferência considerada, usam-se relações binárias que consideram indiferença e preferência, segundo uma estrutura de pré-ordem completa. Para ilustrá-las são utilizadas as relações abaixo:

$$\begin{cases} a_1 P a_2 \leftrightarrow g(a_1) > g(a_2), & \forall a_1, a_2 \in A \\ a_2 P a_1 \leftrightarrow g(a_2) > g(a_1), & \forall a_1, a_2 \in A \end{cases} \quad (50)$$

$$\text{Senão, } a_1 I a_2 \quad (51)$$

Entretanto para que tal síntese seja possível é necessário que esse modelo traduza da melhor forma possível as preferências de decisão do agente decisor ou do grupo de agentes decisores. Para isso algumas informações adicionais podem enriquecer o modelo sujeitando-o a restrições que traduzam essas preferências. Adaptando-se o conjunto de restrições adicionais apresentado por Figueira et al. (2008, p. 109) através do UTA^{GMS} e de sua extensão conhecida como *Generalized Regression with Intensities of Preference* (GRIP), algumas expressões representando possíveis destas restrições adicionais encontram-se a seguir.

$$U(a_1) > U(a_2) \text{ se } a_1 \text{ é preferível a } a_2 \quad (52)$$

$$U(a_1) = U(a_2) \text{ se } a_1 \text{ é indiferente à } a_2 \quad (53)$$

$$U(a_1) - U(a_2) > U(a_3) - U(a_4) \text{ se a diferença entre a avaliação de } a_1 \text{ e } a_2 \text{ é maior que a} \\ \text{diferença entre a avaliação de } a_3 \text{ e } a_4 \quad (54)$$

$$U(a_1) - U(a_2) = U(a_3) - U(a_4) \text{ se a diferença entre a avaliação de } a_1 \text{ e } a_2 \text{ é equivalente} \\ \text{diferença entre a avaliação de } a_3 \text{ e } a_4 \quad (55)$$

$$w_i > w_{i+1} \text{ se o critério } i \text{ é mais importante que o critério } i + 1 \quad (56)$$

Então denota-se a diferença d entre a soma ponderada de duas alternativas a_1 e a_2 como a seguir:

$$d(a_1, a_2) = U(g(a_1)) - U(g(a_2)) \quad (57)$$

Segundo Bouyssou et al. (2006, p. 341) pode ser usada a programação linear para avaliação de funções de valor, como solução a um sistema de restrições lineares, como é feito pelo método UTA. Porém o procedimento de otimização adotado é definido diferentemente do que é realizado pelo UTA, pois se trata de um método mais simples de se utilizar, com um menor número de variáveis. Então para que se verifiquem as relações de preferência entre as alternativas é definido um problema de programação linear cuja função objetivo seja a diferença d entre a soma ponderada entre duas alternativas, as variáveis de decisão sejam os coeficientes de ponderação, as restrições sejam informações adicionais preferenciais e requisitos básicos para os coeficientes de ponderação, por exemplo, garantir que sejam valores positivos.

Este procedimento de otimização deve ser realizado para todos os pares de alternativas, uma vez maximizando a função objetivo e outra vez minimizando, para que se possam computar relações binárias de preferência de forma semelhante ao que é realizado no método UTA^{GMS} original (GRECO, MOUSSEAU, SŁOWINSKI, 2008, p. 427), embora as variáveis de decisão

presentes na versão adotada do UTA^{GMS} sejam diferentes, o que implica, inclusive, em uma menor quantidade delas. Destaca-se que, de forma semelhante ao que é feito no método PROMETHEE VI (BRANS, MARESCHAL, 2005, p. 181), optou-se por impor limites inferiores w_i^- e superiores w_i^+ para os coeficientes de ponderação de cada critério através de restrições as programações lineares realizadas, conforme ilustrado:

$$w_i \geq w_i^-, \quad \forall i \in F \quad (58)$$

$$w_i \leq w_i^+, \quad \forall i \in F \quad (59)$$

Como propõe o método UTA^{GMS} (GRECO, MOUSSEAU, SŁOWINSKI, 2008, p. 429), o processo de construção da estrutura de preferências do modelo pode ser realizado de forma iterativa. O tomador de decisão pode, assim, realizar comparações entre as alternativas, através das informações adicionais de preferência, de forma incremental. Em alguns casos, o conjunto de restrições impostos pelas informações adicionais de preferência pode implicar na impossibilidade de se obter uma estrutura de valor capaz de satisfazê-las. Então o poliedro de soluções, produzido pelo conjunto de restrições, fica vazio. Nestas situações, caso o modelo não preveja a existência de incomparabilidade, o que é o caso do referido modelo uma vez que considera uma estrutura de pré-ordem total, deve-se alterar o conjunto de restrições para que o poliedro de soluções não fique vazio (GRECO, MOUSSEAU, SŁOWINSKI, 2008, p. 427). Também é possível que façam alterações nas avaliações de atributos das alternativas, através das parametrizações das funções de valor marginal e no conjunto de critérios definido.

Algumas conclusões podem ser feitas através da diferença de avaliação d entre cada par de alternativas, adaptado de Greco, Mousseau, Słowinski (2008), a partir do método UTA^{GMS}. Essas relações são usadas no presente modelo para a classificação das alternativas. As seguintes relações são necessariamente computadas:

Tabela 2 - Relações binárias a partir da diferença d

	$\max (d(a_1, a_2)) < 0$	$\max (d(a_1, a_2)) = 0$	$\max (d(a_1, a_2)) > 0$
$\min (d(a_1, a_2)) < 0$	a_2Pa_1	a_2Pa_1	a_1Ia_2
$\min (d(a_1, a_2)) = 0$	-	a_1Ia_2	a_1Pa_2
$\min (d(a_1, a_2)) > 0$	-	-	a_1Pa_2

O que significa que para uma dada diferença entre a avaliação das alternativas de decisão a_1 e a_2 através de suas funções de valor, $U(g(a_1)) - U(g(a_2))$, se a minimização apresentar um valor positivo, quer dizer que a função de valor (definida por uma soma ponderada) de a_1 é superior a função de valor de a_2 na pior das hipóteses, logo a_1 tem avaliação de desempenho superior a a_2 em qualquer situação, portanto a_1 é preferível a a_2 de acordo com os critérios estabelecidos. Analogamente se a maximização apresentar um valor negativo, quer dizer que a função de valor de a_1 não é superior a função de valor de a_2 na melhor das hipóteses, logo a_1 tem avaliação de desempenho inferior a a_2 em qualquer situação, portanto a_2 é preferível a a_1 de acordo com os critérios estabelecidos. Já se a minimização for negativa e a maximização for positiva, nada se pode concluir com relação à preferência, pois para determinados valores dos coeficientes de ponderação, a_1 terá maior soma ponderada que a_2 e para outros a_2 terá maior soma ponderada que a_1 .

Sabendo-se ainda que:

$$\min(d(a_1, a_2)) = -\max(d(a_1, a_2)) \quad (60)$$

Então:

$$a_1Pa_2 \leftrightarrow \min(d(a_1, a_2)) > 0 \leftrightarrow \max(d(a_2, a_1)) < 0 \quad (61)$$

Após realizar todo esse procedimento, será possível determinar um diagrama de preferência como é exemplificado na figura 26 para um grupo de oito alternativas de decisão (alternativa 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

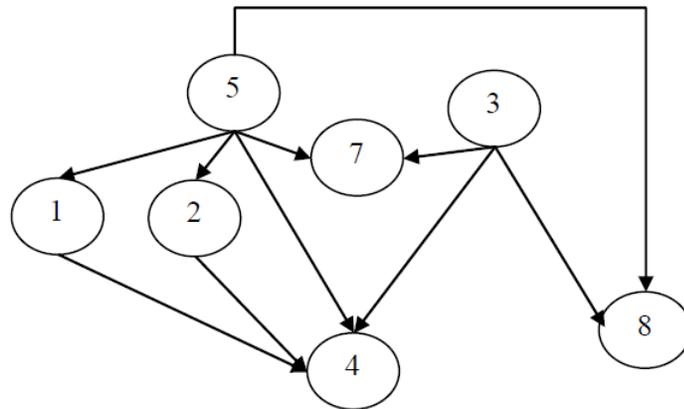


Figura 26 - Exemplo de diagrama de preferência (MOUSSEAU, 2009)

No diagrama de preferência, a origem e destino das setas representam, respectivamente, a alternativa preferível e a alternativa preterida.

A partir do esquema acima é possível verificar que as alternativas 3 e 5 são as melhores opções de decisão de acordo com o modelo proposto, pois são as únicas alternativas que não são preteridas por outras alternativas. Por outro lado, a alternativa 4 pode ser considerada a alternativa com o pior desempenho de acordo com o modelo proposto, pois é a única alternativa que é preterida por uma alternativa que, por sua vez, é preterida por outra alternativa.

Com isso é possível que se façam recomendações das alternativas mais indicadas a serem selecionadas para os decisores, de acordo com o modelo de preferências elaborado.

Na figura 27 é apresentado um fluxograma que esquematiza a utilização da análise multicritério descrita na presente seção.

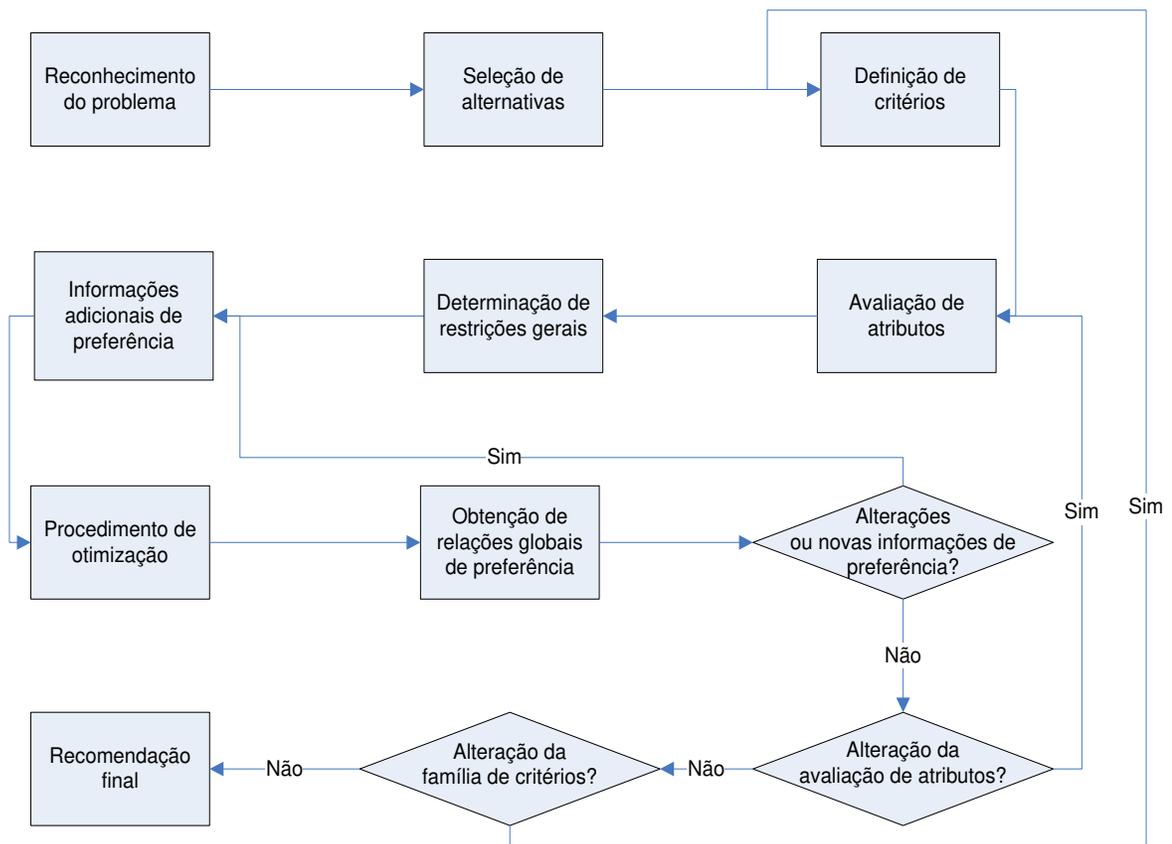


Figura 27 - Esquema de utilização da análise multicritério adotada

5 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo principal a aplicação de conceitos e métodos expostos nos capítulos anteriores, através da realização de um estudo aplicado, denominado contexto industrial, composto por duas situações distintas de decisão.

A primeira situação trata uma decisão operacional de provisionamento, o dimensionamento de um lote de compra. Para isso é adotado o modelo *lot-for-lot* de autoria de Banerjee (1986), descrito na seção 4.2 desta dissertação, que considera os custos do fornecedor e do comprador, baseando-se também em uma aplicação de Ballou (2006). Assim são analisadas as implicações dessa decisão para as duas empresas envolvidas, além da cadeia de suprimentos a que integram.

Já a segunda situação aborda uma decisão estratégica de produção, na qual a localização de uma nova unidade fabril deve ser selecionada. É adotado neste caso o método multicritério de apoio à tomada de decisão baseado em aplicação de Mousseau (2009), uma simplificação do método UTA^{GMS}, embora seja mais simples. Este método é apresentado na seção 4.3 desta dissertação.

Em ambos os casos, os cenários de estudo são hipotéticos, criados para a aplicação dos métodos em contextos de decisão característicos do segmento da empresa. São situações baseadas no contexto de um estudo de caso desenvolvido junto a uma montadora automobilística, sendo que o autor desta dissertação foi membro da equipe que o realizou. No entanto o objetivo do estudo de caso era diferente do objetivo do presente estudo aplicado, embora ambos tratem sobre cadeia de suprimentos. Assim parte dos dados adotados na aplicação que se segue é baseada no referido estudo de caso apesar de serem diferentes dos dados reais por questões de sigilo. Como a aplicação desta dissertação diz respeito a decisões específicas da cadeia de suprimentos, enquanto o estudo de caso de apoio tratou sobre a cadeia de suprimentos como um todo, foram aproveitados dados sobre características e estratégias da empresa, em especial sobre sua cadeia de suprimentos. Em se tratando de alguns dados não disponíveis para realização da presente

aplicação, estes foram estimados, sendo alguns baseados em pessoas e entidades diretamente ou indiretamente relacionados com o setor. Ademais, as propostas de decisão do estudo aplicado desta dissertação não refletem diretamente situações e estratégias reais colocadas pela empresa do estudo de caso de referência, são apenas criações hipotéticas baseadas em informações daquele estudo.

5.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A empresa de estudo é uma montadora automobilística de atuação global. Por questões de sigilo, seu nome não é divulgado assim como alguns fatos e informações usadas nos estudos não são iguais, embora sejam baseados na empresa.

Suas unidades fabris estão concentradas na Europa, embora tenha unidades em outros continentes. Na América Latina, conta com unidades de produção na região do Mercado Comum do Sul (MERCOSUL). Além disso, seu faturamento em escala mundial é bilionário e conta com a venda de milhões de veículos.

5.2 TAMANHO DE LOTE DE PEDIDO

Uma das unidades fabris europeias da empresa decidiu adotar uma nova estratégia de determinação de lotes de pedido para alguns itens de demanda independente, aproximadamente constante e conhecida e para itens de pouca representatividade no montante do inventário (itens de classe C, de acordo com a curva ABC). Essa nova estratégia busca reduzir os custos agregados de aquisição destes itens por parte da cadeia de suprimentos como um todo, ao considerar os custos de aquisição da montadora e de seus fornecedores conjuntamente.

Em uma fase inicial, optou-se por testar essa estratégia em certos itens piloto. Um destes itens, o qual serve de estudo para este trabalho, é uma pequena bucha de plástico usada na montagem do acabamento interno dos três modelos de veículos produzidos na unidade estudada.

Ressalta-se que esta bucha é um produto cujo valor tem pouca representatividade no valor total do carro. Ao se realizar uma curva ABC dos componentes do carro, verificar-se-ia que este é um item classe C. Logo ela é pouco influente no volume financeiro de inventário da empresa, o que justifica o não uso de modelos baseados nas necessidades produtivas para o seu controle e sim de modelos baseados na reposição de estoque, apesar de tratar-se de um item cuja demanda é dependente (BALLOU, 2011, p. 250) da demanda do veículo. Assim optou-se por um modelo em que o tamanho de lote não varie entre pedidos e que busque minimizar os custos de aquisição do item, o que são elementos básicos da formulação do Lote Econômico de Pedido. Entretanto, como já foi dito, esperava-se que não apenas os custos da montadora como um todo sejam reduzidos, mas os custos de aquisição conjuntos da montadora e seus fornecedores. Por outro lado esperava-se que o modelo adotado fosse de fácil aplicação/entendimento, estruturado da forma o menos complexa possível, com apenas uma expedição/entrega realizada por lote. Assim selecionou-se o modelo *lot-for-lot* de Banerjee (1986), que pode ser considerado como derivado do Lote Econômico de Pedido, pois cumpre bem as características desejadas por essa nova estratégia.

Com o modelo do LEP, assim como o modelo *lot-for-lot*, o custo de aquisição é pouco sensível à variação do tamanho do lote de pedido nas proximidades de seu ponto de mínimo custo. Outro ponto importante é que o tempo decorrido desde a colocação do pedido até a entrega da bucha é inferior a um mês. Dessa forma, foi determinado que se ajuste o tamanho do pedido em até 10% do tamanho do lote, com um mês de antecedência da entrega caso seja necessário, para que não haja problemas de ruptura do inventário do item devido a alterações na demanda ou para que não haja um volume excessivo de inventário do item, pois mesmo que esse reajuste seja feito não haverá aumento significativo no custo de aquisição.

5.2.1 DEMANDA E FORNECIMENTO

A unidade fabril que produz as buchas, distribui exclusivamente para a referida planta industrial da montadora, a qual produz três modelos de veículos, que utilizam esse componente. Os veículos são identificados como A, B e C, sendo as demandas de buchas por veículo, respectivamente, dois, um e quatro unidades. Soma-se a isso uma necessidade dessas buchas estimada em 3% a mais da quantidade total utilizada na produção dos veículos, que serão distribuídas nas oficinas de reparo e centros de manutenção autorizados do grupo.

Assim pode-se calcular a demanda total dessas buchas para essa unidade montadora de veículos. Inicialmente foram estimadas as demandas dos veículos A, B e C, baseando-se na produção total de veículos da planta, avaliada em 281.710 veículos. Depois foi calculada a demanda total de buchas de acordo com o modelo de veículo, então se somou essas demandas e acrescentou-se 3% a esse valor.

Os resultados dos cálculos descritos são apresentados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Demanda de Veículos

Veículo	Produção (unidades)		
	Diária	Mensal	Anual
A	550	10.087	121.047
B	460	8.437	101.240
C	270	4.952	59.423
Total	1.280	23.476	281.710

Tabela 4 - Demanda da bucha

Veículo	Peça (unidades)			
	Por Veículo	Diária	Mensal	Anual
A	2	1.100	20.175	242.095
B	1	460	8.437	101.240
C	4	1.080	19.808	237.693
Total	-	2.640	48.419	581.027

Com o acréscimo de 3% sobre a demanda total de buchas dos veículos produzidos, o valor determinado para demanda anual dessas buchas é de 598.458, com valor mensal aproximado de 49.593 unidades, desprezando os efeitos de sazonalidade e considerando que a demanda mensal é constante no decorrer do ano para esse item.

Outro aspecto considerado neste estudo é que o prazo limite para realizar a entrega é considerado fixo, pois a empresa fornecedora sempre atende as encomendas da montadora dentro de um prazo definido em contrato. Esse prazo é altamente praticável devido à razoável proximidade física que há entre a fábrica do fornecedor e a montadora. A taxa de produção (r) considerada do fornecedor é de 960.000 unidades por ano.

Já o fornecedor impõe uma restrição à determinação do tamanho do pedido ao estabelecer que o lote de compra deva ser múltiplo de 50 unidades. Essa imposição é colocada em função de características do processo de produção da bucha.

5.2.2 CUSTOS E RESULTADOS

Como já descrito anteriormente, o custo de aquisição (não inclui pagamento do valor do produto) o qual varia com o tamanho de lote encomendado, pode ser decomposto em dois termos de custo: o custo de colocação de pedido e o custo de posse do pedido na forma de inventário. Isso pode ser verificado através das equações 21, 35, 36, 38 e 43. Ademais, enquanto a

sistemática tradicional do LEP se baseia apenas nos custos da empresa compradora, o presente estudo analisa a questão por três cenários distintos considerando:

- a) apenas os custos de aquisição do comprador (consideração tradicional) e com dimensionamento de lote ótimo para o comprador de acordo com as expressões 38 e 39, respectivamente;
- b) apenas os custos venda do fornecedor (não inclui tributação) e com dimensionamento de lote ótimo para o fornecedor de acordo com as expressões 36 e 37, respectivamente;
- c) a soma dos custos de aquisição do comprador e dos custos de venda do fornecedor (baseado em adaptação de BALLOU, 2006), dada pelas expressões 35 e 43, e o dimensionamento de lote ótimo para as duas empresas tratadas como se fossem um sistema integrado, ou uma única organização, dada pelas expressões 40 e 44.

O custo unitário de colocação de pedido para a montadora foi avaliado em 460,00 €/pedido pela soma do custo de transporte, de recebimento e inspeção do pedido e por outros itens de custos. Já o custo unitário de colocação de pedido para o fornecedor foi avaliado em 778,17 €/pedido pela soma do custo de transporte (assumido que há compartilhamento com a montadora), de expedição, de *setup* (principal montante) e por outros itens de custos.

Ao que concerne o custo unitário de posse por unidade de tempo da montadora e do fornecedor, foram considerados custos com seguro da bucha, de armazenamento e de oportunidade (o capital alocado nas buchas, o qual poderia estar sendo usado como fonte de outros rendimentos), chegando-se aos respectivos montantes de 7,85 €/(unidade · ano) e 5,34 €/(unidade · ano). O que implica em uma razão α equivalente a 0,68, respeitando a relação $c_{P,c} > c_{P,v}$ citada na seção 4.2.

Com isso, para os cenários “a” e “b” os tamanhos dos lotes de pedido calculados são, respectivamente, de 8.376 unidades e de 16.723 unidades. Porém com uma adequação em função da multiplicidade de lote, os valores adotados são de 8.400 unidades e de 16.700 unidades.

Para o cenário “c”, os valores do custo unitário de colocação de pedido e do custo unitário de posse por unidade de tempo acumulam os componentes do custo de aquisição do fornecedor e da montadora. Dessa forma, o tamanho da encomenda calculado e tamanho da encomenda adotado são, respectivamente, 11.514 unidades e 11.500 unidades.

Com isso, as figuras 28 e 29 mostram, respectivamente, as curvas do custo de aquisição das buchas para os três cenários estudados e a concavidade da curva para o cenário “c” com maior detalhe.

