

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Gilberto Miller Devós Ganga

**PROPOSTA DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADO EM
LÓGICA *FUZZY* E NO SCOR PARA PREDIZER O
DESEMPENHO DA EMPRESA-FOCO EM CADEIAS DE
SUPRIMENTOS**

São Carlos-SP
2010

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

Gilberto Miller Devós Ganga

**PROPOSTA DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADO EM
LÓGICA *FUZZY* E NO SCOR PARA PREDIZER O DESEMPENHO
DA EMPRESA-FOCO EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Processos e Gestão de Operações
Orientador: Prof. Assoc. Luis Cesar Ribeiro Carpinetti

São Carlos-SP
2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP**

G197p Ganga, Gilberto Miller Devós
Proposta de um modelo de simulação baseado em lógica Fuzzy e no SCOR para prever o desempenho da Empresa-foco em cadeias de suprimentos / Gilberto Miller Devós Ganga ; orientador Luis Cesar Ribeiro Carpinetti. -- São Carlos, 2010.

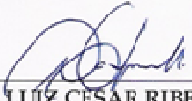
Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

1. Gestão de cadeia de suprimentos. 2. Modelo SCOR.
3. Gestão de desempenho. 4. Medidas de desempenho.
5. Lógica FUZZY. 6. Modelo de simulação. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

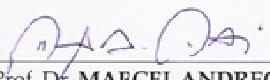
Candidato(a): Bacharel GILBERTO MILLER DEVÓS GANGA.

Tese defendida e julgada em 13/04/2010 perante a Comissão Julgadora:




Prof. Associado **LUÍZ CESAR RIBEIRO CARPINETTI** - (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO



Prof. Dr. **MARCEL ANDREOTTI MUSETTI**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO




Prof. Dr. **PAULO ROGÉRIO POLITANO**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO



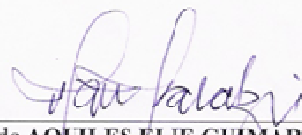
Prof. Dr. **SILVIO ROBERTO IGNÁCIO PIRES**
(Universidade Metodista de Piracicaba/UNIMEP)

APROVADO




Prof. Dr. **MIGUEL ANTONIO BUENO DA COSTA**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO



Prof. Associado **AQUILES ELIE GUIMARÃES KALATZIS**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção



Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

Aos meus pais Gilberto e Maria Margarida,
Ao meu sobrinho Davi, pela renovação de alegria em nossa família.

Poderia escrever inúmeras páginas agradecendo à todas as pessoas que contribuíram para a realização deste sonho, que foi obter o título de Doutor em Engenharia de Produção. Esta tese é a representação física da concretude deste desejo. Tenho certeza que cometi enormes injustiças, dados meus esquecimentos cada vez mais frequentes. Desta maneira peço desculpas por tal omissão, caso venham a ocorrer. Gostaria de agradecer do fundo do meu coração:

Ao Professor Orientador Luis Cesar Ribeiro Carpinetti, por toda contribuição na realização do trabalho, principalmente pela compreensão e amizade durante o doutoramento;

Aos Professores Silvio Pires, Paulo Rogério Politano, Miguel Antonio Bueno da Costa e Marcel Andreotti Musetti por todas as observações e recomendações sugeridas para a melhoria deste trabalho;

Aos colegas e amigos da UNESP, Campus Experimental de Tupã, pelo apoio irrestrito ao processo de doutoramento, enquanto lá fui Professor de jun/2006 a março/2009, e também pela oportunidade de inserção na carreira docente em Universidade Pública. Aprendi muito com todos vocês! (Sandrinha, Déa, Wagnão, Timas, Giu, Prof. Elias, Ana Elisa, Beto, Danilo, Léo, João, Gessuir, Marcelão, Adriana, Sônia, Deise, Seu Roberto, Daniel, André, Fabião, Gustavo, Ivone, Allan, Carol, Ricardo, Isao, Luana, Silvia, Fernando, Rosa e Sr. Nereu);

Ao Departamento de Engenharia de Produção da EESC-USP, incluindo Professores e demais colaboradores, pela oportunidade de cursar o Mestrado e Doutorado. Em especial aos Professores Marcel, Cazarini, Edmundo, Fábio, Rentes, Fernando, Marino e Renato. Aos funcionários, Zé Luiz, Silvana, Sueli e Luiz Fernando;