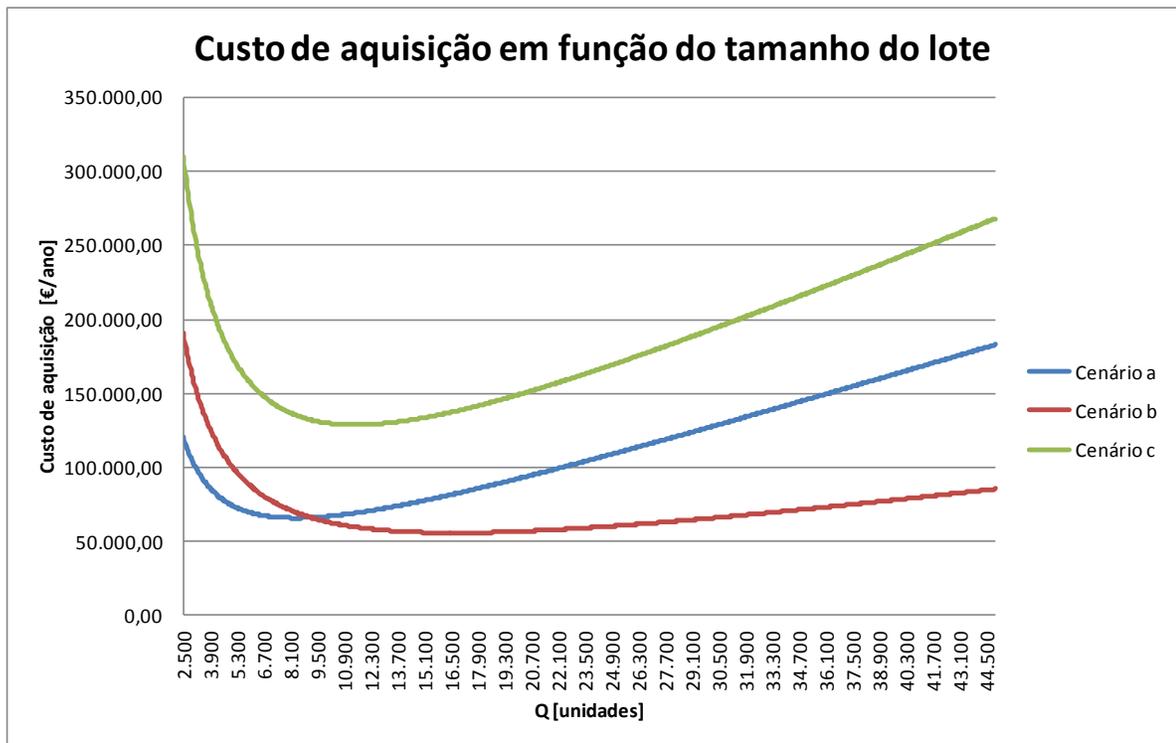


Figura 28 - Curvas do custo variável de aquisição

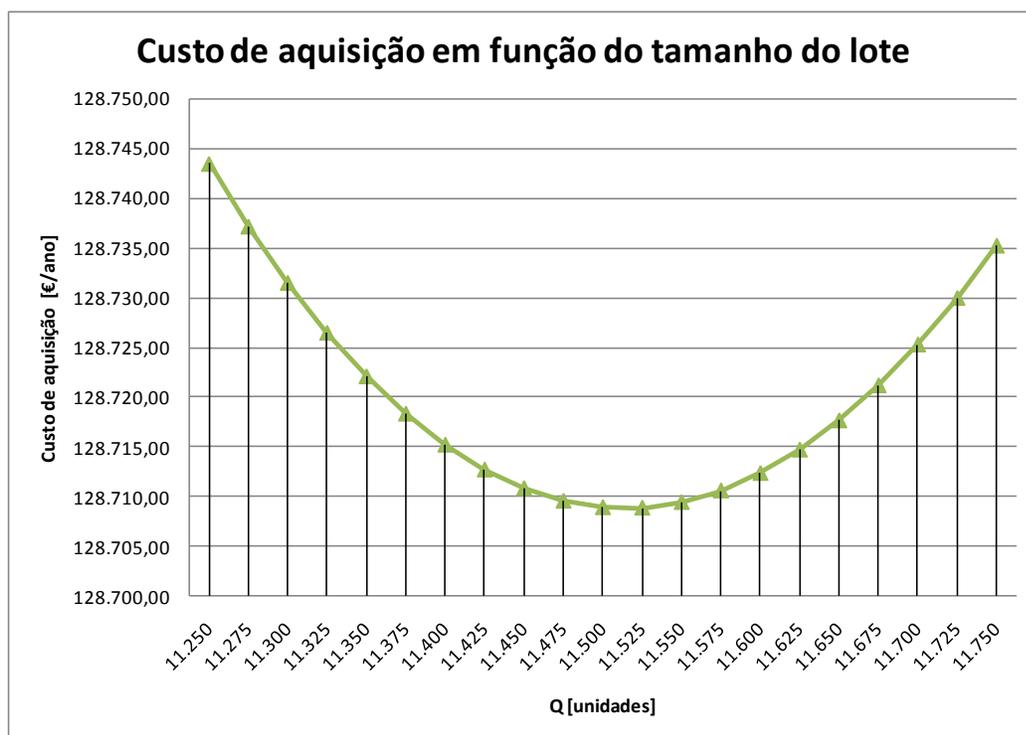


Figura 29 - Concavidade da curva do custo de aquisição para o cenário “c”

O tamanho de lote ótimo para cada um dos cenários e os custos de aquisição associados estão sintetizados na tabela 5.

Tabela 5 - Tamanhos de lotes ótimos e seus respectivos custos de aquisição para cada um dos três cenários

Cenário	Q* [unidades]	Custo de Aquisição [€/ano]		
		Montadora	Fornecedor	Ambos
a	8.400	65.732,58	69.429,23	135.161,81
b	16.700	82.011,88	55.697,23	137.709,11
c	11.500	69.061,98	59.646,93	128.708,91

5.2.3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Analisando-se os resultados apresentados na tabela 5, nota-se que o custo de aquisição para o tamanho de lote ótimo do cenário c, ou seja, considerando o custo tanto do comprador como o do fornecedor, é menor em relação aos outros dois cenários. Em relação ao custo de aquisição referente ao lote ótimo para a montadora, há uma redução de 6.452,90 € ou 4,8 %. Já em relação ao custo referente ao lote ótimo para o fornecedor, há uma redução de 9.000,20 € ou 6,5 %.

Assim é recomendável que se utilize o tamanho de lote ótimo do cenário c (ou um valor próximo), de 11.500 unidades, para que se reduza ao máximo o custo de aquisição da cadeia de suprimentos e não apenas da empresa fornecedora ou da compradora da bucha. Ressalta-se que esse modelo pode ser aplicado a outros itens compatíveis para sua utilização, o que pode fazer com que a cadeia economize um montante muito mais considerável de recursos. Inclusive itens que utilizam o modelo do LEP tradicional podem migrar para a versão utilizada neste estudo.

Portanto essa aplicação mostra um método de apoio à tomada de decisão que pode ser aplicado a um caso particular de aquisição, para que assim se atinjam melhores resultados individuais e globais, quando em uma mesma cadeia de suprimentos, as empresas têm objetivos comuns.

Então adotando a solução proposta e caso a demanda por buchas seja constante, o período ótimo entre entregas deve ser em torno de 7 dias, ou uma semana, o que totaliza uma frequência ótima de entrega de 52 vezes ao ano conforme as hipóteses adotadas, de acordo com as equações 19 e 20.

É importante destacar que os valores de custo associados à empresa vendedora e à compradora podem ser divididos entre elas diferentemente dos valores de custo calculados pelo modelo. Isso pode ser feito por negociação entre as duas partes, com previsão de descontos ou deduções do preço da bucha, dependendo do que for negociado. Uma possibilidade é definir valores de custos que garantam que a diferença entre o custo de aquisição da montadora para o

cenário “c” e o custo de aquisição da montadora para o cenário “a” seja igual a diferença análoga para o fornecedor, ou seja, a diferença entre o custo de aquisição associado ao fornecedor para o cenário “c” e o custo de aquisição associado ao fornecedor para o cenário “b”. Neste caso as duas empresas envolvidas terão a mesma margem de acréscimo sobre o custo de aquisição que é ótimo para cada uma. O que para o presente estudo, definiria o custo da montadora em 69.372,13 € e o custo do fornecedor em 59.336,478 €, garantindo uma mesma margem de acréscimo, equivalente 3.639,55 € em relação aos custos para seus lotes ótimos, respectivamente, 65.732,58 € e 55.697,23 €.

De acordo com esta divisão proposta, como os custos de aquisição associados à montadora e ao fornecedor de acordo com o modelo adotado são, respectivamente, 69.061,98 € e 59.646,93 €, a montadora pagaria um acréscimo de 310,15 € ao custo de aquisição anual, enquanto o fornecedor receberia esse valor para deduzir de seu custo de aquisição.

É importante ressaltar que outro parâmetro de negociação de preço é a quantidade de itens demandados pelo comprador, usada na determinação do lote econômico, dentro do horizonte de tempo estipulado em contrato.

Em uma sistemática tradicional do modelo do Lote Econômico de Pedido, cenário “a”, a empresa compradora selecionaria o valor ótimo considerando apenas seus custos. Em contrapartida, a empresa fornecedora exigiria que um tamanho mínimo de lote fosse respeitado, além de eventuais questões de multiplicidade do tamanho do lote. Ela, dessa forma, teria um custo de venda mais elevado, o que automaticamente seria imputado no preço do produto vendido. Com isso, a escolha de um tamanho de lote considerando apenas os custos do comprador poderia não ser tão vantajosa quanto se esperava, pois o preço de compra seria aumentado e o produto final, no caso da montadora os veículos A, B e C, teria um custo mais elevado em função de gastos maiores com aquisição. Esse custo a mais pode ser muito pouco significativo ao considerar suas implicações com relação ao custo unitário de um veículo, quando considerando apenas a bucha. Entretanto aplicando-se esse modelo tradicional a diversos itens utilizados na fabricação de um veículo, o montante destes gastos com aquisição representaria um valor realmente significativo ao que concerne o custo de um veículo.

No cenário “a”, a montadora teria um custo de aquisição 3.329,40 € menor enquanto que o fornecedor teria um custo de venda 9.782,30 € maior em relação aos custos adotando a sistemática de tamanho de lote ótimo por integração comprador-vendedor (cenário “c”). Assim o fornecedor repassaria no mínimo todo seu custo de venda, que não foi levado em consideração pela montadora, ao contrato de venda.

Com relação à possibilidade de ajuste do tamanho do pedido, verifica-se que o custo de aquisição tem pequeno crescimento ao se variar a quantidade de unidades encomendadas nas proximidades do valor ótimo. Isso é fácil de observar através da concavidade da curva do custo de aquisição, como nos gráficos das figuras 28 e, especialmente, 29. Supondo-se que a demanda anual seja mantida a mesma, porém a quantidade de pedido de todas as encomendas tenha sido reduzida aproximadamente 10% em relação ao valor ótimo, ou seja, de 11.500 para 10.350 (já convertido à multiplicidade exigida), o custo de aquisição será 129.441 €/ano, apenas 732 € a mais ou 0,57%. Neste caso o número de entregas será maior. Já para uma quantidade de pedido em que todas as encomendas sejam 10% superior ao valor ótimo, ou seja, de 11.500 para 12.650 (com a multiplicidade exigida), o custo de aquisição será 129.279 €/ano, apenas 570 € a mais ou 0,44%. Assim eventuais variações do tamanho de lote dentro da margem de 10%, estabelecida em contrato, implicariam em um aumento pouco significativo nos custos de aquisição, caso seja mantida a demanda anual (o que implica em mudanças no número de entregas).

Já no caso em que há uma redução de 10% da demanda anual pelas buchas, equivalente à 538.611 unidades, o tamanho de lote econômico para o cenário “c” é 11.100 unidades com um custo de aquisição ótimo de 120.271 €. Mantendo-se o tamanho de lote definido para a demanda original, de 11.500 unidades, e reduzindo-se o número de entregas adequadamente (para suprir a nova demanda), para esse novo cenário o custo de aquisição seria de 120.350 €, um valor 79 € maior ou 0,07% maior que custo de aquisição ótimo.

Fazendo uma análise semelhante, porém com aumento de 10% na demanda anual pelas buchas, equivalente a 658.303 unidades, o tamanho de lote econômico para o cenário “c” é 11.900 unidades com um custo de aquisição ótimo de 136.987 €. Mantendo-se o tamanho de lote de 11.500 unidades e aumentando-se o número de entregas adequadamente (para suprir a nova

demanda), para esse novo cenário o custo de aquisição seria de 137.067 €, um valor 80 € maior ou 0,06% maior que o custo de aquisição ótimo.

Realizando análise em situações semelhantes, porém com variação de demanda de 50%, haveria um custo adicional de 2.958 € ou 3,5% em relação ao custo de aquisição ótimo para o caso de redução e um custo adicional de 1.531 € ou 0,9% em relação ao custo de aquisição ótimo para o caso de aumento.

Portanto, apesar do tamanho de lote poder ser reajustado em 10%, mesmo havendo variação de demanda da ordem de 50%, o custo de aquisição teria aumento pouco significativo em relação ao custo de aquisição ótimo, caso seja mantido o tamanho de lote ótimo para o valor de demanda original.

Com isso, verificou-se que baseado no modelo é possível que se façam ajustes no tamanho de lote em função de variações na demanda sem que haja aumento significativo nos custos de aquisição, devido à sua baixa sensibilidade em função do tamanho de lote nas proximidades de seu ponto ótimo. Assim, em situações de oscilação não muito elevada de demanda e com uma razoável capacidade de previsão de demanda, pode-se fazer uso de um sistema híbrido de colocação de pedido baseado no modelo proposto e com revisão antecipada do tamanho da encomenda. Isso inclusive pode ser feito para itens de demanda dependente e com baixa representatividade no volume total do inventário, como no estudo efetuado.

5.3 LOCALIZAÇÃO DE NOVA FÁBRICA

Na segunda situação estudada, a direção da montadora decidiu, amparada por sua estratégia de ampliação de mercado consumidor em mercados pouco explorados pela companhia, que uma nova unidade fabril será aberta na região envolvendo a América Central, México e norte da América do Sul, para aumentar as participações da empresa naquele mercado. É importante

ressaltar que a montadora já conta com unidades de produção no continente americano, localizadas no MERCOSUL, que são voltadas, porém, ao mercado sul-americano.

A nova unidade deve se localizar dentro da área onde se situam esses mercados alvos, de onde deve distribuir seus veículos, com principal prioridade para o México seguido dos países Colômbia, Equador e Venezuela, além de países de menores dimensões da América Central.

Também foi determinado que a base de operações logísticas dos veículos dar-se-á preferencialmente pelo eixo Atlântico, com uso estratégico do canal do Panamá para casos em que o eixo Pacífico se mostre indispensável ou mais rentável.

Baseando-se em procedimento proposto por Fernández e Ruiz (2009), foi determinado que o problema seja estruturado em três fases, sendo a primeira relativa à seleção de um país dentro da macro-região designada. Na fase seguinte é selecionada uma região dentro do país selecionado na primeira fase e na última fase é selecionado um terreno na região selecionada na fase anterior. Conforme apresentado na figura 30, a presente dissertação trata apenas da primeira fase, ou seja, considera-se que o projeto envolve apenas a **seleção de um país** para a localização da instalação industrial.

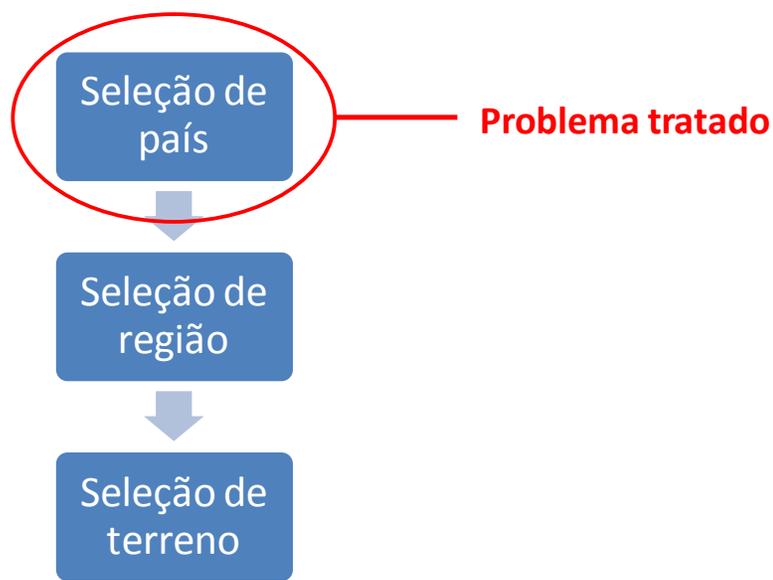


Figura 30 - Fases de seleção de localização

Uma pessoa foi designada para coordenar esse projeto com auxílio de uma equipe. As preferências e outras características incorporadas à aplicação do método adotado devem ser tomadas com base em um modelo **consultivo** de projeto em equipe, sendo assim a preferência final cabe ao coordenador do projeto. Porém deve-se haver cuidado para que as preferências expressas reflitam os valores e o planejamento estratégico da empresa. Relembrando que esta situação é hipotética e, dessa forma, cabe a aplicação desenvolvida nesta dissertação desempenhar a atuação do analista ao considerar as preferências da equipe. Então ao final do projeto, espera-se elaborar uma recomendação final para a direção da empresa efetuar a decisão final, com relação ao país onde será localizada a instalação.

Com o intuito de que a decisão vinculada a essa questão não seja orientada por uma análise simplista, que considere apenas um único critério, geralmente financeiro, desprezando aspectos importantes relacionados à questão, foi decidido que o método de apoio à tomada de decisão seja multicritério. Por outro lado espera-se que o método adotado tenha um grau de complexidade mais reduzido considerando sua proposta, para que seja facilitado seu entendimento e sua aplicação. De uma forma geral, ele deve avaliar os países candidatos a localização da unidade de produção tentando traduzir as restrições e preferências da empresa. Além disso, espera-se que tenha uma estrutura de agregação aditiva, com coeficientes de ponderação e faça uso de relações características de sobreclassificação. Assim optou-se por utilizar o método descrito na seção 4.3 desta dissertação, baseado nas justificativas contidas na seção 4.1. Este método tem elementos semelhantes ao UTA^{GMS} , porém pode ser considerado mais simples e a função de agregação utiliza coeficientes de ponderação, diferentemente do UTA^{GMS} .

Além disso, baseando-se em Lee, Wilhelm (2010), que defendem o uso de indicadores de competitividade nos modelos de apoio para problemas de localização de instalações, é desejável que sejam utilizados indicadores ou índices referentes aos países considerados, elaborados por organizações de reconhecimento internacional, para avaliação de seus atributos. Além disso, os autores descrevem como a localização de instalações da indústria automobilística é explicada por indicadores de competitividade. Para tanto o modelo adotado permite que as características defendidas por eles sejam incorporadas.

Ele tem avaliação de pontuação baseada em uma soma ponderada de diversos critérios e faz uso de programação linear para estabelecer relações de preferência entre os países candidatos.

Conforme o exemplo apresentado por Greco, Mousseau, Słowiński (2008, p. 433), a avaliação dos atributos, segundo uma função de valor, deve respeitar uma escala entre 0, a menor avaliação, e 100, a maior avaliação, para fins de padronização do estudo. Já os coeficientes de ponderação devem ser avaliados entre 0 e 1, sendo que a soma de todos eles deve ser igual a um, para que assim se garanta que a pontuação global de uma alternativa seja avaliada no mínimo em 0 e no máximo em 100.

5.3.1 SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS

A definição das alternativas de decisão foi levantada junto da equipe de projeto, considerando países dentro da macro-região onde se localizam os mercados alvos. Os países considerados são aqueles em que se acredita no potencial, para que uma vez instalada a indústria, haja um cenário favorável e confiável para o crescimento dos negócios e respeito da autonomia da empresa. Com isso, optou-se por trabalhar com um grupo de no máximo dez países para que o modelo não contenha alternativas com pouca possibilidade de serem selecionadas e o modelo não se torne de difícil análise em função de um elevado número de alternativas. Desta forma, considerou-se como alternativas um grupo de dez países em que há uma maior preferência junto da equipe de projeto, sendo que o coordenador do projeto pode vetar algum país que não concordasse com a presença na relação.

Além das perspectivas favoráveis em termos de negócios, estabeleceram-se três critérios explícitos para que os países pudessem ser validados como alternativas de decisão: ter população de pelo menos 500 mil habitantes (dados da UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION, 2011a) – restrição que influencia diretamente na existência de um número mínimo de habitantes para, potencialmente, trabalhar na unidade; que os estudos e indicadores de competitividade, usualmente encontrados, avaliem o país; que sejam países com autonomia plena de governo (o

que implica na exclusão de Porto Rico, por exemplo) para que, assim, sejam considerados apenas países que tenham autoridade, dentro de seu território, na política, economia, bem como outras pautas relevantes em termos de negócios e para que sua análise seja menos complexa.

Os países alternativos estão dispostos na tabela 6, em ordem alfabética. Para facilitar a designação, elaborou-se símbolos para representá-los.

Tabela 6 - Países alternativos

Alternativa	Símbolo	País
País 1	P1	Colombia
País 2	P2	Costa Rica
País 3	P3	Equador
País 4	P4	Jamaica
País 5	P5	México
País 6	P6	Panamá
País 7	P7	República Dominicana
País 8	P8	Suriname
País 9	P9	Trinidad e Tobago
País 10	P10	Venezuela

5.3.2 DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS

Após uma análise, elegeram-se onze critérios considerados críticos para a avaliação das alternativas, classificando-os conforme sua relevância à tomada de decisão e à estratégia da empresa. No entanto, pondera-se que a seleção dos critérios e a definição de sua relevância não são características fixas desse tipo de problema, pois podem variar com as circunstâncias. Portanto, para presente análise, essas características foram definidas considerando principalmente o panorama dos anos de 2010 e 2011, sobretudo na região onde será instalado o complexo fabril, a presente situação da montadora, o que inclui suas estratégias e seu planejamento. Essa influência de circunstância pode ser mais bem notada ao se supor que a instalação industrial fosse ser situada em um país do norte do continente africano ou na Ásia Ocidental, onde desde o final

de 2010 ocorrem protestos e manifestações contra os governos instalados, o que é conhecido como Primavera Árabe. Nessas circunstâncias descritas, a relevância da estabilidade institucional seria certamente maior.

Em termos gerais, o conjunto de critérios selecionados se justifica por abranger aspectos críticos para um bom desempenho em termos de negócios da unidade de produção nos países avaliados. Esses aspectos são: infraestrutura, mão-de-obra, mercado consumidor, condições de fornecimento (incluindo matéria-prima), procedimentos burocráticos, tributação, situação econômica e institucional.