Ao Professor João Luiz Passador, FEARP-USP, pelos “ensinamentos epistemológicos” da carreira docente, destacando o papel do educador e da pesquisa científica;

À Faculdade São Luís de Jaboticabal (Família Martins), por possibilitar o início da minha carreira docente. O mundo pelo qual escolhi viver. Meu profundo agradecimento pelo “enriquecimento pessoal” de encontrar sinceros amigos, e não apenas colegas de trabalho: Piru, Carlão, Angélica, Gian, Lelê, Clovinho, Rodrigay, Vivi, Ju, Os Jabur, Sueli, Escher, Diego, Angela, Marcia Onofre, Betânea, Geraldo, Lafranchi. Garbin, Ju Cobre, Everton, Guimba, Luciano Marafante, Os Perecin, Roberta, etc.. Aos colegas do curso de Administração: Glauco, Adriano, Ornella, Bravo, Klebão, Mateus, Robson, Zoraide, Nara, Jorjão, Júlio, Dirley, Érica, Ostanel, Mara, Leslei, Magda, Sávio, Sérgio, entre outros;

Aos Professores Vitório Barato Neto e Mara Jabur pela ajuda quanto as novas regras ortográficas;

Aos amigos *fuzzy*: Piru, Sandrinha, Beto, Camila, Danilo e Tavares, que sempre me incentivaram a seguir por este “caminho nebuloso”;

Aos colegas do DEP/UFSCar, pela recepção e confiança, e por me permitir ingressar num dos melhores departamentos de engenharia de produção do Brasil. Um agradecimento especial aos colegas de almoço pelas “brincadeiras *fuzzy*”: Glauco, Fabinho e Tavares. Ao Pedro, pela ajuda na análise estatística, e ao Mian, pelas dicas de simulação;

Aos meus professores de graduação, que despertaram em mim a chama da carreira docente: Rui Tadashi, Kamarão, Favaretto, Renata, Flávia, Miguel, Silvana, Suzana, Roberto Pinheiro (RM), Simone, Cláudio, Antonio Carlos Betarello, Marongoni, Tulião, Rocha, PC, Omar, Carlos Engler, Mané Jacinto, etc.;

Aos meus colegas de graduação e pós-graduação em toda essa jornada. Especialmente ao Klebão, Mateus, Alessandro, Edwin, Ava, Ana Elisa, Cesinha, André e Marquito;

Aos meus alunos, meu maior legado enquanto docente e pesquisador;

Aos meus amigos que sempre me incentivaram e suportaram minhas ausências, em função de meus compromissos acadêmicos;

Aos meus primos e tios (Família Devós e Ganga), pelo incentivo constante à continuidade de meus estudos;

Aos meus irmãos, por suportarem minhas rabugices ou por eu descontar em vocês minhas ansiedades e frustrações nessa fase: Dani, Thiago, Rita, Thaisa, Daniel, Nino, Claudinho e Julinho;

Aos meus pais, por toda paciência e compreensão;

Á Angélica, por todo carinho, amizade e amor,

Enfim, agradeço a todos os que contribuíram de maneira direta ou indireta para a realização deste sonho!

Alice: Para onde vai essa estrada?

Gato: Para onde você quer ir?

Alice: Eu não sei, estou perdida.

Gato: Para quem não sabe para onde vai, qualquer caminho serve!

Lewis Carroll, 1832-1898. Alice no país das maravilhas

*Resumo*¹

GANGA, G. M. D. **Proposta de um modelo de simulação baseado em lógica *fuzzy* e no SCOR para prever o desempenho da empresa-foco em cadeias de suprimentos.** Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. 252 p.