Primeiramente deve ficar claro para a equipe responsável por esta decisão, que os critérios selecionados devem ser mutuamente exclusivos. Com isso, sua determinação e seus respectivos graus de relevância utilizados no modelo foram levantados através da preferência da equipe de projeto e baseando-se em algumas referências bibliográficas para problemas de localização de instalações, que são citadas mais à frente. Para a validação dos critérios enumerados verificou-se se cada um pode ser traduzido em avaliação de cada uma das alternativas, ou seja, se há métricas confiáveis para avaliar uma alternativa quanto ao critério e se essas métricas cobrem o grupo de países alternativos considerado. Também se verificou se o conjunto de critérios satisfazem os axiomas de exaustividade, de coesão e de não redundância.

Esse processo de definição e classificação de critérios baseou-se também nos doze fatores enumerados por Kumar e Suresh (2009), nos indicadores adotados pelo *The Global Competitiveness Report 2011-2012* (SCHWAB, 2011), os fatores identificados por Melo, Nickel, Saldanha da Gama (2009, p. 406) e por Meixell e Gargeyaritique (2005) para esse tipo de problema e os critérios adotados por Özdağoğlu (2011), notando que o problema tratado por esse autor é para a seleção de um terreno em diferentes distritos de uma cidade para instalação de uma indústria.

O *The Global Competitiveness Report 2011-2012* (SCHWAB, 2011) é um relatório de competitividade global publicado no Fórum Econômico Mundial de 2011, em que 142 países têm sua competitividade de negócios avaliada com relação a diversos critérios de relevância

econômica. São considerados diversos aspectos de uma economia, sendo alguns deles pouco relevantes para o problema tratado. Segundo, Lee, Wilhelm (2010) é uma das principais referências para a obtenção de indicadores de competitividade a serem usados em problemas como o de seleção de localização.

A maior parte das aplicações para seleção de localização considera como principal critério (em alguns casos o único) a distância e os custos associado à logística de distribuição de produtos acabados e matéria-prima, além de custos de produção. Neste estudo, porém como se trata da avaliação de um país e não de um terreno ou região, que são fases a serem definidas após a seleção de um país, não é possível definir com exatidão esses custos de distribuição, quais serão os trajetos percorridos, os modos de transporte adotados para cada caso, as distâncias percorridas desde os fornecedores ou até os clientes. Apesar disso elegeu-se um critério que avalie de forma simplificada a posição geográfica do país em relação aos mercados alvos. Esse critério, que é melhor explicado mais adiante, é equivalente ao fator proximidade aos mercados apresentado por Hugos (2006, p. 14) e Kumar e Suresh (2009). Nele se incluiu uma componente relativa ao tamanho do mercado consumidor voltado para automóveis, o que é semelhante ao pilar tamanho de mercado (Ibidem) e ao critério potencial de demanda (ÖZDAĞOĞLU, 2011).

Transporte e energia são dois outros critérios considerados que são referentes ao fator “c” e um dos componentes do fator “d” levantados por Kumar e Suresh (2009). O *The Global Competitiveness Report 2011-2012* (SCHWAB, 2011) considera-os, porém dentro de uma mesma categoria, infraestrutura, ou condições de infraestrutura para Hugos (2006, p. 14), contudo nesse modelo de preferência optou-se por manter os itens como critérios separados e assim os seus respectivos coeficientes de ponderação poderem variar, pois a importância de cada um destes aspectos pode alterar-se com o contexto. Segundo Lee, Wilhelm (2010) a infraestrutura de transporte e seus planos de expansão influenciam os custos e a capacidade de transporte.

Com relação à mão-de-obra, há um critério para o custo e outro para a qualidade, assim como colocado por Hugos (2006, p.14), para que assim possa variar a importância relativa de cada um desses critérios de forma distinta (pois cada um tem, dessa forma, um coeficiente de ponderação próprio). Kumar e Suresh (2009) tratam-no como um único fator – mão-de-obra e

salários. Slack, Chambers, Johnston (2009, p. 153) destacam que a eficácia da produção pode ser afetada em localizações onde é difícil contratar mão-de-obra devidamente capacitada. Sendo que o custo da mão-de-obra é um aspecto significativo quando se trata de uma análise internacional (Ibidem, p. 155). Meixell e Gargeyaritique (2005), por sua vez, citam esse fator como influência da vantagem competitiva de uma cadeia de suprimentos. Os próprios artigos revistos por eles consideram a disponibilidade e habilidade de mão-de-obra.

Os critérios fornecedores e matéria-prima se baseiam nos fatores “b” e “j” levantados na seção 2.5 desta dissertação (KUMAR, SURESH, 2009), fornecimento de matéria-prima e indústrias e serviços para fornecimento e suporte da instalação (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p. 155) associados, respectivamente, com os indicadores de qualidade e quantidade dos fornecedores locais (SCHWAB, 2011), fatores também apontados por Meixell e Gargeyaritique (2005). Enquanto Hugos (2006, p.14) sugere apenas o fator proximidade dos fornecedores. Segundo Meixell e Gargeyaritique (2005, p. 547) muitos modelos negligenciam a avaliação do desempenho dos fornecedores.

Outro critério considerado diz respeito aos processos legais com importância para negócios. É avaliada a agilidade desse tipo de trâmite burocrático. Esse critério baseia-se no estudo *Doing Business* elaborado pelo Banco Mundial (WORLD BANK, 2010b) e em aspectos tratados como eficiência do mercado para bens (SCHWAB, 2011). Tributação, por sua vez, é representada por um critério o qual é tratado por Hugos (2006, p. 14), e Schwab (2011) no pilar relativo à eficiência do mercado para bens, enquanto Melo, Nickel, Saldanha da Gama (2009, p. 406) identificam impostos, tarifas alfandegárias, taxas de troca como aspectos da categoria de fatores internacionais. Tanto tarifas alfandegárias como taxaço, que são utilizados para avaliação do critério tributação, são encontradas nos estudos da revisão realizada por Meixell e Gargeyaritique (2005).

Estabilidade internacional é um critério baseado no fator “h” (KUMAR, SURESH, 2009) e no pilar instituições (SCHWAB, 2011). Além disso, um critério foi criado para avaliar o desempenho econômico do país, baseando-se no pilar ambiente macroeconômico (Ibidem). Para

Lee, Wilhelm (2010) incertezas associadas à alternativa considerada, como instabilidade governamental, são considerações importantes no projeto da cadeia de suprimentos.

Na presente aplicação, por se tratar de uma situação hipotética, optou-se por não incorporar a família de critérios eventuais benefícios ou incentivos concedidos por governos, um dos fatores financeiros apontados por Melo, Nickel, Saldanha da Gama (2009, p. 406), para a instalação da unidade. O tópico condições climáticas foi considerado de muito baixa relevância para o problema. Alguns fatores como infraestrutura da comunidade, fator “i” (KUMAR, SURESH, 2009), também não foram incorporados ao modelo, pois foram considerados impertinentes para a fase de seleção do país, sendo de maior importância quando se trata da seleção de uma região ou um terreno em um dado país. Já questões relacionadas à disponibilidade de capital (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009, p. 406), fator “g” (KUMAR, SURESH, 2009), não são tidas como relevantes, pois o capital destinado ao investimento na nova planta é oriundo integralmente dos recursos disponíveis para investimento da empresa, sem o auxílio de terceiros ou financiamentos.

O fator taxa de câmbio, identificado por Meixell e Gargeyaritique (2005), é avaliado indiretamente, pois está presente, de certa forma, em alguns indicadores considerados, como salário mínimo, PNB per capita e débito bruto governamental.

Para facilitar a designação desses critérios foram associados símbolos a eles. Os critérios considerados estão presentes na tabela 7.

Tabela 7 - Critérios selecionados (baseado em HUGOS, 2006, p. 14; KUMAR, SURESH, 2009; MEIXELL, GARGEYARITIQUE, 2005; MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009; ÖZDAĞOĞLU, 2011; SCHWAB, 2011)

Critério	Símbolo	Tema	Relevância
Critério 1	C1	Posição geográfica	Muito alta
Critério 2	C2	Transporte	Alta
Critério 3	C3	Energia elétrica	Média
Critério 4	C4	Qualidade da Mão-de-obra	Alta
Critério 5	C5	Custo da Mão-de-obra	Alta
Critério 6	C6	Fornecedores	Alta
Critério 7	C7	Matéria-prima	Baixa
Critério 8	C8	Agilidade de procedimentos	Baixa
Critério 9	C9	Desempenho Econômico	Alta
Critério 10	C10	Tributação	Muito alta
Critério 11	C11	Estabilidade Institucional	Média

O grau de relevância dos critérios foi dividido em quatro níveis: baixa, média, alta e muito alta. Para cada nível, definiu-se um limite inferior e um limite superior aos coeficientes de ponderação dos critérios pertencentes a família de critérios. Esses limites visam permitir certo grau de tolerância nas expressões de preferência dos decisores e impedir que os critérios tenham influência muito menor ou muito maior na avaliação dos atributos das alternativas em relação às preferências expressadas pela equipe de trabalho.

Como se tratam de onze critérios, cuja soma dos coeficientes de ponderação deve equivaler a um (expressão 49), a média aritmética dos coeficientes de ponderação é $1/11$, aproximadamente 0,09. Assim estabeleceu-se que os coeficientes de ponderação podem valer no máximo 0,25 (ou 0,16 a mais que a média aritmética) para critérios de relevância muito alta e no mínimo 0,01 (ou 0,08 a menos que a média aritmética) para critérios de relevância baixa. Os valores dos limites estão discriminados na tabela 8.

Tabela 8 - Limites dos coeficientes de ponderação

Relevância	Limite	
	w_i^-	w_i^+
Muito alta	0,12	0,25
Alta	0,07	0,15
Média	0,04	0,10
Baixa	0,01	0,05

Pode se notar que para os limites atribuídos aos coeficientes de ponderação, há algumas pequenas faixas de valores que permitem que algumas categorias de critério com maior relevância assumam valores menores que a categoria de critério de menor relevância imediata. Essa possibilidade foi permitida, pois em algumas circunstâncias assume-se que alguns critérios podem assumir maiores relevâncias que outros critérios inicialmente avaliados como mais relevantes.

5.3.3 AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS

Para avaliação dos atributos de cada candidato com relação a cada critério, foram utilizadas funções de valor lineares que em alguns casos consideram mais de um subcritério. Essa avaliação é feita através de diversos indicadores e índices disponibilizados por órgãos de reconhecimento internacional como Organização das Nações Unidas (ONU), Banco Mundial e instituições nacionais de alguns dos países candidatos, como o Centro de Recursos do Serviço Público da Jamaica. Foi selecionado um conjunto de indicadores de maior relevância considerando a busca por competitividade no segmento automobilístico e as características específicas do problema (localização de instalação) de acordo com Lee, Wilhelm (2010). A figura 31 esquematiza a forma com que os critérios estão estruturados, incluindo os indicadores adotados.

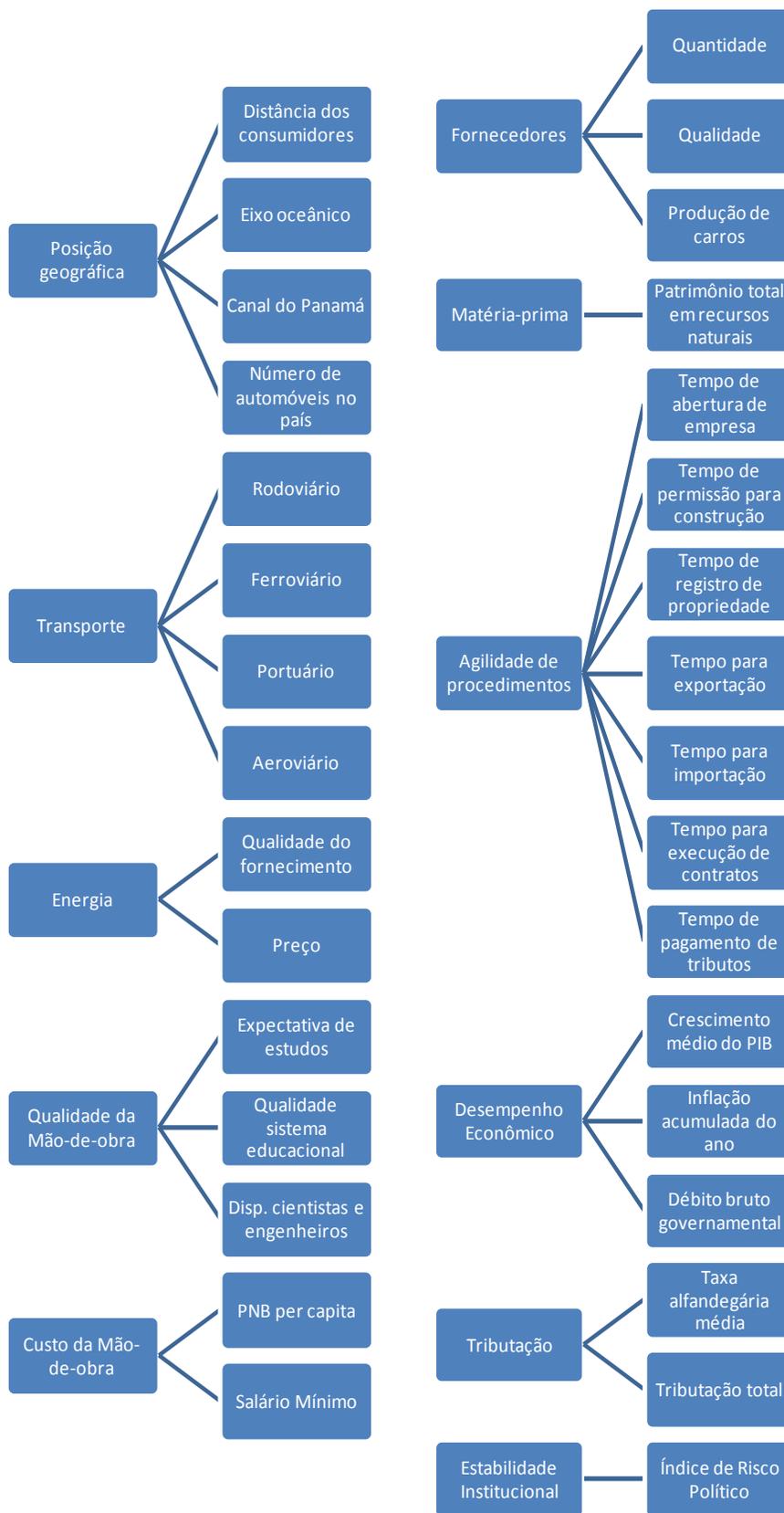


Figura 31 - Estrutura de critérios

As funções de valor consideradas preveem mais de um intervalo linear, sendo os valores de referência determinados por atribuição direta de acordo com as preferências dos decisores.

Nos próximos itens são descritas as avaliações dos atributos para cada um dos critérios.

- I. **Posição geográfica**: este critério visa avaliar a posição geográfica do país principalmente ao que se refere à proximidade de seus potenciais mercados consumidores, para a instalação de uma unidade de produção. A distância em relação aos principais mercados consumidores alvo é considerada um parâmetro mais significativo do que a distância em relação aos centros fornecedores de autopeças, pois espera-se que a maior parte das autopeças venham de fornecedores locais ou de países vizinhos e assume-se que os custos de distribuição do veículo já montado devem ser significativamente maiores que os custos logísticos de fornecimento das partes e autopeças dos veículos.

Então se definiu um local de referência tido como ideal, P0, apenas sob o ponto de vista de sua localização geográfica para a distribuição de veículos para o México, como mercado alvo principal, Colômbia, Venezuela e Equador, como mercados alvo ainda de alta importância, e os demais países do Caribe como mercados alvo de menor importância. Essa referência foi estabelecida pela equipe do projeto através do método do centro de gravidade, ao considerar as coordenadas dos mercados alvos e atribuindo valor de importância a eles. Assim a localização de referência é dada pelas coordenadas 16°09'01" S e -89°32'03" W, a qual fica próxima a San Luis (Guatemala). Reiterando que essas referências levam em conta apenas a posição geográfica dos locais. A seguir é apresentada a tabela 9 com os parâmetros considerados para o cálculo da posição de referência, sendo os valores da importância definidos pela equipe de projeto.

Tabela 9 - Cálculo da posição geográfica de referência (baseado em CREATIVE COMMONS, 2011)

Mercado alvo	Importância	Latitude	Longitude
México	0,55	21°46'47"	-101°51'54"
Colômbia	0,15	5°34'20"	-73°52'19"
Equador	0,05	-0°44'49"	-78°55'32"
Venezuela	0,10	10°21'29"	-66°53'5"
América Central	0,15	15°34'50"	-78°37'5"
Referência	1,00	16°9'1"	-89°32'3"

Com isso, 65% da pontuação deste critério é dada por uma subpontuação que é máxima para países localizados o mais próximo possível da referência e é mínima (assume valor nulo) para países com 4.000 km ou mais de distância do local de referência, que é considerada uma distância demasiadamente elevada para a instalação da fábrica pela equipe de projeto, pois desconfiguram as especificações iniciais do projeto com relação à localização da instalação. As distâncias foram estimadas através do site <www.geodistance.com> (CREATIVE COMMONS, 2011), o qual calcula a distância entre pontos distintos da superfície terrestre. A expressão matemática usada para essa normalização foi:

$$\hat{u}_{1,1}(g(a_k)) = 100 \cdot \left(1 - \frac{Dist(a_k)}{4000}\right) \quad (62)$$

Onde $Dist(a_k)$ é a distância em quilômetros entre uma localidade hipotética de instalação da unidade de produção na alternativa (país) a_k e o local de referência. As localidades hipotéticas foram definidas por seleção direta, considerando apenas a posição geográfica para distribuição dos veículos, dando preferência por posições litorâneas (para exportação), de preferência voltadas ao oceano Atlântico, e levando em consideração o atendimento dos grandes centros populacionais do país.

Também se definiu que, para países cujo eixo oceânico de distribuição seja o Atlântico, são acrescido 5 pontos e que se a alternativa for o Panamá ela deve receber uma pontuação adicional

de 10 pontos por ter em seu território o canal do Panamá, que liga o oceano Atlântico ao oceano Pacífico. A representação desses subcritérios é mostrada a seguir:

$$\begin{cases} \hat{u}_{1,2}(g(a_k)) = 0, & \text{se o eixo de distribuição do candidato } a_k \text{ é pelo oceano Pacífico} \\ \hat{u}_{1,2}(g(a_k)) = 100, & \text{se o eixo de distribuição do candidato } a_k \text{ é pelo oceano Atlântico} \end{cases} \quad (63)$$

$$\begin{cases} \hat{u}_{1,3}(g(a_k)) = 0, & \text{se o candidato } a_k \text{ não é o Panamá} \\ \hat{u}_{1,3}(g(a_k)) = 100, & \text{se o candidato } a_k \text{ é o Panamá} \end{cases} \quad (64)$$

Os 20 pontos restantes são distribuídos ao avaliar a presença de um mercado consumidor de automóveis no país. Embora a unidade de produção deva ser predominantemente exportadora, o mercado local do país onde se situar tem a sua relevância para decisão. Com isso o subcritério estima a quantidade de veículos existentes no país através de um indicador disponibilizado pelo Banco Mundial (WORLD BANK, 2008) de veículos para 1000 habitantes. Então é feita uma normalização linear variando entre 0 e 30.000.000 de unidades, sendo o limite superior definido pela equipe de projeto por ser um valor superior até mesmo ao número de unidades do maior candidato considerado (México). Os dados relativos aos tamanhos das populações foram obtidos da United Nations Statistics Division (2011a). A expressão matemática usada para essa normalização foi:

$$\hat{u}_{1,4}(g(a_k)) = 100 \cdot \frac{CAR(a_k)}{30.000.000} \quad (65)$$

Onde $CAR(a_k)$ é o número de veículos do país a_k .

No modelo proposto por Canbolat, Chelst, Garg (2007) a presença de potenciais consumidores foi verificada usando-se um indicador da produção regional de veículos, por se tratar de uma indústria fornecedora de componentes automobilísticos.

Então através da expressão 47 avalia-se a alternativa a_k com relação ao critério 1:

$$\hat{u}_1(g(a_k)) = 0,65 \cdot \hat{u}_{1,1}(g(a_k)) + 0,05 \cdot \hat{u}_{1,2}(g(a_k)) + 0,1 \cdot \hat{u}_{1,3}(g(a_k)) + 0,2 \cdot \hat{u}_{1,4}(g(a_k)) \quad (66)$$

A tabela 10 apresenta a avaliação de atributos associada à posição geográfica de cada alternativa.

Tabela 10 - Avaliação de atributos referente à posição geográfica

Alternativas	Local de referência	Distância de PO [km]	Referência oceânica	Panamá	Veículos para 1000 habitantes	Veículos [unidades]	\hat{u}_1
P1	Puerto Rey (próximo a Monteria)	1.626	Atlântico	Não	41	1.924.012	44,9
P2	Limón	974	Atlântico	Não	126	595.548	54,6
P3	Manta (litoral, entre Guaiaquiu e Quito)	2.134	Pacífico	Não	38	557.310	30,7
P4	Kingston	1.357	Atlântico	Não	138	379.675	48,2
P5	Veracruz	788	Atlântico	Não	181	20.777.594	71,0
P6	Colón	1.281	Atlântico	Sim	131	467.825	59,5
P7	Santo Domingo	2.079	Atlântico	Não	62	623.483	36,6
P8	Paramaribo	3.907	Atlântico	Não	171	90.530	6,6
P9	Porto da Espanha	3.082	Atlântico	Não	351	472.568	20,2
P10	Catia la Mar (próximo a Caracas)	2.499	Atlântico	Não	107	3.149.747	31,5

II. **Transporte:** este critério visa avaliar as condições da infraestrutura de transporte do país para a instalação da unidade de produção. Dentre as modalidades de transporte rodoviário (subcritério 2,1), ferroviário (subcritério 2,2), portuário (subcritério 2,3) e aeroviário (subcritério 2,4) fez-se uma composição da pontuação que cada modalidade representa de acordo com a sua importância esperada para o negócio, respectivamente, 40%, 10%, 45% e 5% da pontuação do critério. A pontuação para cada modalidade e cada país foi obtida normalizando-se as notas atribuídas pelo *The Global Competitiveness Report 2011-2012* (SCHWAB, 2011). Estas são disponibilizadas no referido relatório para cada modalidade através de entrevistas em que a escala de avaliação varia entre 1 e 7.

Então se avalia a alternativa a_k com relação ao critério 2 da seguinte forma:

$$\hat{u}_2(g(a_k)) = 0,4 \cdot \hat{u}_{2,1}(g(a_k)) + 0,1 \cdot \hat{u}_{2,2}(g(a_k)) + 0,45 \cdot \hat{u}_{2,3}(g(a_k)) + 0,05 \cdot \hat{u}_{2,4}(g(a_k)) \quad (67)$$

A tabela 11 expõe a avaliação de atributos associada à infraestrutura de transportes de cada alternativa.

Tabela 11 - Avaliação de atributos referente à infraestrutura de transportes

Alternativas	Transporte				\hat{u}_2
	Rodoviário	Ferrovário	Portuário	Aeroviário	
P1	2,9	1,7	3,4	4,1	34,4
P2	2,5	1,7	2,3	4,7	24,0
P3	4,2	2,0	3,8	4,3	46,8
P4	3,8	1,3	5,3	5,5	55,2
P5	4,3	2,6	4,0	4,8	50,3
P6	4,2	3,4	6,4	6,2	70,2
P7	3,9	2,5	4,4	5,2	50,8
P8	4,2	1,0	4,5	4,0	50,1
P9	3,9	-	3,9	5,0	47,5
P10	2,9	1,3	2,5	3,6	26,6

III. **Energia elétrica:** este critério busca avaliar a qualidade de fornecimento e o custo da energia elétrica nos países considerados. Os dados referentes à qualidade da energia são obtidos através do *The Global Competitiveness Report 2011-2012* (SCHWAB, 2011) onde os entrevistados classificam a qualidade do fornecimento de energia elétrica no país em uma escala de 1 a 7. Já o custo da energia elétrica é baseado no preço médio do kWh pago por instalações industriais no país. Cada um desses aspectos corresponde a 50% da avaliação da função de valor do critério.

A maior parte dos dados de custo foram obtidos do site da *U.S. Energy Information Administration* (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2010). Para alguns países, os dados de custo foram obtidos através de outras fontes (JAMAICA PUBLIC SERVICE RESOURCE CENTRE, 2011; CÁMARA VENEZOLANA DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA, 2007; SURINAME CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY, 2009).

O cálculo da pontuação para o critério energia elétrica foi feito através das expressões abaixo:

$$\hat{u}_{3,1}(g(a_k)) = \left(\frac{En(a_k)-1}{6} \right) \quad (68)$$

$$\hat{u}_{3,2}(g(a_k)) = \left(\frac{0,3-Pr_{En}(a_k)}{0,27} \right) \quad (69)$$

$$\hat{u}_3(g(a_k)) = 0,5 \cdot \hat{u}_{3,1}(g(a_k)) + 0,5 \cdot \hat{u}_{3,2}(g(a_k)) \quad (70)$$

Sendo $En(a_k)$ a pontuação obtida na avaliação da qualidade do fornecimento de energia elétrica do país a_k , $Pr_{En}(a_k)$ o preço médio da energia elétrica para instalações industriais em US\$ / kWh no país a_k .

Como se pode notar, a pontuação máxima do critério em função do preço da energia elétrica ocorre para um valor de $Pr_{En} = 0,03$ US\$ / kWh, que é um valor pouco inferior ao menor preço identificado em um país (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2010). Por outro lado, a pontuação mínima ocorre quando $Pr_{En} = 0,30$ US\$ / kWh valor próximo ao maior valor identificado. Já com relação à avaliação da qualidade de fornecimento, é feita uma normalização linear entre os extremos da escala de avaliação (1 a 7). Caso haja valores que ultrapassem o intervalo considerado, a pontuação assumirá o valor máximo ou o valor mínimo, conforme o caso. A tabela 12 apresenta os valores envolvidos na avaliação do critério.

Tabela 12 - Avaliação de atributos referente à energia elétrica

Alternativas	Energia Elétrica		
	Qualidade do fornecimento	Preço [US\$ /kWh]	\hat{u}_3
P1	5,2	0,125	67,4
P2	5,6	0,093	76,7
P3	3,6	0,070	64,3
P4	4,3	0,043	75,2
P5	4,3	0,126	59,7
P6	5,3	0,144	64,7
P7	1,9	0,207	24,7
P8	3,8	0,081	63,9
P9	5,5	0,023	88,8
P10	1,9	0,036	56,3

- IV. **Qualidade da Mão-de-obra**: este critério visa avaliar a qualidade da mão-de-obra dos países candidatos. Esse critério se baseia na expectativa média de anos de estudo dos habitantes ($g_{4,1}$), na avaliação da qualidade do sistema educacional ($g_{4,2}$), na disponibilidade de cientistas e engenheiros no país ($g_{4,3}$).

Destacando-se que a disponibilidade de cientistas e engenheiros é um aspecto que pode ser considerado importante para a avaliação da mão-de-obra (LEE, WILHELM, 2010, p. 238).

Cada um desses subcritérios representa, respectivamente, 35%, 40% e 25% do valor de avaliação do critério. Os valores de expectativa média de estudos de um habitante, obtidos através da Divisão de Estatística das Nações Unidas (UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION, 2011b), são normalizados entre 0 e 21 anos (pontuação máxima – valor pouco acima da maior avaliação dentre todos os países). Já os outros dois tópicos são obtidos normalizando-se as avaliações obtidas junto ao *The Global Competitiveness Report 2011-2012* (SCHWAB, 2011, p. 444 e p. 519), que faz os seguintes questionamentos: “*Como o sistema educacional em seu país encontra as necessidades de uma economia competitiva?*”; “*Em que dimensões cientistas e engenheiros estão disponíveis em seu país?*”.

Então se avalia a alternativa a_k com relação ao critério 4 da seguinte forma:

$$\hat{u}_4(g(a_k)) = 0,35 \cdot \hat{u}_{4,1}(g(a_k)) + 0,4 \cdot \hat{u}_{4,2}(g(a_k)) + 0,25 \cdot \hat{u}_{4,3}(g(a_k)) \quad (71)$$

São apresentadas as avaliações do critério referente à qualidade de mão-de-obra na tabela 13.

Tabela 13 - Avaliação de atributos referente à qualidade da mão-de-obra

Alternativas	Expectativa de estudos [anos]	Qualidade sistema educacional	Disp. cientistas e engenheiros	\hat{u}_4
P1	13,65	3,7	4,0	53,2
P2	11,73	4,8	4,6	59,9
P3	13,98	3,2	3,4	48,0
P4	13,79	3,2	3,3	47,2
P5	13,94	3,1	3,9	49,3
P6	13,24	2,4	3,4	41,4
P7	11,94	2,3	3,1	37,3
P8	12,61	3,4	3,5	47,4
P9	12,33	4,4	4,2	56,6
P10	14,34	2,8	3,3	45,5

- V. **Custo da Mão-de-obra**: este critério busca avaliar a remuneração da mão-de-obra dos países candidatos. Para isso, é elaborada uma escala que permita comparar o nível salarial médio entre os países candidatos.

Os parâmetros considerados para essa avaliação são o Produto Nacional Bruto (PNB) per capita ($g_{5,1}$) na cotação atual do dólar pelo método Atlas (WORLD BANK, 2010a), que transmite, de certa maneira, o grau de remuneração dos habitantes do país, e o salário mínimo ($g_{5,2}$) dos países candidatos obtidos, em sua maioria, através do *Doing Business* (WORLD BANK, 2010b). Nos casos em que não há um salário mínimo oficial considerou-se o menor salário de um servidor civil. A avaliação do primeiro parâmetro é normalizado para um PNB per capita entre 20.000 US\$ ($\hat{u}_{5,1}(g(a_k)) = 0$), que é o um valor de referência superior ao maior

valor dentre os candidatos, e 0 US\$ ($\hat{u}_{5,2}(g(a_k)) = 100$), para uma pontuação máxima. Já o segundo parâmetro tem uma avaliação de valor que varia entre 1.000 US\$/mês ($\hat{u}_{5,2}(g(a_k)) = 0$) e 0 US\$/mês ($\hat{u}_{5,2}(g(a_k)) = 1.000$). Assim quanto menor o valor de ambos os parâmetros, maior será a pontuação do critério, pois menor tende a ser o custo com o pagamento de salários.

Os coeficientes de ponderação para ambos parâmetros têm o mesmo valor. Portanto a função de valor do presente critério é apresentada a seguir:

$$\hat{u}_5(g(a_k)) = 0,5 \cdot \hat{u}_{5,1}(g(a_k)) + 0,5 \cdot \hat{u}_{5,2}(g(a_k)) \quad (72)$$

A avaliação associada ao critério é exposta na tabela 14.

Tabela 14 - Avaliação de atributos referente ao custo de mão-de-obra

Alternativas	PNB per capita [US\$]	Salário Mínimo [US\$/mês]	\hat{u}_5
P1	5.510	244	74,0
P2	6.580	358	65,6
P3	4.510	230	77,2
P4	4.750	207	77,8
P5	9.330	124	70,5
P6	6.990	370	64,0
P7	4.860	226	76,6
p8 ³	5.920	214	74,5
p9 ⁴	15.380	339	44,6
P10	11.590	326	54,7

VI. **Fornecedores**: este critério busca avaliar a presença de fornecedores qualificados, especialmente da indústria automobilística no país. Nesse contexto, é considerada a

³ Embora não haja salário mínimo definido pela legislação, considerou-se o menor salário de servidor civil, obtido junto ao *U. S. Department of State* (2008).

⁴ Salário mínimo calculado com dado obtido junto ao *U. S. Department of State* (2008), considerando conversão de 1,00 TT\$ igual a 0,156495 dólar e uma jornada de trabalho de 40 horas semanais.

quantidade e qualidade de empresas fornecedoras no país, respectivamente, subcritério 6,1 e subcritério 6,2, normalizando-se pontuação concedida pelo *The Global Competitiveness Report 2011-2012* (PORTER e SCHWAB, 2011). Além disso, é considerada a presença de fornecedores automobilísticos no país, subcritério 6,3, supondo-se que essa presença esta associada com a produção automobilística nesse país. Assim quanto maior a produção automobilística do país, obtida em publicação da OICA (*ORGANISATION INTERNATIONALE DES CONSTRUCTEURS D'AUTOMOBILES*, 2010), maior será a pontuação referente a esse parâmetro.

Dessa forma, definiu-se que os valores do parâmetro associado à presença de fornecedores automobilísticos no país têm uma normalização escalonada através de três intervalos lineares definidos pela equipe de projeto: 0 a 100.000 unidades com pontuação entre 0 e 30, considerada produção de baixo volume para o país; 100.000 a 500.000 unidades com pontuação entre 30 e 60, considerada produção de médio volume para o país; de 500.000 a 3.000.000 unidades com pontuação entre 60 e 100, considerada produção de volume elevado para o país. Sendo $PA(a_k)$ o número de unidades de carros de passageiro produzidos anualmente pelo país a_k , essa representação pode ser denotada como a seguir:

$$\begin{cases} \hat{u}_{6,3}(g(a_k))=0, & \text{se } PA(a_k)=0 \text{ unidades/ano} \\ \hat{u}_{6,3}(g(a_k))=30, & \text{se } PA(a_k)=100.000 \text{ unidades/ano} \\ \hat{u}_{6,3}(g(a_k))=60, & \text{se } PA(a_k)=500.000 \text{ unidades/ano} \\ \hat{u}_{6,3}(g(a_k))=100, & \text{se } PA(a_k)=3.000.000 \text{ unidades/ano} \end{cases} \quad (73)$$

A ponderação dos parâmetros quantidade dos fornecedores, qualidade dos fornecedores e presença de fornecedores automobilísticos foi estabelecida em, respectivamente, 20%, 35% e 45%. A seguir é exposta a pontuação associada ao critério fornecedores para cada alternativa.

Então se avalia a alternativa a_k com relação ao critério 6 da seguinte forma:

$$\hat{u}_6(g(a_k)) = 0,2 \cdot \hat{u}_{6,1}(g(a_k)) + 0,35 \cdot \hat{u}_{6,2}(g(a_k)) + 0,45 \cdot \hat{u}_{6,3}(g(a_k)) \quad (74)$$

Tabela 15 - Avaliação de atributos referente aos fornecedores

Alternativas	Quantidade de fornecedores locais	Qualidade dos fornecedores locais	Produção de carros [unidade]	\hat{u}_6
P1	4,8	4,9	41.714	41,0
P2	5,0	5,1	Não produz	37,3
P3	4,3	4,1	22.335	32,1
P4	4,4	4,3	Não produz	30,6
P5	4,8	4,8	2.345.124	75,1
P6	5,0	4,9	Não produz	36,1
P7	4,8	4,2	Não produz	31,3
P8	4,2	4,1	Não produz	28,8
P9	4,9	4,5	Não produz	33,4
P10	3,4	3,7	104.357	37,4

VII. **Matéria-prima:** busca avaliar a disponibilidade de matéria-prima bruta no país independentemente da presença de fornecedores, através da existência de recursos naturais. O que pode ser estratégico ao se identificar em um país a disponibilidade de certos recursos os quais potencialmente podem trazer um diferencial no fornecimento para a cadeia de suprimentos automobilística. Para isso, considera-se que esse nível de disponibilidade é diretamente associado ao patrimônio natural do país. Com isso, é estimado o valor patrimonial em recursos naturais do país através de dados do Banco Mundial (WORLD BANK, 2000) dos diversos tipos de patrimônio natural per capita.

Os tipos de patrimônio natural, que compõem a estimativa, são patrimônios no subsolo, madeira, outros recursos florestais, áreas protegidas, agricultura, pecuária. Os recursos hídricos são contabilizados indiretamente por esses indicadores.

O patrimônio total em recursos naturais recebe uma pontuação através de uma normalização linear de acordo com o intervalo em que estiver presente. Os cinco intervalos considerados e as respectivas pontuações são explicitados a seguir: entre 0 US\$ ($\hat{u}_7(g(a_k)) = 0$) e 1.000.000.000 US\$ ($\hat{u}_7(g(a_k)) = 10$); entre 1.000.000.000 US\$ ($\hat{u}_7(g(a_k)) = 10$) e 10.000.000.000 US\$ ($\hat{u}_7(g(a_k)) = 30$); entre 10.000.000.000 US\$ ($\hat{u}_7(g(a_k)) = 30$) e

100.000.000.000 US\$ ($\hat{u}_7(g(a_k)) = 50$); entre 100.000.000.000 US\$ ($\hat{u}_7(g(a_k)) = 50$) e 500.000.000.000 US\$ ($\hat{u}_7(g(a_k)) = 70$); entre 500.000.000.000 US\$ ($\hat{u}_7(g(a_k)) = 70$) e 1.000.000.000.000 US\$ ($\hat{u}_7(g(a_k)) = 100$). O que é representado por:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{u}_7(g(a_k))=0, \text{ se } PN(a_k)=0 \text{ US\$} \\ \hat{u}_7(g(a_k))=10, \text{ se } PN(a_k)=1.000.000.000 \text{ US\$} \\ \hat{u}_7(g(a_k))=30, \text{ se } PN(a_k)=10.000.000.000 \text{ US\$} \\ \hat{u}_7(g(a_k))=50, \text{ se } PN(a_k)=100.000.000.000 \text{ US\$} \\ \hat{u}_7(g(a_k))=70, \text{ se } PN(a_k)=500.000.000.000 \text{ US\$} \\ \hat{u}_7(g(a_k))=100, \text{ se } PN(a_k)= 1.000.000.000.000 \text{ US\$} \end{array} \right. \quad (75)$$

Onde $PN(a_k)$ é o patrimônio natural total do país a_k .

Na tabela 16 é mostrada a pontuação dos países com relação a este critério.

Tabela 16 - Avaliação de atributos referente à matéria-prima

Alternativas	Patrimônio em Recursos [US\$ per capita]						Patrimônio total em recursos naturais [US\$]	\hat{u}_7
	Patrimônio no subsolo	Madeira	Outros Recursos florestais	Áreas protegidas	Agricultura	Pecuária		
P1	3.006	134	266	253	1.911	978	307.278.814.500	60,4
P2	2	629	117	657	5.811	1.310	40.298.778.450	36,7
P3	5.205	335	193	1.057	5.263	1.065	192.389.309.490	54,6
P4	856	157	29	609	824	152	7.227.594.171	23,8
P5	6.075	199	128	176	1.195	721	975.054.638.454	98,5
P6	0	176	228	726	3.256	664	18.034.484.250	31,8
P7	286	27	37	461	1.980	386	31.948.487.037	34,9
P8	4.451	293	1.173	7.626	2.113	210	8.399.761.854	26,4
P9	30.279	42	46	112	444	54	41.705.883.950	37,0
P10	23.302	0	464	1.793	1.086	581	801.448.794.366	88,1

VIII. **Agilidade de procedimentos de negócio**: tem o objetivo de avaliar a agilidade com que os procedimentos burocráticos de negócio, em geral, são realizados. Para isso reúne diversos indicadores de tempo de realização de procedimentos, fornecidos pelo estudo *Doing Business 2011* (WORLD BANK, 2010b).

Os procedimentos considerados são abertura de empresa (subcritério 8,1), permissão para construção (subcritério 8,2), registro de uma propriedade (subcritério 8,3) devidamente registrada pelos últimos proprietários e que não é motivo de disputa, exportação de uma carga de mercadorias (subcritério 8,4), importação de uma carga de mercadorias (subcritério 8,5), cumprimento de contrato (subcritério 8,6) através de uma disputa comercial em processo judicial, cumprimento das leis tributárias em uma economia (subcritério 8,7), o que envolve preparar, registrar e pagar todas as tributações previstas para o negócio. Para a avaliação da função de valor desse critério, considerou-se a importância dos sete procedimentos através dos seguintes coeficientes de ponderação dos subcritérios, respectivamente, 20%, 10%, 10%, 20%, 20%, 10% e 10%. As pontuações referentes aos procedimentos foram definidas por interpolações lineares em intervalo(s).

Para todos os procedimentos, com exceção de exportação e importação, foram estabelecidos dois intervalos. Seguindo a ordem com que foram enumerados neste parágrafo, os valores de referência são: 700 dias ($\hat{u}_{8,1}(g(a_k)) = 0$), 100 dias ($\hat{u}_{8,1}(g(a_k)) = 20$) e 0 dias ($\hat{u}_{8,1}(g(a_k)) = 100$); 500 dias ($\hat{u}_{8,2}(g(a_k)) = 0$), 100 dias ($\hat{u}_{8,2}(g(a_k)) = 20$) e 0 dias ($\hat{u}_{8,2}(g(a_k)) = 100$); 200 dias ($\hat{u}_{8,3}(g(a_k)) = 0$), 100 dias ($\hat{u}_{8,3}(g(a_k)) = 20$) e 0 dias ($\hat{u}_{8,3}(g(a_k)) = 100$); 50 dias ($\hat{u}_{8,4}(g(a_k)) = 0$) e 0 dias ($\hat{u}_{8,4}(g(a_k)) = 100$); 80 dias ($\hat{u}_{8,5}(g(a_k)) = 0$) e 0 dias ($\hat{u}_{8,5}(g(a_k)) = 100$); 2000 dias ($\hat{u}_{8,6}(g(a_k)) = 0$), 500 dias ($\hat{u}_{8,6}(g(a_k)) = 20$) e 150 dias ($\hat{u}_{8,6}(g(a_k)) = 100$); 1000 dias ($\hat{u}_{8,7}(g(a_k)) = 0$), 300 dias ($\hat{u}_{8,7}(g(a_k)) = 20$) e 0 dias ($\hat{u}_{8,7}(g(a_k)) = 100$). Esses dados são resumidos na tabela 17:

Tabela 17 - Valores de referência para a avaliação da agilidade de procedimentos

$\hat{u}_{8,j}(g(a_k))$	Tempo necessário para realização de procedimentos						
	j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	j=6	j=7
0	700 dias	500 dias	200 dias	50 dias	80 dias	2000 dias	1000 h/ano
20	100 dias	100 dias	100 dias	-	-	500 dias	300 h/ano
100	0	0	0	0	0	150 dias	0

Então se avalia a alternativa a_k com relação ao critério 8 da seguinte forma:

$$\hat{u}_8(g(a_k)) = 0,2 \cdot \hat{u}_{8,1}(g(a_k)) + 0,1 \cdot \hat{u}_{8,2}(g(a_k)) + 0,1 \cdot \hat{u}_{8,3}(g(a_k)) + 0,2 \cdot \hat{u}_{8,4}(g(a_k)) + 0,2 \cdot \hat{u}_{8,5}(g(a_k)) + 0,1 \cdot \hat{u}_{8,6}(g(a_k)) + 0,1 \cdot \hat{u}_{8,7}(g(a_k)) \quad (76)$$

A tabela 18 mostra os dados de cálculo e a pontuação dos países para o critério.

Tabela 18 - Avaliação de atributos referente à agilidade de procedimentos de negócio

Alternativas	Tempo necessário para realização de procedimentos [dias]						Tempo de pagamento de tributos [h/ano]	\hat{u}_8
	Abertura de empresa	Permissão para construção	Registro de propriedade	Exportação	Importação	Execução de contratos		
P1	14	50	20	14	13	1346	208	68,6
P2	60	191	21	13	15	852	272	55,6
P3	56	155	16	20	29	588	654	49,1
P4	8	156	37	21	22	655	414	57,0
P5	9	105	74	12	12	415	404	62,5
P6	9	116	32	9	9	686	482	65,3
P7	19	214	60	9	10	460	324	62,3
P8	694	431	197	25	25	1715	199	29,3
P9	43	261	162	14	19	1340	210	50,0
P10	141	395	47	49	71	510	864	15,5

IX. **Desempenho Econômico**: este critério busca avaliar o desempenho econômico do país candidato. O parâmetro de estudo usado para isto é a taxa de crescimento econômico médio ($g_{9,1}$), a taxa de inflação ($g_{9,2}$) e o débito bruto governamental ($g_{9,3}$).

Para análise do primeiro parâmetro considera-se o Produto Interno Bruto (PIB) do país de 2005 a 2010 e calcula-se a taxa média de crescimento. Os dados obtidos são do Banco Mundial (WORLD BANK, 2011) referente ao PIB calculado em dólar com a cotação constante do ano 2000. Destaca-se o fato de que o valor médio é depois normalizado linearmente entre -5% ($\hat{u}_{9,1}(g(a_k)) = 0$) e 12% e ($\hat{u}_{9,1}(g(a_k)) = 100$) para que se atribua uma pontuação ao candidato. Os valores de PIB utilizados são apresentados no Apêndice A desta dissertação.

Já os outros dois parâmetros são avaliados através da taxa de inflação para preços de consumo acumulada durante o ano de 2010 e da dívida bruta governamental do país, obtidas

através de relatório publicado pelo Fundo Monetário Internacional, ou FMI (INTERNATIONAL MONETARY FUND, 2011).

As funções de valor para os dois parâmetros são obtidas por interpolação linear em um intervalo. Os valores de referência do intervalo para o subcritério 9,2 são 30% ($\hat{u}_{9,2}(g(a_k)) = 0$) e 0% ($\hat{u}_{9,2}(g(a_k)) = 100$), enquanto do subcritério 9,3 são 150% ($\hat{u}_{9,3}(g(a_k)) = 0$) e 0% ($\hat{u}_{9,3}(g(a_k)) = 100$).