Este trabalho apresenta e discute uma proposta baseada na teoria dos conjuntos fuzzy para prever o desempenho da empresa-foco em cadeia de suprimentos modelada de acordo com os relacionamentos causais entre medidas de desempenho propostas pelo SCOR (versão 8.0). O uso de sistemas de medição de desempenho para gerenciar o desempenho de cadeias de suprimentos apresenta algumas limitações tais como a dificuldade de interpretação de resultados de natureza qualitativa, assim como a complexidade de um sistema tradicional de medição de desempenho lidar adequadamente com os relacionamentos de causas e efeito entre métricas de desempenho de diferentes processos de negócios ao longo da cadeia de suprimentos. Por outro lado, a Lógica *Fuzzy*, uma técnica apropriada para lidar com situações de incerteza e subjetividade, configura-se como uma alternativa interessante. Utilizando uma abordagem de pesquisa quantitativa descritiva, assumiu-se a hipótese de que um modelo de simulação quantitativo poderia ser construído para explicar o comportamento de processos operacionais. Os resultados da simulação mostraram-se bastante consistentes à metodologia *SCORmark*, proposta pelo *Supply Chain Council*. Análises estatísticas dos resultados da simulação, baseados no Método de Superfície de Resposta, também confirmaram a relevância dos relacionamentos causais incorporados no modelo. Em geral, os resultados reforçam que a proposição da adoção de um modelo de simulação baseado em lógica *fuzzy* e nas métricas do SCOR parece ser uma abordagem possível para auxiliar os gerentes no processo de tomada de decisão do gerenciamento do desempenho em cadeias de suprimentos.

Palavras-chave: Gestão da cadeia de suprimentos, modelo SCOR, gestão do desempenho, medidas de desempenho, lógica *fuzzy*, modelo de simulação.

¹ Este Trabalho foi corrigido de acordo com as novas regras ortográficas, propostas em 2009, exigência oficial a partir de 2012.

Abstract

GANGA, G. M. D. Proposal of a fuzzy logic simulation model to predict performance of focus company in supply chains. *PhD Dissertation. Engineering School of São Carlos – University of São Paulo, São Carlos, 2010. 252 p.*

This paper presents and discusses a proposal based on the theory of fuzzy sets to predict performance of focus company in a supply chain modeled according to causal relationships among performance metrics proposed by SCOR (version 8.0). The use of performance measurement systems to manage performance of supply chains presents some limitations such as difficulty of interpretation of results of qualitative nature as well as the complexity of having a conventional performance measuring system that can adequately handle cause-and-effect relationships of metrics of performance of different business processes of a supply chain. On the other hand, Fuzzy logic, a technique suitable for dealing with uncertainty and subjectivity, becomes an interesting alternative approach. Using a descriptive quantitative approach, the research was based on the assumption that a quantitative simulation model can be built that explain (at least in part) the behavior of operational processes. Results of simulation were very much in line with those of the SCORmark methodology (SCC). Statistical analysis of the simulation results based on Surface Response Method also confirmed the relevance of the causal relationships embedded in the model. In general, the findings reinforces the proposition that adoption of a simulation model based on fuzzy-logic and on metrics of the SCOR model seems to be a feasible approach to help managers in the decision making process of managing performance of supply chains.

Key-words: *Supply chain management, SCM; SCOR model; performance management; performance metrics; fuzzy logic; simulation model.*

Lista de Ilustrações

Figura 1.1 Objeto de análise desta pesquisa: a empresa-foco e seus relacionamentos a montante e jusante na cadeia de suprimentos.....	32
Figura 1.2 Estrutura da tese.....	35
Figura 2.1 Logística Integrada e SCM.....	40
Figura 2.2 Potenciais origens da SCM.....	41
Figura 2.3 Processos de Negócios da SCM.....	42
Figura 2.4 Evolução da medição de desempenho.....	47
Figura 2.5 Direcionadores dos melhores padrões de desempenho logísticos.....	48
Figura 2.6 Gráfico de radar para avaliar desempenho de UN em SCs.....	52
Figura 2.7 Processos-chave do SCOR.....	54
Figura 2.8 Estrutura do SCOR: definição de níveis.....	56
Figura 2.9 <i>Supply Chain Scorecard</i> da empresa Alpha Company.....	57
Figura 2.10 Categoria de processos do SCOR: Situação atual e futura.....	58
Figura 2.11 Desdobramento dos processos: Situação atual e futura.....	59
Figura 2.12 Decomposição dos elementos dos processos: Situação atual.....	60
Figura 2.13 Ilustração das medidas variando conforme o nível organizacional.....	68
Figura 2.14 Tela de exemplo do SmartScor.....	80
Figura 2.15 Processos-chave do SCOR pelo <i>EasySCOR</i>	82
Figura 2.16 Desdobramento de processos do SCOR através <i>EasySCOR</i>	82
Figura 3.1 Lógica <i>crisp</i>	90
Figura 3.2 Lógica <i>fuzzy</i>	90
Figura 3.3 Função de pertinência difusa para o exemplo.....	91
Figura 3.4 Representação da relação clássica da governança em cadeias de suprimentos.....	93
Figura 3.5 Relação <i>fuzzy</i> da governança em cadeias de suprimentos.....	94
Figura 3.6 Representação tabular (a) e matricial (b) de relações <i>fuzzy</i>	94
Figura 3.7 Representação tabular (a) e matricial (b) de relações <i>fuzzy</i>	95
Figura 3.8 União de conjuntos <i>fuzzy</i>	96
Figura 3.9 Variável linguística “confiabilidade de entrega”.....	100
Figura 3.10 Exemplo de funções de pertinência.....	101
Figura 3.11 Função de pertinência triangular.....	102
Figura 3.12 Função de pertinência trapezoidal.....	103