A função de valor marginal para o presente critério é a seguinte:

$$\hat{u}_9(g(a_k)) = 0,6 \cdot \hat{u}_{9,1}(g(a_k)) + 0,15 \cdot \hat{u}_{9,2}(g(a_k)) + 0,25 \cdot \hat{u}_{9,3}(g(a_k)) \quad (77)$$

Na tabela 19 encontra-se a pontuação referente ao presente critério.

Tabela 19 - Avaliação de atributos referente ao desempenho econômico

Alternativas	Crescimento médio do PIB [%]	Inflação acumulada do ano [%]	Débito bruto governamental [% PIB]	\hat{u}_9
P1	4,6	3,2	36,0	66,2
P2	4,2	5,8	29,6	64,5
P3	3,8	3,3	20,7	65,9
P4	0,6	11,8	143,4	29,8
P5	1,8	4,4	42,9	54,6
P6	8,2	4,9	38,7	77,8
P7	7,1	6,2	28,7	74,8
P8	4,2	10,3	21,6	63,6
P9	3,3	13,4	40,1	55,7
P10	3,4	27,2	38,4	49,6

- X. **Tributação**: este critério estima o nível de tributação para a empresa ao desenvolver suas atividades no país candidato, incluindo os gastos com taxas alfandegárias para exportação de veículos.

Para avaliação da taxa tributária total do país, foi usado o indicador elaborado no projeto *Doing Business* do Banco Mundial (WORLD BANK, 2010b). Ele faz a medição da quantidade total de contribuições obrigatórias e impostos a cargo de uma empresa de médio porte padrão em operação, expresso em termos do lucro comercial. Ele registra a alíquota tributária total para o ano civil de 2009. “*O montante total da taxa é a soma de todos os impostos e contribuições a pagar depois de contabilizadas as deduções e isenções*” (Ibidem, p. 124). Sobre os impostos considerados, é detalhado (Ibidem, p. 124):

Os impostos incluídos podem ser divididos em 5 categorias: imposto de renda ou lucro, contribuições sociais e impostos trabalhistas pagos pelo empregador (todas as contribuições obrigatórias são incluídas, mesmo se pago a uma entidade privada, como um fundo de pensão), impostos sobre propriedades, impostos sobre o volume de negócios e outros impostos (como taxas municipais e impostos sobre veículos e combustíveis). Este indicador desconsidera taxa associada à importação e exportação.

Com relação à tributação total, o *Doing Business* (WORLD BANK, 2010b) faz uma distinção entre uma parcela incidente sobre o valor do lucro (*TIF*) e uma parcela composta por tributos que não incidem sobre valor do lucro (*TNIF*). Dessa forma, a tributação total despendida considerando apenas transações no país candidato (Tr_n) é:

$$Tr_n = TIF + TNIF \quad (78)$$

Os dados referentes às taxas alfandegárias para comercialização de automóveis entre dois países foram obtidos junto do ITC (*INTERNATIONAL TRADE CENTER*, 2011). São consideradas duas classes de produtos distintos: automóveis de 1000 cc a 1500 cc e de 1500 cc e 3000 cc. Consideraram-se apenas as taxas de exportação, devido ao fato da nova planta ter elevadas expectativas de exportação e assumindo-se que o montante gasto com a exportação do veículo é mais significativo que o gasto com componentes importados do veículo. Sabe-se que o valor de um veículo acabado é maior que a soma do valor de todos os componentes de veículo, além disso, seria demasiadamente dispendioso obter as taxas de importação para os milhares de componentes existentes em um veículo. Então com as taxas alfandegárias para todas as combinações de pares de países (exportador, importador), calculou-se a média aritmética das

taxas alfandegárias para cada país exportador, adotando-se, por fim, a média aritmética entre as duas classes de veículos. As taxas adotadas se encontram nas tabelas 36 e 37, presentes no Apêndice A desta dissertação.

No entanto, geralmente apenas parte da taxa tributária do país exportador incide sobre o valor dos veículos exportados. Então é estimada a proporção de veículos que serão exportados (M_E). Para avaliar os gastos com tributação que incide sobre o valor dos veículos exportados é adotado um índice de referência (Tr_e) para cada país, composto por um valor referente a uma estimativa da tributação por parte do país exportador e da taxa alfandegária, desconsiderando demais tributações do país importador. Afinal trata-se de uma análise sobre as implicações da escolha de um país que realizará exportações. Portanto consideram-se apenas as tributações dependentes da escolha deste país exportador. A tributação do país importador não afetará o presente problema de seleção de localização, com exceção de sua taxa alfandegária que depende do país que lhe vendeu os automóveis.

A seguir é apresentada a expressão de um índice que estima o grau de tributação total para veículos comercializados internamente e veículos exportados a partir de um dado país (Trt), levando em consideração as proporções de veículos para cada destino:

$$Trt = M_N \cdot Tr_n + M_E \cdot Tr_e \quad (79)$$

Onde M_N é a estimativa da proporção de veículos que são comercializados no mercado do país onde se instala a planta.

A avaliação referente ao critério tributação, considerando as taxas alfandegárias, foi elaborada através da normalização em base linear de Trt , de modo que um índice equivalente a 120% do lucro tenha uma avaliação nula pela função de valor, enquanto um índice de 40% do lucro tenha uma avaliação igual a 100.

Os valores de pontuação atribuídos às alternativas e suas respectivas tributações estão expostos na tabela 20.

Tabela 20 - Avaliação de atributos referente à tributação

Alternativas	Tr_n [%]	Taxa alfandegária média [%]	Trt [%]	\hat{u}_{10}
P1	78,7	9,2	91,7	35,4
P2	55,0	17,7	84,2	44,8
P3	35,3	17,9	63,6	70,5
P4	50,1	17,1	78,4	52,0
P5	50,5	19,0	64,8	69,0
P6	50,1	24,8	91,1	36,1
P7	40,7	17,0	68,7	64,1
P8	27,9	17,1	56,3	79,6
P9	33,1	17,0	61,2	73,5
P10	52,6	17,9	79,4	50,7

XI. **Estabilidade Institucional**: este critério busca avaliar a estabilidade institucional do país candidato. O que pode ser interpretado como um critério relacionado à solidez das instituições do país, refletindo a possibilidade de ocorrência de eventos que ameacem a soberania dos negócios da montadora. Para isso, fez-se uso do Índice de Risco Político, publicados no *International Country Risk Guide* (PRS GROUP, 2010). Permitir com que seja avaliada, numa base comparável, a estabilidade política dos países considerados, é o objetivo do índice. “*Isto é feito através da atribuição de pontos de risco a um grupo pré-definido de fatores, denominados componentes de risco político*” (PRS GROUP, 2011).

Os componentes de risco usados no cálculo foram: estabilidade governamental, condições socioeconômicas, perfil de investimentos, conflito interno, conflito externo, corrupção, políticas militares, tensões religiosas, legislação e ordem, tensão étnica, responsabilidade democrática e qualidade da burocracia (Ibidem).

A pontuação varia entre 0 e 100, assim não é necessária a realização de normalização, pois os valores já estão representados na escala pré-definida neste estudo. O quão maior o índice, maior é a estabilidade institucional avaliada.

Na tabela 21, é mostrada a pontuação referente ao critério.

Tabela 21 - Pontuação referente à estabilidade institucional

Alternativas	\hat{u}_{11}
P1	62,5
P2	73,5
P3	52,5
P4	72,0
P5	70,5
P6	75,0
P7	66,5
P8	63,0
P9	73,0
P10	46,5

Embora o modelo proposto não inclua previsões para avaliar o comportamento de alguns de seus parâmetros com o tempo, para que lide com mudanças futuras como fazem alguns modelos (MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009, p. 403), de uma maneira geral, os critérios considerados têm certa capacidade de incorporar as perspectivas de desempenho das alternativas no futuro. Isso acontece, pois estes critérios consideram diversos indicadores os quais avaliam aspectos conjunturais de um país evidenciando eventuais potenciais para que o desenvolvimento de negócios no país aumente ou decaia. O próprio critério relativo ao desempenho econômico, por exemplo, ao conter em sua formulação uma média do crescimento do PIB por alguns anos, traz uma informação relativa às expectativas futuras para o crescimento econômico do país.

Nesta etapa de avaliação do desempenho, verifica-se que foram utilizados subcritérios específicos, com alguns indicadores de competitividade próprios para a indústria automobilística, como o subcritério da distância dos consumidores, que são calculadas a partir de uma posição tida como ideal em relação aos potenciais mercados consumidores de acordo com as expectativas da empresa, o número de automóveis no país, a produção de veículos de passageiros, taxas alfandegárias de automóveis de 1000 cc a 1500 cc e de 1500 cc e 3000 cc. Portanto eles influenciam na avaliação dos critérios posição geográfica, fornecedores e tributação.

Com isso, a avaliação da função de valor de todas as alternativas para todos os critérios estão reunidas na tabela 22.

Tabela 22 - Avaliação de atributos de todas alternativas

Candidatos	$\hat{u}_i(g(a_k))$										
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10	i=11
P1	44,9	34,4	67,4	53,2	74,0	41,0	60,4	68,6	66,2	35,4	62,5
P2	54,6	24,0	76,7	59,9	65,6	37,3	36,7	55,6	64,5	44,8	73,5
P3	30,7	46,8	64,3	48,0	77,2	32,1	54,6	49,1	65,9	70,5	52,5
P4	48,2	55,2	75,2	47,2	77,8	30,6	23,8	57,0	29,8	52,0	72,0
P5	71,0	50,3	59,7	49,3	70,5	75,1	98,5	62,5	54,6	69,0	70,5
P6	59,5	70,2	64,7	41,4	64,0	36,1	31,8	65,3	77,8	36,1	75,0
P7	36,6	50,8	24,7	37,3	76,6	31,3	34,9	62,3	74,8	64,1	66,5
P8	6,6	50,1	63,9	47,4	74,5	28,8	26,4	29,3	63,6	79,6	63,0
P9	20,2	47,5	88,8	56,6	44,6	33,4	37,0	50,0	55,7	73,5	73,0
P10	31,5	26,6	56,3	45,5	54,7	37,4	88,1	15,5	49,6	50,7	46,5
Média	40,4	45,6	64,2	48,6	68,0	38,3	49,2	51,5	60,3	57,6	65,5

De acordo com a expressão 46, a avaliação do desempenho global das alternativas é determinada pela soma ponderada da avaliação para os onze critérios definidos. Este valor é função dos coeficientes de ponderação, os quais variam segundo a programação linear a que são submetidos.

5.3.4 RESTRIÇÕES GERAIS

A programação linear citada deve garantir que um conjunto de restrições seja imposto. No presente problema, essas restrições têm diversas origens. Algumas se referem às variáveis de decisão, as quais são definidas como positiva, ou seja, de acordo com a nomenclatura usada nesta dissertação podem ser expressas, para $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$:

$$w_i \geq 0 \quad (80)$$

Porém como foram estabelecidos limites inferiores e superiores aos coeficientes de ponderação de acordo com a relevância do critério a que se referem, como ilustrado pelas

expressões 58 e 59, as restrições de positividade (expressão 48) são superpostas pelas restrições dos limites inferiores. As expressões para os limites inferior e superior são mostradas logo abaixo, de acordo com as informações apresentadas nas tabelas 7 e 8:

- Critério de baixa relevância. Para $i = 7,8$:

$$w_8 \geq 0,01 \quad (81)$$

$$w_8 \leq 0,05 \quad (82)$$

- Critérios de média relevância. Para $i = 3, 11$:

$$w_i \geq 0,04 \quad (83)$$

$$w_i \leq 0,10 \quad (84)$$

- Critérios de alta relevância. Para $i = 2, 4, 5, 6, 9$:

$$w_i \geq 0,07 \quad (85)$$

$$w_i \leq 0,15 \quad (86)$$

- Critérios de muito alta relevância. Para $i = 1, 10$:

$$w_i \geq 0,12 \quad (87)$$

$$w_i \leq 0,25 \quad (88)$$

Há também a restrição de que a soma dos coeficientes de ponderação seja unitária (expressão 49).

$$\sum_1^{11} w_i = 1 \quad (89)$$

Existem informações adicionais que expressam opiniões e preferências dos atores responsáveis pela tomada de decisão, resultando na geração de restrições adicionais de preferência. As formas de possíveis restrições a serem adotadas neste estudo seguem as expressões 52, 53, 54, 55, 56. Entretanto, inicialmente, é realizado o procedimento de otimização, descrito na seção 4.3 desta dissertação, sem a presença de restrições adicionais de preferência. Estas são adicionadas posteriormente para que se verifique a diferença nas relações globais obtidas sem e com as restrições adicionais.

5.3.5 PROCEDIMENTO DE OTIMIZAÇÃO I

Com isso, estabelecem-se funções objetivo para comparar a avaliação de cada par de alternativas, denotado pela alternativa a_σ com cada alternativa a_τ , através da minimização e maximização da diferença entre elas, baseado na expressão 57, ao se variar os coeficientes de ponderação, respeitando o conjunto de restrições estabelecido (expressões 81 a 89, totalizando 23 restrições). Na tabela 23 são expressas as restrições através dos coeficientes das inequações/equações.

Tabela 23 - Conjunto de coeficientes das inequações/equações de restrição iniciais

w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}	w_{11}			
1												\geq	0,12
	1											\geq	0,07
		1										\geq	0,04
			1									\geq	0,07
				1								\geq	0,07
					1							\geq	0,07
						1						\geq	0,01
							1					\geq	0,01
								1				\geq	0,07
									1			\geq	0,12
										1		\geq	0,04
1											1	\leq	0,25
	1											\leq	0,15
		1										\leq	0,10
			1									\leq	0,15
				1								\leq	0,15
					1							\leq	0,15
						1						\leq	0,05
							1					\leq	0,05
								1				\leq	0,15
									1			\leq	0,25
										1		\leq	0,10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$=$	1,00

Para:

$$A = \{P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10\} \quad (90)$$

$$\forall \sigma \in \mathbb{N}^* | \sigma < 10 \quad (91)$$

$$\forall \tau \in \mathbb{N}^* | \sigma < \tau \leq 10 \quad (92)$$

Então as funções objetivo, considerando as dez alternativas são:

$$\text{Min } d(a_\sigma, a_\tau) \quad (93)$$

$$\text{Max } d(a_\sigma, a_\tau) \quad (94)$$

Sendo s o número de alternativas (já definido anteriormente), no caso são dez países candidatos à instalação da planta industrial, tratam-se assim de $C_2^s = \frac{s(s-1)}{2}$ minimizações e o mesmo número de maximizações, ou seja, 45 otimizações de cada tipo.

As informações e cálculos avaliados neste estudo foram realizados com uso apenas do *software* Microsoft Office Excel, junto do suplemento Solver. Os critérios numéricos adotados nas programações lineares realizadas são: tempo máximo de 100 segundos; 200 iterações no máximo; precisão de 0,0001; tolerância de 0,01%; convergência de 0,0001.

Para exemplificar a realização deste procedimento, considera-se o processo de otimização de apenas um par de alternativas, a minimização da diferença de avaliação entre a alternativa P9 (Trinidad e Tobago) e a alternativa P10 (Venezuela). Ou seja, busca-se o resultado que conduza a maior avaliação possível da alternativa P10 em relação à alternativa P9.

Para esse caso, os coeficientes de ponderação obtidos, que solucionam o problema, são apresentados na tabela 24:

Tabela 24 - Exemplo de conjunto de coeficientes de ponderação

	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}	w_{11}
Valor	0,25000	0,07000	0,04000	0,07000	0,15000	0,13000	0,05000	0,01000	0,07000	0,12000	0,04000

Todos os coeficientes de ponderação, para esse caso, estão avaliados nos limites dos intervalos em que podem variar, com exceção de w_6 . Os coeficientes de ponderação referentes aos critérios C1, C5, C7 estão em seus limites superiores, o coeficiente de ponderação referente ao critério C6 está em um valor intermediário entre o limite inferior e o superior, com maior proximidade do limite superior, enquanto os outros coeficientes de ponderação se encontram avaliados em seu limite inferior. Ao analisar a tabela 24, nota-se que a alternativa P10 tem maior avaliação que a alternativa P9 com relação aos critérios C1, C5, C6 e C7. O que é esperado pelo fato da função objetivo buscar a maior avaliação possível da alternativa P10 em relação à alternativa P9.

Com isso, os valores apurados à esquerda e à direita do sinal das inequações/equações de restrição são expostos na tabela 25.

Tabela 25 - Exemplo de apuração de restrições

Apurado		
0,250	>=	0,120
0,070	>=	0,070
0,040	>=	0,040
0,070	>=	0,070
0,150	>=	0,070
0,130	>=	0,070
0,050	>=	0,010
0,010	>=	0,010
0,070	>=	0,070
0,120	>=	0,120
0,040	>=	0,040
0,250	<=	0,250
0,070	<=	0,150
0,040	<=	0,100
0,070	<=	0,150
0,150	<=	0,150
0,130	<=	0,150
0,050	<=	0,050
0,010	<=	0,050
0,070	<=	0,150
0,120	<=	0,250
0,040	<=	0,100
1,000	=	1,000

Neste exemplo, a avaliação da função de valor global obtida para cada alternativa é exibida na tabela 26.

Tabela 26 - Exemplo de avaliação de alternativas

Candidatos	$U(a_k)$
P1	51,57
P2	52,49
P3	51,02
P4	50,84
P5	67,94
P6	54,58
P7	49,83
P8	44,08
P9	44,93
P10	44,21

Ao comparar a avaliação das funções de valor para a função objetivo do par (P10, P9), conforme o padrão pontuação da alternativa da linha menos pontuação da alternativa da coluna, com avaliação específica do par destacada em vermelho, obtém-se:

Tabela 27 - Exemplo da diferença entre a avaliação dos pares de alternativas

$a_\sigma \backslash a_\tau$	$d(a_\sigma, a_\tau)$									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P1	0,0	-0,9	0,5	0,7	-16,4	-3,0	1,7	7,5	6,6	7,4
P2	-	0,0	1,5	1,6	-15,5	-2,1	2,7	8,4	7,6	8,3
P3	-	-	0,0	0,2	-16,9	-3,6	1,2	6,9	6,1	6,8
P4	-	-	-	0,0	-17,1	-3,7	1,0	6,8	5,9	6,6
P5	-	-	-	-	0,0	13,4	18,1	23,9	23,0	23,7
P6	-	-	-	-	-	0,0	4,8	10,5	9,7	10,4
P7	-	-	-	-	-	-	0,0	5,7	4,9	5,6
P8	-	-	-	-	-	-	-	0,0	-0,8	-0,1
P9	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,7
P10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0

Então se pode verificar que a função objetivo tomada como exemplo assume o valor de 0,7. Portanto, no pior dos cenários para a comparação direta de Trinidad e Tobago com a Venezuela, respeitando as restrições estabelecidas, Trinidad e Tobago tem pontuação 0,7 maior que a Venezuela. Logo Trinidad e Tobago tem melhor avaliação que a Venezuela para qualquer cenário

e, dessa forma, assume posição de preferência em relação à Venezuela de acordo com o modelo estabelecido.

Após realização de procedimento semelhante para todas as comparações diretas entre alternativas, os resultados foram armazenados nas tabelas 28 e 29. Reiterando o padrão estabelecido em que a alternativa da linha (à esquerda da tabela) e a alternativa da coluna (topo da tabela) representam, respectivamente, o primeiro e o segundo termo da diferença entre a avaliação das duas alternativas, denotada pela expressão 57.

Tabela 28 - Maximização inicial da diferença entre a avaliação global dos pares de alternativas

	Maximização $d(a_\sigma, a_\tau)$									
$a_\sigma \backslash a_\tau$	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P1	-	1,7	2,1	5,5	-7,6	0,0	5,3	9,5	7,1	11,6
P2	-	-	5,5	5,9	-5,5	1,7	8,3	11,0	8,2	14,2
P3	-	-	-	7,8	-6,0	5,3	5,9	7,6	6,8	13,7
P4	-	-	-	-	-7,1	1,3	5,4	8,9	7,4	13,9
P5	-	-	-	-	-	17,1	21,6	26,6	23,3	26,1
P6	-	-	-	-	-	-	6,6	14,6	12,1	19,1
P7	-	-	-	-	-	-	-	7,7	6,9	13,9
P8	-	-	-	-	-	-	-	-	3,1	12,1
P9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,6
P10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 29 - Minimização inicial da diferença entre a avaliação global dos pares de alternativas

	Minimização $d(a_\sigma, a_\tau)$									
$a_\sigma \backslash a_\tau$	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P1	-	-4,6	-7,6	-5,3	-19,9	-9,3	-6,6	-6,6	-8,0	2,6
P2	-	-	-6,9	-3,6	-18,5	-7,5	-5,0	-5,4	-5,2	3,4
P3	-	-	-	-3,4	-19,4	-9,2	-1,8	0,2	-2,2	5,1
P4	-	-	-	-	-20,1	-9,4	-5,9	-5,3	-5,9	1,0
P5	-	-	-	-	-	2,2	6,9	7,6	6,4	16,8
P6	-	-	-	-	-	-	-2,0	-3,2	-4,7	3,8
P7	-	-	-	-	-	-	-	-4,0	-6,4	0,8
P8	-	-	-	-	-	-	-	-	-5,7	-1,8
P9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7
P10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

5.3.6 RELAÇÕES GLOBAIS DE PREFERÊNCIA I

Assim é feita uma tabela de conclusões para comparar a diferença mínima e máxima entre as alternativas. Nela -P representa ser preterido, P ser preferido, I é uma relação de indiferença. Estas relações são determinadas de acordo com a tabela 2.

Tabela 30 - Tabela inicial de conclusões

$a_\sigma \backslash a_\tau$	Conclusões de Preferência									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P1	-	I	I	I	-P	I	I	I	I	P
P2	-	-	I	I	-P	I	I	I	I	P
P3	-	-	-	I	-P	I	I	P	I	P
P4	-	-	-	-	-P	I	I	I	I	P
P5	-	-	-	-	-	P	P	P	P	P
P6	-	-	-	-	-	-	I	I	I	P
P7	-	-	-	-	-	-	-	I	I	P
P8	-	-	-	-	-	-	-	-	I	I
P9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P
P10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Através da tabela de conclusões, é possível verificar que a alternativa P5 (México) é preferível em relação a todas as outras alternativas, dentro do modelo elaborado.

Além dessa informação, é possível concluir outras relações a partir da tabela de conclusão. Assim, para simplificar essa análise, um diagrama de preferência foi elaborado, baseado na figura 32, segregando as alternativas por diferentes níveis de preferência, sendo o primeiro nível o de maior preferência e o terceiro nível o de menor preferência.

Ressalta-se que para a leitura adequada do diagrama devem-se seguir as linhas ou no sentido de cima para baixo ou na horizontal, ou seja, não se devem considerar trajetões orientados de baixo para cima.