Figura 3.13 Esquema geral de um sistema <i>fuzzy</i>	104
Figura 3.14 Funções de pertinência para as variáveis de entrada e saída	107
Figura 3.15 Método de <i>Mamdani</i> com composição <i>max – min</i>	110
Figura 3.16 <i>Defuzzificador</i> centro de gravidade G(B).....	111
Figura 3.17 <i>Defuzzificador</i> Centro do Máximo (CoM)	112
Figura 4.1 Eixos fundamentais do processo de revisão teórica	116
Figura 4.2 Palavras-chave usadas no processo de revisão teórica	117
Figura 4.3 <i>Upside Source Flexibility</i> : estrutura hierárquica da métrica	123
Figura 4.4 Processo da Pesquisa	124
Figura 5.1 Arquitetura geral do modelo proposto.....	128
Figura 5.2 Visão hierárquica do modelo proposto.....	129
Figura 5.3 Submodelo <i>Reliability</i>	132
Figura 5.4 Funções de pertinência para <i>Accurate Documentation</i>	134
Figura 5.5 Funções de pertinência para <i>Delivery Commit Date</i>	134
Figura 5.6 Funções de pertinência para <i>Orders in Full</i>	135
Figura 5.7 Funções de pertinência para <i>Perfect Condition</i>	135
Figura 5.8 Funções de pertinência para <i>Perfect Order Fulfillment</i>	136
Figura 5.9 Funções de pertinência para <i>Reliability</i>	139
Figura 5.10 Submodelo <i>Flexibility</i>	140
Figura 5.11 <i>Upside SC Flexibility</i> : incremento de demanda	139
Figura 5.12 Tempos de resposta simultâneos	141
Figura 5.13 Funções de pertinência para <i>Overlap</i>	142
Figura 5.14 Funções de pertinência para <i>Upside Deliver Flexibility</i>	142
Figura 5.15 Funções de pertinência para <i>Upside Make Flexibility</i>	142
Figura 5.16 Funções de pertinência para <i>Upside Source Flexibility</i>	143
Figura 5.17 Funções de pertinência para <i>Supply Chain Flexibility</i>	144
Figura 5.18 Funções de pertinência para <i>Upside SC Flexibility (A)</i>	144
Figura 5.19 Funções de pertinência para <i>Upside SC Flexibility (B)</i>	144
Figura 5.20 Submodelo <i>Cost Supply Chain</i>	146
Figura 5.21 Funções de pertinência para <i>Finance and Planning Cost</i>	148
Figura 5.22 Funções de pertinência para <i>Inventory Carrying Cost</i>	149
Figura 5.23 Funções de pertinência para <i>IT Cost for Supply Chain</i>	149
Figura 5.24 Funções de pertinência para <i>Material Acquisition Cost</i>	149
Figura 5.25 Funções de pertinência para <i>Order Management Cost</i>	150