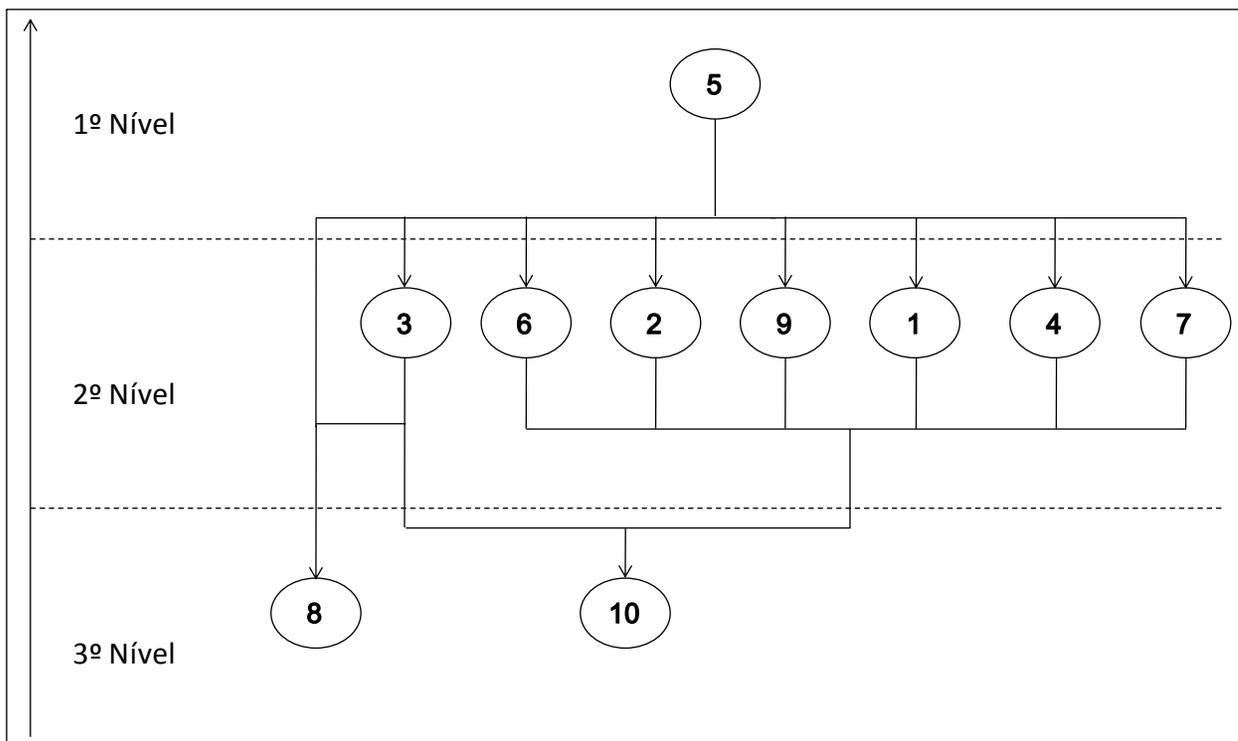


Figura 32 - Diagrama inicial de preferência

Com base nesse diagrama, nota-se que a alternativa P10 (Venezuela) é preterida por todas as alternativas, exceto pela alternativa P8 (Suriname) que, por sua vez, é preterida pelas alternativas P3 (Equador) e P5 (México). Portanto as alternativas Venezuela e Suriname são classificadas como alternativas de terceiro nível. Como já foi discutido, o México é a alternativa com o melhor desempenho e, portanto, é classificada como de primeiro nível. Já as alternativas restantes são de segundo nível.

5.3.7 INFORMAÇÕES ADICIONAIS DE PREFERÊNCIA

Entretanto verifica-se junto da equipe do projeto que o modelo inicial poderia representar de uma melhor forma as preferências e valores dela. Então o modelo é enriquecido através de

informações adicionais de preferência. Com isso, junto à equipe responsável pela seleção da localização da unidade de produção, obtiveram-se as seguintes colocações:

- Trinidad e Tobago (P9) é uma alternativa preferível que o Suriname (P8). Logo:

$$U(P9) \geq U(P8) \therefore U(P9) - U(P8) \geq 0 \quad (95a)$$

Se e somente se:

$$20,2w_1 + 47,5w_2 + 88,8w_3 + 56,6w_4 + 44,6w_5 + 33,4w_6 + 37,0w_7 + 50,0w_8 + 55,7w_9 + 73,5w_{10} + 73,0w_{11} - (6,6w_1 + 50,1w_2 + 63,9w_3 + 47,4w_4 + 74,5w_5 + 28,8w_6 + 26,4w_7 + 29,3w_8 + 63,6w_9 + 79,6w_{10} + 63,0w_{11}) \geq 0 \quad (95b)$$

Assim:

$$13,7w_1 - 2,6w_2 + 24,9w_3 + 9,1w_4 - 29,9w_5 + 4,7w_6 + 10,6w_7 + 20,7w_8 - 7,9w_9 - 6,1w_{10} + 10,0w_{11} \geq 0 \quad (95c)$$

- Jamaica (P4) é uma alternativa preferível que a República Dominicana (P7). Logo:

$$U(P4) \geq U(P7) \therefore U(P4) - U(P7) \geq 0 \quad (96a)$$

Analogamente ao que foi feito na restrição anterior, obtém-se:

$$11,6w_1 + 4,3w_2 + 50,4w_3 + 9,9w_4 + 1,2w_5 - 0,8w_6 - 11,0w_7 - 5,3w_8 - 45,0w_9 - 12,1w_{10} + 5,5w_{11} \geq 0 \quad (96b)$$

- O Panamá (P6) é uma alternativa preferível que a Jamaica (P4). Logo:

$$U(P6) \geq U(P4) \therefore U(P6) - U(P4) \geq 0 \quad (97a)$$

Assim:

$$11,3w_1 + 15,0w_2 - 10,4w_3 - 5,8w_4 - 13,8w_5 + 5,5w_6 + 7,9w_7 + 8,3w_8 + 48,0w_9 - 16,0w_{10} + 3,0w_{11} \geq 0 \quad (97b)$$

- O Panamá (P6) é preferível ao Equador (P3) pelo menos tanto quanto a Colômbia (P1) é preferível a República Dominicana (P7). Logo:

$$U(P6) - U(P3) \geq U(P1) - U(P7) \therefore [U(P6) - U(P3)] - [U(P1) - U(P7)] \geq 0 \quad (98a)$$

Assim:

$$20,6w_1 + 39,8w_2 - 42,2w_3 - 22,5w_4 - 10,7w_5 - 5,7w_6 - 48,3w_7 + 9,9w_8 + 20,6w_9 - 5,6w_{10} + 26,5w_{11} \geq 0 \quad (98b)$$

- A posição geográfica (C1) é um critério sempre mais importante que a qualidade da mão-de-obra (C4). Apesar de a posição geográfica ter uma maior relevância, sem essa restrição a qualidade da mão-de-obra poderia assumir maior importância na avaliação global, pois o limite superior do coeficiente de ponderação referente à qualidade da mão-de-obra é um valor maior que o limite inferior do coeficiente de ponderação referente à posição geográfica, baseado em explicação anterior. Logo:

$$w_1 \geq w_4 \quad (99)$$

Com as novas restrições incorporadas ao modelo de preferência, o conjunto de restrições considerado é apresentado na tabela 31 através dos coeficientes das inequações/equações, de forma semelhante ao exibido na tabela 26. No total são 28 expressões de restrição.

Tabela 31 - Conjunto de coeficientes das inequações/equações de restrição

	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	W ₈	W ₉	W ₁₀	W ₁₁			
	1												>=	0,12
		1											>=	0,07
			1										>=	0,04
				1									>=	0,07
					1								>=	0,07
						1							>=	0,07
							1						>=	0,01
								1					>=	0,01
									1				>=	0,07
										1			>=	0,12
											1		>=	0,04
	1												<=	0,25
		1											<=	0,15
			1										<=	0,10
				1									<=	0,15
					1								<=	0,15
						1							<=	0,15
							1						<=	0,05
								1					<=	0,05
									1				<=	0,15
										1			<=	0,25
											1		<=	0,10
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		=	1,00
	13,7	-2,6	24,9	9,1	-29,9	4,7	10,6	20,7	-7,9	-6,1	10,0		>=	0,00
	11,6	4,3	50,4	9,9	1,2	-0,8	-11,0	-5,3	-45,0	-12,1	5,5		>=	0,00
	11,3	15,0	-10,4	-5,8	-13,8	5,5	7,9	8,3	48,0	-16,0	3,0		>=	0,00
	20,6	39,8	-42,2	-22,5	-10,7	-5,7	-48,3	9,9	20,6	-5,6	26,5		>=	0,00
	1			-1									>=	0,00

5.3.8 PROCEDIMENTO DE OTIMIZAÇÃO II

Então com a realização de procedimento de otimização, em que são realizadas noventa programações lineares, onde as funções objetivo são denotadas pelas expressões 93 e 94, obtêm-se as tabelas 32 e 33, onde são armazenados os resultados.

Tabela 32 - Maximização da diferença entre a avaliação global dos pares de alternativas

$a_\sigma \backslash a_\tau$	Maximização $d(a_\sigma, a_\tau)$									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P1	-	1,6	2,1	3,6	-7,7	-1,2	4,8	8,8	7,1	11,4
P2	-	-	5,5	5,6	-5,8	0,9	8,3	11,0	8,0	14,2
P3	-	-	-	4,5	-6,5	3,1	4,8	7,6	6,4	13,3
P4	-	-	-	-	-7,1	0,0	5,4	8,9	7,4	13,9
P5	-	-	-	-	-	16,1	21,6	26,6	23,3	26,1
P6	-	-	-	-	-	-	6,6	14,5	12,0	19,1
P7	-	-	-	-	-	-	-	7,3	6,3	13,0
P8	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	11,7
P9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,2
P10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 33 - Minimização da diferença entre a avaliação global dos pares de alternativas

$a_\sigma \backslash a_\tau$	Minimização $d(a_\sigma, a_\tau)$									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P1	-	-4,5	-7,3	-5,3	-19,4	-9,3	-5,3	-6,5	-7,5	2,9
P2	-	-	-6,0	-3,0	-17,9	-7,1	-3,0	-4,3	-5,2	4,1
P3	-	-	-	-3,4	-19,4	-9,2	-1,6	0,2	-2,0	5,1
P4	-	-	-	-	-19,6	-8,6	0,0	-3,2	-4,8	3,2
P5	-	-	-	-	-	2,3	8,8	8,0	6,6	17,5
P6	-	-	-	-	-	-	0,0	-2,0	-3,6	6,5
P7	-	-	-	-	-	-	-	-3,6	-5,9	1,8
P8	-	-	-	-	-	-	-	-	-5,6	-1,8
P9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7
P10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

5.3.9 RELAÇÕES GLOBAIS DE PREFERÊNCIA II

Com base nas informações contidas nessas duas tabelas, elaborou-se uma tabela de conclusões, na qual são apresentadas as relações binárias de preferência entre as alternativas da mesma forma que na tabela 34.

Tabela 34 - Tabela de conclusões

$a_\sigma \backslash a_\tau$	Conclusões de Preferência									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P1	-	I	I	I	-P	-P	I	I	I	P
P2	-	-	I	I	-P	I	I	I	I	P
P3	-	-	-	I	-P	I	I	P	I	P
P4	-	-	-	-	-P	-P	P	I	I	P
P5	-	-	-	-	-	P	P	P	P	P
P6	-	-	-	-	-	-	P	I	I	P
P7	-	-	-	-	-	-	-	I	I	P
P8	-	-	-	-	-	-	-	-	-P	I
P9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P
P10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Com a nova tabela de conclusões, assim como verificado com a tabela de conclusões da modelagem inicial do problema, através da tabela 29, a alternativa P5 (México) é preferível em relação a todas as outras alternativas. Portanto trata-se da alternativa com melhor desempenho de acordo com o modelo de preferência elaborado.

Na comparação direta com o México, o Panamá (P6) é a alternativa que apresenta a menor diferença de desempenho, ou que mais se aproxima do desempenho do México. Pelas tabelas 31 e 32, pode-se notar que na comparação direta entre as duas alternativas, o México apresenta uma avaliação global maior ao se considerar o caso em que a diferença a seu favor é maximizada (16,1) e quando é minimizada (2,3). O Panamá é preferível em relação à Colômbia (P1), Jamaica (P4), República Dominicana (P7) e Venezuela (P10).

A figura 33 apresenta um novo diagrama de preferência baseado na nova modelagem adotada, a qual considera restrições adicionais de preferência.

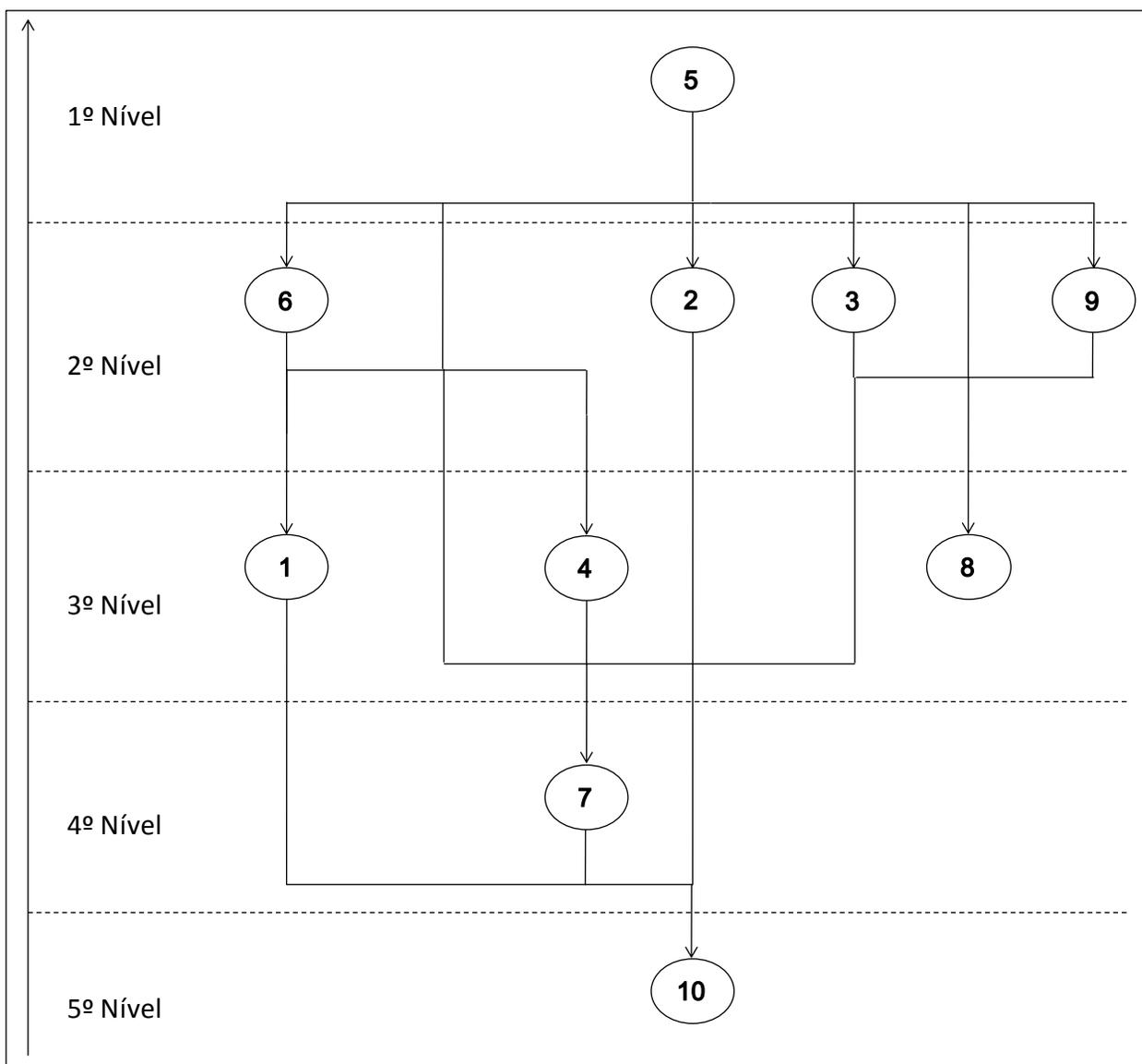


Figura 33 - Diagrama de preferência

Ao observar a figura 33, verifica-se que a alternativa de decisão México apresenta melhor desempenho global, sendo, dessa forma, classificada como de primeiro nível. Por outro lado, a Venezuela é a alternativa de decisão com o pior desempenho no presente modelo, pois é preterida por todas as alternativas exceto o Suriname, sendo classificada como de quinto nível. Já a República Dominicana é de quarto nível, Colômbia, Jamaica e Suriname são alternativas de terceiro nível e Costa Rica, Equador, Panamá e Trinidad e Tobago são alternativas de segundo nível.

Com relação às alternativas de terceiro nível, Colômbia e Jamaica são preteríveis por México e Panamá; o Suriname é preterível por Equador, México e Trinidad e Tobago. Além disso, a República Dominicana é preterível por Jamaica, México e Panamá.

Destaca-se que devido às informações adicionais de preferência incorporadas ao modelo, algumas relações de preferência foram produzidas como consequência direta. Dentre elas: Trinidad e Tobago é preferível ao Suriname, a Jamaica é preferível à República Dominicana e o Panamá é preferível à Jamaica.

O caso da República Dominicana é um exemplo claro dessas consequências, pois no diagrama de preferências inicial era uma alternativa de 2º nível e no último diagrama de preferência foi classificada como uma alternativa de 4º nível. Isso aconteceu porque foi colocada uma informação adicional de preferência que determina que a Jamaica é preferível à República Dominicana, o que implicaria que a República Dominicana fosse de 3º nível, pois a Jamaica era uma alternativa de 2º nível. Porém como foi colocada outra informação adicional impondo que o Panamá é preferível à Jamaica, e como o Panamá continua de 2º nível, isso implicou na Jamaica como alternativa de 3º nível e, conseqüentemente, na República Dominicana como alternativa de 4º nível. Além disso, como a República Dominicana continua uma alternativa preferível à Venezuela, a Venezuela foi classificada como de 5º nível. Dessa forma, também se explica como o diagrama de preferência inicialmente apresentava três níveis, para depois apresentar cinco níveis.

A equipe responsável pelo projeto considerou que a presente configuração do modelo de preferência é uma representação adequada de seus valores e preferências. Dessa forma, o presente modelo não será alterado novamente. Não serão adicionadas novas informações de preferência, não serão alteradas as avaliações de atributos. Além disso, verificou-se que a família de critérios também é adequada, pois satisfaz os axiomas de exaustividade, de coesão e de não redundância.

Com relação ao axioma de exaustividade, o conjunto de critérios selecionados representa exaustivamente todos os atributos relevantes ao assunto, pois não se verifica a necessidade de adição de algum outro critério de forma que a avaliação global de uma alternativa seja alterada,

influenciando as relações de preferência. Supondo que os pares de alternativas tenham as mesmas avaliações com relação a cada um dos critérios do modelo, verificou-se que haveria apenas relações de indiferença entre as alternativas, pois não há outro critério desconsiderado pelo modelo que poderia fazer com que houvesse preferência por uma das alternativas.

Já o axioma de coesão é satisfeito, pois, em regime de teste, ao melhorar o desempenho de determinados atributos de uma dada alternativa verificou-se que ela se manteve com um desempenho pelo menos tão bom com relação às alternativas cujo desempenho não tenha sido melhorado em relação a qualquer atributo.

O axioma de não redundância foi, por sua vez, testado ao verificar que a retirada de qualquer um dos critérios violaria um dos dois axiomas anteriores. Isso confirma que todos os critérios considerados são importantes para que todos os aspectos pertinentes ao problema sejam considerados, sem prejudicar a coerência entre as preferências.

Portanto, através da análise dos resultados obtidos, é recomendada à direção da montadora que selecione o México (P5) como país onde se localizará a unidade de produção.

5.4 COMENTÁRIOS GERAIS

Para que sejam representados de forma explicativa os procedimentos de aplicação dos métodos selecionados, foram elaborados dois esquemas referentes à primeira e à segunda situação de decisão, respectivamente, figura 34 e 35.

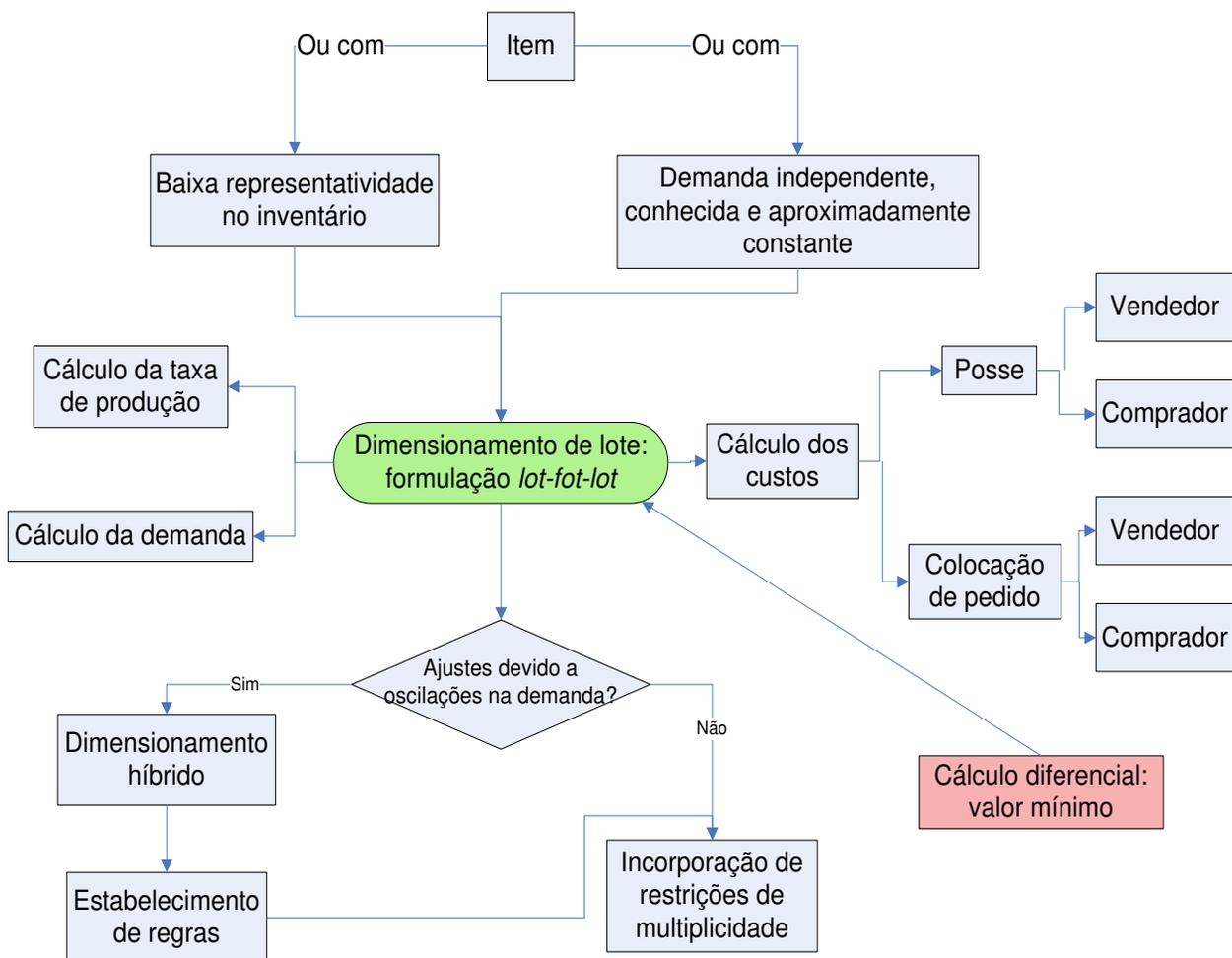


Figura 34 - Esquema explicativo da primeira situação de decisão

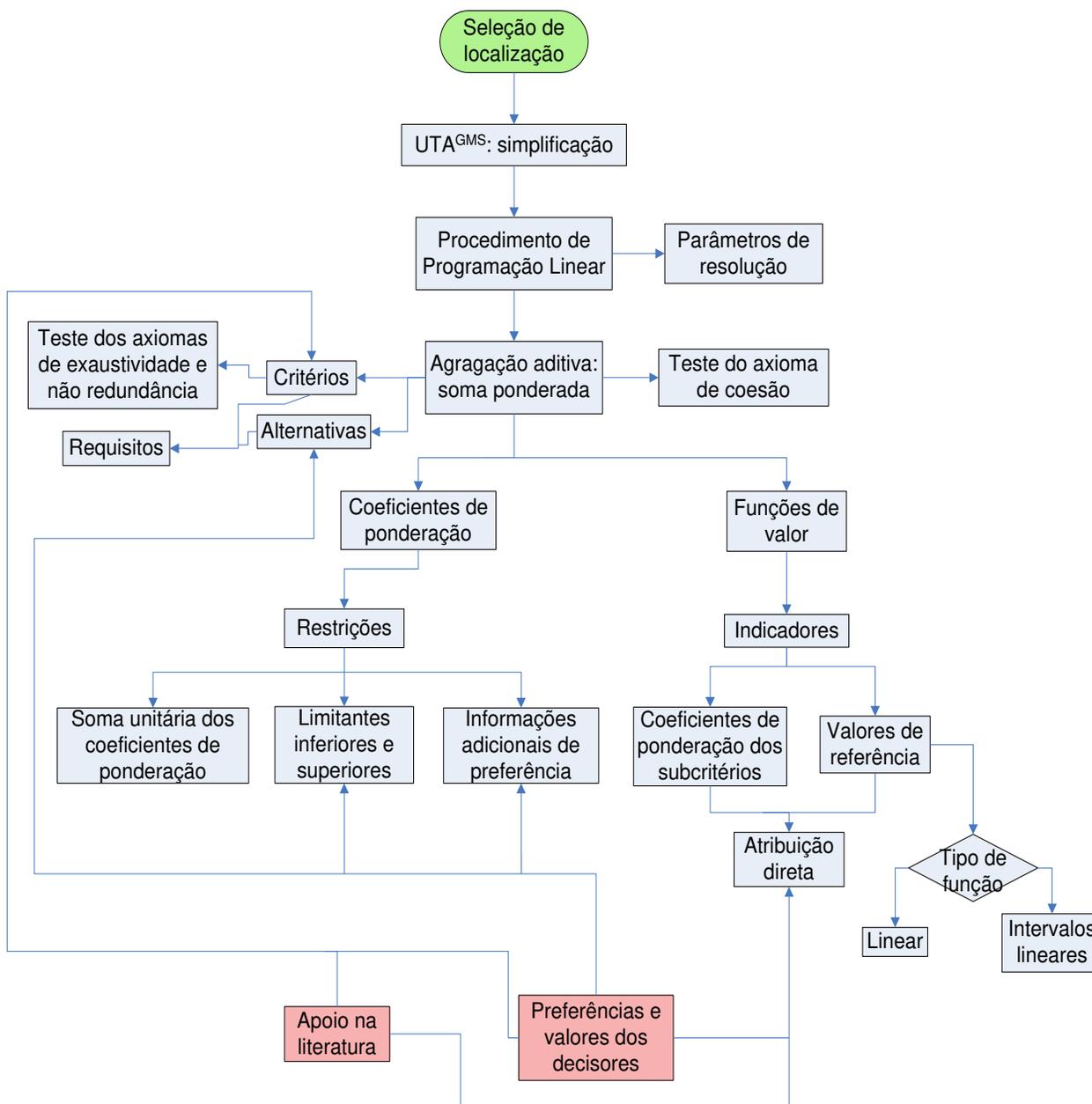


Figura 35 - Esquema explicativo da segunda situação de decisão

Em relação à segunda situação de decisão, são apresentados a seguir, comentários gerais na forma de tópicos:

- I. O problema de localização de instalações costuma ser tratado na literatura (MEIXELL, GARGEYARITIQUE, 2005) como um problema de definição da cadeia de suprimentos

inteira ou da definição de todas as instalações de um dado nível na cadeia de suprimentos, por exemplo, todas as instalações fabris de uma dada empresa em escala mundial. Em muitas situações pode ser desejável trabalhar com apenas uma unidade (instalação), exatamente o caso da presente aplicação, pois não se deseja alterar a posição de outras unidades, seja por aspectos estratégicos, seja porque as fábricas foram projetadas para operarem por um tempo mínimo para que o investimento inicial seja recuperado. Como os modelos existentes trabalham principalmente com objetivos como maximização dos lucros ou minimização dos custos, conforme foi apresentado na revisão teórica desta dissertação (FARAHANI, STEADIESEIFI, ASGARI, 2010; MEIXELL, GARGEYARITIQUE, 2005; MELO, NICKEL, SALDANHA DA GAMA, 2009), em problemas de múltiplas unidades, os investimentos nas unidades já instaladas muitas vezes deixam de ser considerados. Maiores margens de lucro não garantem melhores resultados financeiros quando os investimentos realizados são elevados. De acordo com Ballou (2006), a busca deve ser por maior rentabilidade.

- II. Reconhece-se que as avaliações usadas se referem ao país avaliado como um todo, à média do país. Sendo assim podem existir regiões dentro dos países com melhores desempenhos, de uma forma geral. Logo Canbolat, Chelst, Garg (2007, p. 323) sugerem para a seleção da melhor alternativa que sejam analisados os pontos fracos das melhores alternativas (países), por exemplo, as alternativas de primeiro e segundo nível (México, Costa Rica, Equador, Panamá e Trinidad e Tobago), e que seja verificado se não há regiões geográficas nesses países em que esses pontos fracos sejam menos críticos. Com isso faz-se uma comparação direta entre as avaliações desses países com base nessas regiões.
- III. Pode-se considerar que o modelo construído avalia outros níveis da cadeia de suprimentos, tanto anteriormente quanto posteriormente a unidade fabril, pois os critérios avaliam tanto os fornecedores e recursos naturais quanto os mercados consumidores. Portanto não se trata da análise de uma empresa isoladamente.

IV. Embora esse modelo pouco considere diretamente a avaliação de custos ou medidas financeiras, como fazem a maior parte dos estudos encontrados na literatura, há uma relação causal dos critérios e subcritérios utilizados com os custos reais de operação, além de outros possíveis objetivos de negócio como qualidade e nível de serviço. Os critérios relativos ao transporte, por exemplo, ao avaliar a infraestrutura de transportes dos países, acabam por considerar indiretamente aspectos (como tempo de viagem, carregamento e descarregamento de cargas, atrasos, perdas durante o transporte, modos disponíveis, cobertura da malha de transportes e custos para uso de serviços de transporte) que influenciam diretamente na confiabilidade, qualidade e custos de transporte.

Os subcritérios de posição geográfica, por sua vez, consideram tanto a distância de seus potenciais consumidores, o que interferirá nos custos de transporte e inventário, na confiabilidade logística e no nível de serviço, quanto a presença do canal do Panamá ou o acesso oceânico, que também interferiram nos custos de transporte.

A avaliação de energia elétrica interfere nos custos de energia elétrica (e, conseqüentemente, de produção) e na confiabilidade de produção, pois o indicador referente à qualidade de fornecimento revela uma indicação de eventuais falhas de fornecimento, que poderiam prejudicar a produção ou até aumentar os custos de produção no caso de uso de geradores de energia.

Os custos de mão-de-obra e a qualidade em geral são aspectos que dependem, respectivamente, dos critérios custo de mão-de-obra e qualidade da mão-de-obra, sendo esse último influente também na produtividade.

Fornecedores e matéria-prima são critérios que influenciam na confiabilidade associada aos fornecedores e disponibilidade de matéria-prima, na qualidade do produto, nos custos de fornecimento, incluindo custos logísticos, custos de desenvolvimento de fornecedores, custos com matéria-prima, custos associados à qualidade.

O critério agilidade de procedimentos por tratar de procedimentos importantes para realização de projetos e transações operacionais interfere diretamente nos custos administrativos, custos operacionais, rapidez e nível de serviço.

Desempenho econômico é um importante indicador com influência em todos os custos do negócio, nas perspectivas de crescimentos (receita), na confiabilidade dos fornecedores e dos serviços públicos. Junto dos critérios tributação e estabilidade institucional é um dos fatores que mais podem ocasionar incertezas.

A tributação é outro critério de grande influência nos custos do negócio, tanto em termos de mão-de-obra, quanto de renda, taxas alfandegárias. Enquanto a estabilidade institucional interfere em custos associados a incertezas políticas e econômicas, por exemplo, novas regulações, guerras, greves gerais, nacionalização das instalações da empresa no país ou de seus fornecedores.

- V. Especificamente tratando do método adotado, é possível afirmar que permite uma rica avaliação e modelagem do problema de apoio à tomada de decisão, cujos resultados podem servir para análises diversas, que demanda grande cuidado na elaboração e um tempo de implementação maior que outros métodos mais simples, apesar de não ser dos mais complexos.
- VI. Deve-se destacar que nem sempre é possível obter relações de preferência claras entre as alternativas dentro de um modelo de preferência que considere relações de indiferença (como o adotado), sendo que para o modelo estudado, o número e qualidade das restrições são importantes parâmetros para que se obtenha uma maior quantidade desse tipo de relações. Poucas restrições podem significar na conclusão de poucas ou nenhuma relação de preferência global, enquanto muitas restrições podem implicar em solução impossível para diversas das programações lineares realizadas no método.

VII. O modelo elaborado deve descrever seus critérios e escalas da forma mais clara e coerente possível com as preferências do(s) decisor(es) para que reduzam o grau de subjetividade inerente a avaliação e inconsistências lógicas.

6 CONCLUSÃO

É elevado o número de decisões a serem consideradas ao se gerir uma cadeia de suprimentos. Dallery (2003) e Sahin (2009) levantaram 68 tipos de decisões a serem realizadas em uma cadeia de suprimentos. Elas são de diversas naturezas e envolvem diferentes horizontes temporais, conforme pode ser verificado na seção 3.3 desta dissertação, o que ilustra a complexidade do processo de tomada de decisão na cadeia de suprimentos.

Nas duas situações desenvolvidas na aplicação em contexto industrial do presente trabalho, foram adotados métodos de apoio à tomada de decisão pouco utilizados, especialmente ao se considerar a literatura nacional, embora no caso dos métodos multicritério, eles estejam cada vez mais populares no país.

No entanto para a realização de estudo aplicado para os dois tipos de decisão propostos, foi selecionada uma empresa do segmento automobilístico, cuja identidade é mantida em sigilo e cujas características permitiram o estudo proposto. Portanto, conforme o enunciado do objetivo principal desta dissertação, o referido estudo foi feito no segmento automobilístico.

Além disso, em se tratando da primeira situação de decisão apresentada no capítulo 5 desta dissertação, um modelo de integração comprador-vendedor para o dimensionamento de um lote de aquisição foi selecionado, adaptado e aplicado. Tal decisão pode ser classificada como de provisionamento, com horizonte de atuação operacional ou até tático

O modelo *lot-for-lot* (BANERJEE, 1986), que é derivado do Lote Econômico de Pedido, foi selecionado para essa situação. Por permitir o dimensionamento de um lote de aquisição com uma perspectiva mais ampla que os modelos tradicionais, pois considera os custos não apenas da empresa compradora, mas também da empresa vendedora, esse modelo garantiu que houvesse a requisitada “integração comprador-vendedor”.

Assim este trabalho expôs um exemplo prático de empresas envolvidas em uma mesma cadeia de suprimentos considerando sua situação conjuntamente, para uma dada decisão, e não apenas individualmente, visando o melhor para o todo (baseado no exemplo de BALLOU, 2006; segundo o modelo de BANERJEE, 1986; baseado na aplicação de BEHESHTI, 2010).

Porém devido às características da situação estudada foram feitas algumas adaptações para a aplicação do modelo. Destacam-se a necessidade de impor uma multiplicidade aos tamanhos do lote, segundo exigência do fornecedor, e a possibilidade de ajustes do tamanho de lote com uma antecedência mínima em função de oscilações na demanda, aproveitando a baixa sensibilidade do custo de aquisição nas proximidades de seu tamanho de lote ótimo.

O modelo utilizado mostrou-se adequado para a redução dos custos agregados de aquisição, ou seja, considerando-se a cadeia de suprimentos como um sistema integrado, conforme propõe Beheshti (2010), pois com o estudo de dimensionamento de lote realizado avaliou-se que a soma dos custos de compra da empresa compradora e de venda da empresa vendedora é menor ao se tratar o problema de dimensionamento de lote conjuntamente. Assim verifica-se diminuição de perdas, com a redução do custo agregado da empresa compradora e vendedora, conseqüentemente reduzindo-se o custo do produto final (automóvel) produzido pela cadeia, o que diminui o risco da empresa ter prejuízo, dele ser menos competitivo e aumenta sua atratividade.

Como o modelo foi aplicado apenas a um item (bucha) adquirido pela montadora, é importante notar que para que haja uma redução de custos significativa neste sentido, deve-se aplicar o mesmo conceito de decisões ótimas conjuntas para um volume mais significativo de componentes. Um estudo semelhante pode ser realizado para suas ações de compras em geral, não apenas quando há aplicação de modelos baseados no Lote Econômico de Pedido, mas também para outros modelos. Além disso, para obter benefícios maiores ainda, ela pode estender o conceito para todas as outras decisões da cadeia de suprimentos que envolvam mais de uma empresa.

O estudo desenvolvido na primeira situação visa uma otimização do parâmetro tamanho de lote para a cadeia de suprimentos como um sistema. É colocado um modelo voltado para que as empresas busquem melhorar o desempenho do todo e assim beneficiarem-se individualmente. Há maior facilidade na tomada de decisão, pois o modelo, como sistema integrado, traz uma visão holística da cadeia de suprimentos (baseando em BEHESHTI, 2010). Evidentemente é necessário certo grau de parceria no relacionamento entre as empresas para que se tenha sucesso. Outra consideração pertinente, é que esse procedimento deve ser devidamente ajustado através de negociações contratuais, políticas de compartilhamento de informações, grau de integração e cooperação entre as empresas.

Com esse modelo, diferentemente do exemplo de Ballou (2006), o fornecedor não conta apenas com o custo de recebimento de pedido. Também há o custo de posse do inventário por parte do fornecedor. Assim não se confirma a tradicional relação de quanto maior o tamanho de lote menor o custo de venda do fornecedor. Logo, segundo o modelo considerado, não se configura a premissa que é mais vantajoso para o fornecedor o maior tamanho de lote possível.

Há que se ressaltar que o modelo adotado faz diversas idealizações que o torna mais simples em relação à realidade. Portanto pode ser aperfeiçoado, além de requerer cuidados para sua aplicação. Ele considera uma demanda determinística, com taxa constante, desconsideram-se perdas diversas seja por problemas no transporte, armazenamento, na qualidade de produção, de matéria-prima, os custos são considerados fixos, despreza-se a capacidade de carga dos veículos de transporte, a capacidade de armazenamento, a presença de mais de um fornecedor e de mais de um comprador para o mesmo item, a transação de itens diferentes com o mesmo fornecedor.

Com relação a restrições de multiplicidade do tamanho de lote, foi considerada uma restrição do fornecedor em função de características de seu processo de produção. Entretanto outras restrições podem ocorrer na vida-real como em função de embalagem.

Já na segunda situação estudada, buscando considerar os múltiplos aspectos envolvidos em um problema de localização de instalação, cumpriu-se o objetivo de selecionar, adaptar e aplicar um método de apoio multicritério à tomada de decisão para um problema de seleção de um país

visando à localização de uma instalação industrial. Ele é uma simplificação do método UTA^{GMS} e uma adaptação de sua extensão GRIP. Então, através de uma modelagem cuidadosamente elaborada e que satisfaz requisitos de aplicação, foi possível recomendar uma alternativa, ou um país dentre dez, para instalação de uma unidade de produção de uma montadora automobilística. Esta modelagem levou em conta avaliações de diversos critérios bem como restrições que buscavam traduzir as preferências e valores dos tomadores de decisão, assim como características contextuais.

Assim o método adotado mostrou-se adequado e eficaz para o apoio à tomada de decisão de um problema considerado de valor estratégico na cadeia de suprimentos. Isso se deve principalmente ao cuidado na construção dos critérios e ao estabelecimento de um número considerável de restrições, os quais permitiram que se estabelecessem relações de preferência entre os candidatos.

Como já foi discutido, foi adotada uma simplificação do método selecionado. Para isso, algumas adaptações foram realizadas. As funções de valor consideradas são de apenas um tipo, lineares ou de múltiplos intervalos lineares, enquanto o método original permite que a função de valor seja qualquer função não-decrescente, o que garante que a adaptação seja menos ampla, porém mais simples. Considerou-se um modelo de agregação baseado na soma ponderada, e que, dessa forma, conta com coeficientes de ponderação, os quais variam em intervalos definidos por limites inferiores e superiores, uma adaptação semelhante ao que é estabelecido no método PROMETHEE VI.

Além disso, os decisores não têm de apontar valores exatos aos coeficientes de ponderação, o que elimina subjetividade no processo de avaliação de desempenho, também confere flexibilidade nas avaliações da importância dos critérios em termos globais. Assim avalia-se o desempenho global de uma alternativa, considerando situações em que seus critérios podem assumir maiores e menores importâncias relativas.

Em se tratando de uma decisão estratégica (longo horizonte de tempo) de produção com influência chave nos objetivos de negócio da empresa, foi importante ter sido utilizado um

método multicritério, de construção sofisticada e ampla. Pois, dessa forma, diversos aspectos foram considerados na análise do assunto, com uma representação mais fidedigna dos valores e estratégias da empresa, o que faz com que a modelagem seja mais rica em termos do contexto do problema. Soma-se a isso a adoção de avaliações, indicadores e índices de organizações de reconhecimento internacional, como Organização das Nações Unidas e Banco Mundial na modelagem do problema, o que corrobora o embasamento para a construção e avaliação dos critérios. No entanto, é necessário que se faça uma ponderação com relação às diferentes metodologias empregadas pelas diversas organizações internacionais na elaboração dos índices adotados neste trabalho. Um exemplo disso são os diferentes valores de PIB calculados por organizações como ONU e Banco Mundial. Assim há uma incerteza nos valores de avaliação dos atributos, associadas às diferentes execuções e metodologias de processamento e coleta dos dados utilizados por parte dessas organizações.

Por outro lado, o uso de teorias de economia internacional na forma de indicadores de competitividade é crucial para a empresa e melhoram o modelo adotado de acordo Lee, Wilhelm (2010). Nesse sentido, foram selecionados alguns indicadores de competitividade mais adequados para o caso da indústria automobilística, especialmente os indicadores de veículos produzidos, veículos existentes no país e taxas alfandegárias.

Esse método pode ter outras aplicações em tomada multicritério de decisão na cadeia de suprimentos, sobretudo as de relevância mais estratégica, como seleção de fornecedor, seleção de localização de fábrica dentre um conjunto de terrenos candidatos, de localização de centros de distribuição, seleção de novos produtos, seleção de novos segmentos de mercado, novos negócios, priorização de investimentos, seleção de tecnologia, dentre outras. Ele pode inclusive ser útil na modelagem de situações particulares de decisão que envolvam questões ambientais.

O método adotado na segunda situação mostrou-se mais complexo, com uma demanda de dados mais extensa, uma definição de critérios coerente e bem constituída, enfim uma modelagem que exige maior cuidado. Por outro lado, o método aplicado na primeira situação dispõe de grande objetividade e o tempo necessário para sua implementação é menor.

De uma forma geral, como sugestão para novos temas de estudo relacionados a este trabalho, propõe-se que sejam utilizados outros métodos com enfoque de integração entre as empresas membro de uma cadeia de suprimentos e de análise multicritério. Esses outros métodos podem, inclusive, ser utilizados nas mesmas aplicações realizadas neste trabalho, possibilitando que se comparem os eventuais novos resultados com os resultados presentes.

Com relação à aplicação para o problema de localização industrial, uma sugestão é que sejam realizadas as outras duas fases do projeto de seleção, respectivamente, em escala regional e dos próprios terrenos, dando continuidade ao estudo.

As aplicações desenvolvidas no presente estudo abordaram situações típicas de decisão estratégica e decisão operacional, nas áreas de produção e aprovisionamento. São duas classes dentre as dezesseis apontadas pelo modelo de Dallery (2003), portanto há catorze outras categorias em que se poderia executar aplicações. O que constitui oportunidade para que novos estudos desenvolvam aplicações em classes de decisões não abordadas, como as decisões táticas e operacionais detalhadas, em áreas de distribuição e demanda.

Além disso, outro assunto cujo estudo seria de valia complementar, são as diferentes possibilidades no relacionamento entre empresas de uma mesma cadeia de suprimentos para realizar a divisão de lucros, riscos, custos e investimentos. Ou seja, com os métodos de apoio à tomada de decisão estabelecidos na cadeia de suprimentos, de qual forma devem ser distribuídos esses itens e com qual grau de compartilhamento de informação?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, L.; ALMEIDA, A. Supplier Selection Based on the PROMETHEE VI Multicriteria Method. In: International Conference on Evolutionary Multi-criterion Optimization, 6., Ouro Preto, 2011. **Proceedings of the 6th International Conference on Evolutionary Multi-criterion Optimization**. Berlin: Springer, 2011. v. 6576, p. 608-618.

ALLESINA, S. Performance measurement in supply chains: new network analysis and entropic indexes. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 8, p. 2297-2321, 2010.

AMBE, I. M.; BADENHORST-WEISS, J. A. Strategic supply chain framework for the automotive industry. **African Journal of Business Management**, v. 4, n. 10, p. 2110-2120, 2010.

BALLOU, R. H. The evolution and future of logistics and supply chain management. **Produção**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 375-386, 2006.

BALLOU, R. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. Tradução de Hugo T. Y. Yoshizaki. São Paulo: Atlas, 2011. 392 p.

BANERJEE, A. A Quantity Discount Pricing Model to Increase Vendor Profits. **Management Science**, v. 32, n. 11, p. 1513-1517, 1986.

BEHESHTI, H. M. A decision support system for improving performance of inventory management in a supply chain network. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 59 n. 5, p. 452-467, 2010.

BEHZADIAN, M. et al. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operational Research**, v. 200, n. 1, p. 198-215, 2010.

BEN-DAYA, M.; AS'AD, R.; SELIAMAN, M. An integrated production inventory model with raw material replenishment considerations in a three layer supply chain. **International Journal of Production Economics**, 2010.

BEN-DAYA, M.; DARWISH, M.; ERTOGRAL, K. The joint economic lot sizing problem: Review and extensions. **European Journal of Operational Research**, v. 185, n. 2, p. 726-742, 2008.

BERTAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modelling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241 - 264, 2002.

BHASIN, S. Lean and performance measurement. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 19, n. 5, p. 670 - 684, 2008.

BOUYSSOU, D. et al. **Evaluation and decision models with multiple criteria: stepping stones for the analyst**. USA: Springer, 2006. 447 p. (International Series in Operations Research & Management Science)

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. PROMETHEE methods. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple Criteria Decision Analysis: The State of the Art Survey**. Boston: Springer, 2005. v. 76, p. 163-195. (International Series in Operations Research & Management Science).

BUCHANAN, J. R. **An undergraduate introduction to financial mathematics**. Cingapura: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2006. 270 p.

CABEÇA, M. G.; SILVA, I. B. Análise comparativa do uso das ferramentas de gestão manufatura enxuta e seis sigma: estudo de caso e proposta de um modo de combinação. In: Simpósio de Engenharia de Produção, 16., 2009, Bauru. **Anais do Simpósio de Engenharia de Produção**. Bauru: SIMPEP, 2009. v. 16, p. 1-12.

CÁMARA VENEZOLANA DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA. **Estadísticas Consolidadas Año 2007**. 2007. Disponível em: <<http://www.caveinel.org.ve>>. Acesso em: 25 janeiro 2011.

CANBOLAT, Y. B.; CHELST, K. C.; GARG, N. Combining decision tree and MAUT for selecting a country for a global manufacturing facility. **Omega**, v. 35, n. 3, p. 312-325, 2007.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 2010. 231 p.

CHAUDHARI, G. S. **Information network design for lean logistics**. 2008. 232 f. Tese (Doutorado) - Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.

CHEN, I. J.; PAULRAJ, A. Understanding supply chain management: critical research and a theoretical framework. **International Journal of Production Research**, v. 42, n. 1, p. 131-163, 2004.

CHIU, S. W. et al. Joint determination of the production lot size and number of shipments for EPQ model with rework. **Mathematical and Computational Applications**, v. 16, n. 2, p. 317-328, 2011.

CHIU, Y-S. P. et al. Incorporating multi-delivery policy and quality assurance into economic production lot size problem. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 68, n. 6, p. 505-512, 2009.

CHUNG, K-J.; LIAO, J-J. The simplified solution algorithm for an integrated supplier-buyer inventory model with two-part trade credit in a supply chain system. **European Journal of Operational Research**, v. 213, n. 1, p. 156-165, 2011.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. **Supply Chain Management Terms and Glossary**. 2010. Disponível em: <cscmp.org/digital/glossary/document.pdf>. Acesso em: 28 julho 2010.

CREATIVE COMMONS. **Geodistance**. Disponível em: <<http://www.geodistance.com>>. Acesso em: 18 janeiro 2011.

CUZ, M. C. **Avaliação de um sistema de gestão de desempenho: a percepção dos funcionários do banco Itaú**. 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

DALLERY, Y. **Logistique**. École Centrale Paris, Châtenay-Malabry, set 2003. Notas de aula.

DALLERY, Y. **Supply Chain strategy and design**. École Centrale Paris, Châtenay-Malabry, nov. 2009. Notas de aula.

DANTZIG, G. B.; ORDEM, A.; WOLFE, P. The generalized Simplex method for minimizing a linear form under linear inequality restraints. **Pacific Journal of Mathematics**, v. 5, n., p. 183-195, 1955.

DAUGHERTY, P. J. Review of logistics and supply chain relationship literature and suggested research agenda. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 41, n. 1, p. 16-31, 2011.

DENARDO, E. V. **International series in operations research & management science: a problem-based introduction with spreadsheets**. New York: Springer, v. 149, 2011. 673 p.

DRUCKER, P. F. **The practice of management**. Oxford: Elsevier, 2007. 355 p.

EFICÁCIA. In: WEISZFLOG, W. **Michaelis: moderno dicionário da língua portuguesa**. Melhoramentos, 2007. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

FARAHANI, R. Z.; STEADIESEIFI, M.; ASGARI, N. Multiple criteria facility location problems: A survey. **Applied Mathematical Modelling**, v. 34, n. 7, p. 1689-1709, 2010.

FERNÁNDEZ, I.; RUIZ, M. C. Descriptive model and evaluation system to locate sustainable industrial areas. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 1, p. 87-100, 2009.

FIGUEIRA, J. R. et al. Interactive multiobjective optimization using a set of additive value functions. In: BRANCKE, J. et al. **Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches**. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. v. 5252, p. 97-119. (Lecture Notes in Computer Science).

FIGUEIRA, J. R. et al. Electre Methods: Main Features and Recent Developments. **Handbook of Multicriteria Analysis**, Heidelberg, v. 103, p. 51-89, 2010.

FLYNN, B. B.; HUO, B.; ZHAO, X. The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach. **Journal of Operations Management**, v. 28, n. 1, p. 58-71, 2010.

GRECO, S.; MOUSSEAU, V.; SŁOWINSKI, R. Ordinal regression revisited: multiple criteria ranking using a set of additive value functions, **European Journal of Operational Research**, v. 191, n. 2, p. 416–436, 2008.

GUDEHUS, T.; KOTZAB, H. Strategies of Logistics. In: _____. **Comprehensive Logistics**. Berlin: Springer, 2009. cap. 5, p. 101-127.

HE, M. et al. Financial Supply Chain Management. **Service Operations and Logistics and Informatics**, Qingdao, p. 70-75, 2010.

HERRMANN, D. S. Measuring Return on Investment (ROI) in Physical, Personnel, IT, and Operational Security Controls. In: Herrmann, Debra S. **Complete Guide to Security and Privacy Metrics: Measuring Regulatory Compliance, Operational Resilience, and ROI**. New York: Auerbach Publications, 2007. chap. 5, p. 687-752.

HO, W.; XU, X.; DEY, P. K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 1, p. 16-24, 2010.

HU, D. et al. Strategic choices of inter-organizational information systems: A network perspective. **Information Systems Frontiers**, Springer Netherlands, p. 1-12, 2010.

HUGOS, M. H. **Essentials of supply chain management**. New Jersey, John Wiley & Sons, e. 2, 2006. 290 p.

IBM. **Sobre IBM e Lenovo**. Disponível em: <<http://www.ibm.com/ibm/br/pt/pcannouncement/>>. Acesso em: 5 agosto 2011.

INTERNATIONAL MONETARY FUND. **World economic outlook: world economic and financial surveys**. Washington: International Monetary Fund, set 2011. 219 p.

INTERNATIONAL TRADE CENTER. **Market Access Map**. 2011. Disponível em: <<http://www.macmap.org/>>. Acesso em: 23 setembro 2011.

JAMAICA PUBLIC SERVICE RESOURCE CENTRE. **Rate Schedules 2010**. Disponível em: <http://www.myjpsco.com/resource_centre/electricity_rates.php>. Acesso em: 20 setembro 2011.

JONES, D. T.; HINES, P.; RICH, N. Lean logistics. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**. v. 27, n. 3/4, p.153 - 173, 1997.

JÚNIOR, N. T.; MIYAKE, D. I. Melhoria de desempenho em serviços: alternativas para lidar com o trade-off entre eficiência e eficácia. **Revista Produção Online**, v. 11, n. 1, p. 162-193, 2011.

KAPLAN, R.; NORTON, D. P. **A Estratégia em Ação – Balanced Scorecard**. Rio de Janeiro: Campus, 1997. 360 p.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P.; RUGELSSJOEN, B. Managing Alliances with the Balanced Scorecard. **Harvard Business Review**, v. 88, n. 1, p. 114-120, 2010.

KARMAKAR, N. A new polynomial-time algorithm for linear programming. **Combinatorica**, v. 4, n. 4, p. 373–395, 1984.

KARMAKAR, U. S. Push, Pull and Hybrid Control Schemes. **Tijdschrift voor Econornie en Management**, v. 36, n. 3, p. 345-363, 1991.

KUMAR, S. A.; SURESH, N. **Operations Management**. New Delhi: New Age International (P) Ltd., 2009. 277 p.

LEE, C.; WILHELM, W. On integrating theories of international economics in the strategic planning of global supply chains and facility location. **International Journal of Production Economics**, v. 124, n. 1, p. 225-240, 2010.

LIAO, C. J.; LIN, Y.; SHIH, S. C. Vehicle routing with cross-docking in the supply chain. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 10, p. 6868-6873, out 2010.

LI, Y.; LIU, Z. ; XU, J. An intergrated model of third-party lean logistics. In: International Conference on Transportation Engineering, 1., Chengdu, China, 2007. **Proceedings of the International Conference on Transportation Engineering**. Reston, EUA: ASCE, 2007, p. 1052-1057.

MADEIRA, L. C. **Classificação multicritério de empresas e processos em controles internos: aplicações do ELECTRE TRI**. 2010. 135 f.. Dissertação (Mestrado) - Faculdades IBMEC, Rio de Janeiro, 2010.

MANN, D. W. **Creating a lean culture: tools to sustain lean conversions**. New York: Productivity Press, 2005. 211 p.

MANUJ, I.; SAHIN, I. A model of supply chain and supply chain decision-making complexity. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 41, n. 5, p. 511-549, 2011.

MARQUES, A. C. F. **Aplicação do apoio multicritério à decisão ao projeto do aeroporto industrial de Viracopos**. 2009. 270 f.. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

MARTINEZ, V.; PAVLOV, A.; BOURNE, M. Reviewing performance: an analysis of the structure and functions of performance management reviews. **Production Planning & Control**, v. 21, n. 1, p. 70-83, 2010.

MASKELL, B.; BAGGALEY, B. **Practical lean accounting: a proven system for measuring and managing the lean enterprise**. New York: Productivity Press, 2003.

MEIXELL, M. J.; GARGEYARITIQUE, V. B. Global supply chain design: A literature review and critique. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 41, n. 6, p. 531-550, 2005.

MELO, M. T.; NICKEL, S.; SALDANHA DA GAMA, F. Facility location and supply chain management – A review. **European Journal of Operational Research**, v. 196, n. 2, p. 401-412, 2009.

MORETTI, D. C. **Gestão de suprimentos em um operador logístico**. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MOUSSEAU, V. **Modélisation pour l'Aide à la Décision**. École Centrale Paris, Châtenay-Malabry, 1º semestre 2009. Notas de aula.

NEWNAN, D. G.; ESCHENBACH, T. G.; LAVELLE, J. P. **Engineering economic analysis**. 9 ed. New York: Oxford University Press, 2004. 600 p.

NICKEL, S.; PUERTO, J.; RODRÍGUEZ-CHÍA, A. M. MCDM location problems. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple Criteria Decision Analysis: The State of the Art Survey**. Boston: Springer, 2005. v. 76, p. 761-795. (International Series in Operations Research & Management Science).

NISHIDA, L. Logística Lean: conceitos básicos. **Lean Institute Brasil**. 2008. Disponível em: <<http://www.lean.org.br/artigos/41/logistica-lean-conceitos-basicos.aspx>>. Acesso em: 10 julho 2011.

NUDURUPATI, S. S. et al. State of the art literature review on performance measurement. **Computers & Industrial Engineering**, v. 60, n. 2, p. 279-290, 2011.

ORGANISATION INTERNATIONALE DES CONSTRUCTEURS D'AUTOMOBILES. **2010 Production Statistics**. Disponível em: <<http://oica.net/wp-content/uploads/all-vehicles-2010.pdf>>. Acesso em: 20 setembro 2011.

ÖZDAĞOĞLU, A. A multi-criteria decision-making methodology on the selection of facility location: fuzzy ANP. **The international journal of advanced manufacturing technology**, Springer London, p. 1-17, 2011. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/g42160h8r3251662/>>. Acesso em: 19 agosto 2011.

ÖZTÜRK, M.; TSOUKIÀS, A.; VINCKE, P. Preference modeling. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple Criteria Decision Analysis: The State of the Art Survey**. Boston: Springer, 2005. v. 76, p. 27-71. (International Series in Operations Research & Management Science).

PEIDRO, D.; MULA, J.; POLER, R.; LARIO, F. C. Quantitative models for supply chain planning under uncertainty: a review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 43, n. 3-4, p. 400-420, 2009.

PETITQUEUX, A. **Implementation Lean: application industrielle**. Paris: Techniques de l'Ingénieur, 2006. Disponível em: <www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/genie-industriel-th6/logistique-ti082/implementation-lean-application-industrielle-ag5195/>. Acesso em: 9 setembro 2010.

PRANCIC, E. **Modelo para concepção de sistema de medição de desempenho do processo de desenvolvimento do produto**. 2008. 182 p. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Estadual de São Carlos, São Carlos.

PRS GROUP. **ICRG Methodology**. 2010. Disponível em: <<http://rru.worldbank.org/BESnapshots>>. Acesso em: 25 setembro 2011.

PRS GROUP. **International Country Risk Guide**. 2011. Disponível em: <http://www.prsgroup.com/ICRG_Methodology.aspx>. Acesso em: 25 setembro 2011.

ROSA, H.; MAYERLEB, S. F.; GONÇALVES, M. B. Controle de estoque por revisão contínua e revisão periódica: uma análise comparativa utilizando simulação. **Revista Produção Online**, v. 20, n. 4, p. 626-638, 2010.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to see: value stream mapping to create value and eliminate muda**. Massachusetts: Lean Enterprise Institute, 2003. 102 p.

ROY, B. Paradigms and challenges. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple Criteria Decision Analysis: The State of the Art Survey**. Boston: Springer, 2005. v. 76, p. 3-24. (International Series in Operations Research & Management Science).

SAHIN, E. **Pilotage de flux et gestion de stocks**. École Centrale Paris, Châtenay-Malabry, 2º semestre 2009. Notas de aula.

SAHIN, E ; JEMAI, Z. **Supply Chain Management**. École Centrale Paris, Châtenay-Malabry, 2º semestre 2009. Notas de aula.

SCHWAB, K. **The Global Competitiveness Report 2011–2012**. In: World Economic Forum, Genebra, 2011. 527 p.

SILVA, E. H. D. R.; LIMA, E. P. Um estudo sobre modelos de gestão estratégica do desempenho. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 29, 2009, Salvador. **Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Salvador: ABEPRO, 2009, v. 29.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3 ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. 121 p.

SILVA, C. M. S. et al. Evoluindo da cadeia de valor para cadeia de suprimentos. **Revista Produção Online**, v.10, n.4, p. 753-778, 2010.

SISKOS, Y.; GRIGOROUDIS, E.; MATSATSINIS, N. UTA methods. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple Criteria Decision Analysis: The State of the Art Survey**. Boston: Springer, 2005. v. 76, p. 297-343. (International Series in Operations Research & Management Science).

SLACK, N. The flexibility of manufacturing systems. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 12, p. 1190-1200, 2005.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Planejamento e controle de estoque**. Tradução de Henrique Luiz Corrêa. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009. 703 p.

SURINAME CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY. Entrepreneurship Support Center. **Cost Of Doing Business In Suriname**. Paramaribo, Suriname, 2009. Disponível em: <http://www.surinamedirectory.biz/engels/m_08/Form1.pdf>. Acesso em: 28 janeiro 2011.

UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION. **Social Indicators**. 2011. Disponível em: <<http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/socind/population.htm>>. Acesso em: 15 setembro 2011a.

UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION. **Social Indicators**. 2011. Disponível em: <<http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/socind/education.htm>>. Acesso em: 20 setembro 2011b.

U. S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International Energy Statistics**. 2010. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/emeu/international>>. Acesso em: 12 janeiro 2011.

U. S. DEPARTMENT OF STATE. **2008 Country Reports on Human Rights Practices**. 2008. Disponível em: <<http://www.state.gov/g/drl/rls/hrrpt/2008/index.htm>>. Acesso em: 27 setembro 2011.

VANDERBEI, R. J. **Linear programming: foundations and extensions**. New York: Springer, 2008. 467 p.

WAHAB, M. I. M.; MAMUN, S. M. H.; ONGKUNARUK, P. EOQ models for a coordinated two-level international supply chain considering imperfect items and environmental impact. **Journal of Production Economics**. v. 134, n. 1, p. 151-158, nov 2011.

WANG, M.; LIU, B. Model design for the subcontract of multi-distributor and multi-task in lean logistics environment. In: International Conference of Logistics Engineering and Management, 1., Chengdu, China, 2010. **Proceedings of the International Conference of Logistics Engineering and Management**. Reston, EUA: ASCE, 2010, v. 387, p. 751-757.

WENDAN ZHAO, D. W.; WENDAN ZHAO, D. Y. Supply Chain Management in Process Industry. **Advanced Management Science**, Chengdu: p. 336-339, 2010.

WOMACK, J. P.; JONES, D.T. **Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation**. New York: Free Press, 2003. 396 p.

WOMACK, J. P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Tradução de Ivo Korytowki. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 332 p. Título original: The machine that changed the world.

WORLD BANK. Environmental Economics and Indicators. **Natural Capital**. 2000. Disponível em: <<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/ENVIRONMENT/EXTTEEI/0,,contentMDK:20487828~menuPK:1187788~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:408050,0.html>>. Acesso em: 17 janeiro 2011.

WORLD BANK. Urban Development. **Passenger cars (per 1,000 people)**. 2008. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/IS.VEH.PCAR.P3>>. Acesso em: 19 setembro 2011.

WORLD BANK. Economic Policy and External Debt. **GNI per capita, Atlas method (current US\$)**. 2010a. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.PCAP.CD/countries?display=default>>. Acesso em: 19 setembro 2011.

WORLD BANK. **Doing Business 2011**. Washington: The World Bank, 2010b. 255 p.

WORLD BANK. Economic Policy and External Debt. **GDP (constant 2000 US\$)**. 2011. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>>. Acesso em: 23 setembro 2011.

WYSOCKI, R. K. **Effective project management: traditional, adaptive, extreme**. 4. ed. Indianapolis, Wiley Publishing, 2007. 615 p.

YIN, R. K. **Estudo de caso - Planejamento e métodos**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 248 p.

YOU, F.; WASSICK, J. M.; GROSSMANN, I. E. Risk management for a global supply chain planning under uncertainty: models and algorithms. **AIChE Journal**, v. 55, n. 4, p. 931–946, 2009.

ZHAO, X.; NING. L. Study of the lean logistics operating model based on RFID and its application in auto industry. In: International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology, 1., Wuhan, China, 2009. **Proceedings of the International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology**. Wuhan, China: IEEE, 2009, p. 1-4.

APÊNCICE A - DADOS COMPLEMENATARES DA APLICAÇÃO

Tabela 35 - PIB dos países candidatos de 2005 a 2010 (dados do WORLD BANK, 2011)

Candidatos	PIB [Bilhões de US\$ com cotação de 2000]					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
P1	119,9	127,9	136,7	141,6	143,6	149,8
P2	19,5	21,2	22,8	23,4	23,1	23,9
P3	20,8	22,0	22,4	24,0	24,1	25,0
P4	9,9	10,2	10,3	10,5	10,2	10,2
P5	637,1	669,9	691,7	702,1	659,4	695,7
P6	14,3	15,6	17,5	19,2	19,8	21,3
P7	28,5	31,6	34,3	36,1	37,3	40,2
P8	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	0,0
P9	12,0	13,6	14,2	14,5	14,0	14,1
P10	132,9	146,0	157,9	165,5	160,0	157,0

Tabela 36 - Taxas alfandegárias para automóveis de 1000 cc a 1500 cc (dados do INTERNATIONAL TRADE CENTER, 2011)

		Taxas alfandegárias [%] para automóveis entre 1000 cc e 1500 cc										
		Importador										
País		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Média
E x p o r t a d o r	P1	-	0,88	0	0	0	15,15	15,2	28,33	12,5	0	8,01
	P2	35	-	17,5	0	0	15,15	0	28,33	12,5	40	16,50
	P3	0	0,88	-	33	45	15,15	15,2	28,33	12,5	0	16,67
	P4	35	0,88	17,5	-	45	15,15	0	0	0	40	17,06
	P5	0	0	16,1	33	-	15,15	15,2	28,33	12,5	40	17,81
	P6	35	0,88	17,5	33	45	-	0	28,33	12,5	40	23,58
	P7	35	0	17,5	0	45	15,15	-	0	0	40	16,96
	P8	35	0,88	17,5	0	45	15,15	0	-	0	40	17,06
	P9	35	0	17,5	0	45	15,15	0	0	-	40	16,96
	P10	0	0,88	0	33	45	15,15	15,2	28,33	12,5	-	16,67

Tabela 37 - Taxas alfandegárias para automóveis de 1500 cc a 3000 cc (dados do INTERNATIONAL TRADE CENTER, 2011)

		Taxas alfandegárias [%] para automóveis entre 1500 cc e 3000 cc										
		Importador										
País		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Média
E x p o r t a d o r	P1	-	0,88	0	0	0	15,15	15,2	35	27	0	10,36
	P2	35	-	17,5	0	0	15,15	0	35	27	40	18,85
	P3	0	0,88	-	33,82	45	15,15	15,2	35	27	0	19,12
	P4	35	0,88	17,5	-	45	15,15	0	0	0	40	17,06
	P5	0	0	16,1	33,82	-	15,15	15,2	35	27	40	20,25
	P6	35	0,88	17,5	33,82	45	-	0	35	27	40	26,02
	P7	35	0	17,5	0	45	15,15	-	0	0	40	16,96
	P8	35	0,88	17,5	0	45	15,15	0	-	0	40	17,06
	P9	35	0	17,5	0	45	15,15	0	0	-	40	16,96
	P10	0	0,88	0	33,82	45	15,15	15,2	35	27	-	19,12