Figura 5.26 Funções de pertinência para <i>Cost of Goods Sold (COGS)</i>	150
Figura 5.27 Funções de pertinência para <i>Supply Chain Cost</i>	151
Figura 5.28 Funções de pertinência para <i>Total SCM Cost</i>	151
Figura 5.29 Submodelo <i>Asset Supply Chain</i>	156
Figura 5.30 Expressão de cálculo do <i>Cash to Cash</i>	157
Figura 5.31 Impacto da Logística no ROA em relação ao modelo do lucro estratégico.....	158
Figura 5.32 Funções de pertinência para <i>Asset Turns</i>	159
Figura 5.33 Funções de pertinência para <i>Net Profit</i>	159
Figura 5.34 Funções de pertinência para <i>Days Inventory of Supply</i>	159
Figura 5.35 Funções de pertinência para <i>Days Payable Outstanding</i>	160
Figura 5.36 Funções de pertinência para <i>Days Sales Outstanding</i>	160
Figura 5.37 Funções de pertinência para <i>SC Asset Performance</i>	161
Figura 5.38 Funções de pertinência para <i>Cash to Cash</i>	161
Figura 5.39 Funções de pertinência para <i>Return Over Assets</i>	161
Figura 5.40 Submodelo <i>Responsiveness Supply Chain</i>	163
Figura 5.41 Expressão de cálculo de <i>Order Fulfillment Cycle Time</i>	164
Figura 5.42 Funções de pertinência para <i>Delivery Cycle Time</i>	166
Figura 5.43 Funções de pertinência para <i>Make Cycle Time</i>	166
Figura 5.44 Funções de pertinência para <i>Source Cycle Time</i>	166
Figura 5.45 Funções de pertinência para <i>Responsiveness</i>	167
Figura 5.46 Funções de pertinência para <i>Order Fulfillment Cycle Time</i>	167
Figura 6.1 Superfície de Resposta para <i>Cash to Cash</i> em função de <i>Inventory Days of Supply</i> (a) e <i>Days payable outstanding</i> (b)	180
Figura 6.2 Superfície de Resposta para <i>Cash to Cash</i> em função de <i>Days sales outstanding</i> (a) e <i>Days payable outstanding</i> (b)	180
Figura 6.3 Análise de efeitos para <i>Cash to Cash</i>	182
Figura 6.4 Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para <i>Cash to Cash</i>	183
Figura 6.5 <i>Cash to Cash</i> (days) em função de <i>Inventory days of supply (days)</i> e <i>Days payable outstanding (days)</i>	184
Figura 6.6 <i>Cash to Cash</i> (days) em função de <i>Days sales outstanding (days)</i> e <i>Days payable outstanding (days)</i>	185
Figura 6.7 <i>Cash to Cash</i> (days) em função de <i>Days sales outstanding (days)</i> e <i>Inventory days of supply (days)</i>	185

Figura 6.8 Superfície de Resposta para <i>Perfect Order Fulfillment</i> em função de <i>Orders in Full</i> (a) e <i>Perfect Condition</i> (b)	187
Figura 6.9 Análise de efeitos para <i>Perfect Order Fulfillment</i>	188
Figura 6.10 Análise de resíduos para <i>Perfect Order Fulfillment</i>	188
Figura 6.11 <i>Perfect Order Fulfillment</i> em função de <i>Perfect Condition</i> e <i>Orders in Full</i>	189
Figura 6.12 Superfície de Resposta para <i>Order Cycle Time</i> em função de <i>Delivery Cycle Time</i> e <i>Make Cycle Time</i>	190
Figura 6.13 Análise de efeitos para <i>Order Cycle Time</i>	191
Figura 6.14 Análise de resíduos para <i>Order Fulfillment Cycle Time</i>	192
Figura 6.15 <i>Order Fulfillment Cycle Time</i> em função de <i>Make Cycle Time</i> e <i>Delivery Cycle Time</i>	192
Figura 6.16 Superfície de Resposta para <i>Return over Assets</i> em função de <i>Asset turns</i> e <i>Net Profit</i>	193
Figura 6.17 Análise de efeitos para <i>Return over Assets</i>	194
Figura 6.18 Análise de resíduos para <i>Return over Assets</i>	195
Figura 6.19 <i>Return over Assets</i> em função de <i>Asset Turns</i> e <i>Net Profit</i>	195
Figura 6.20 Superfície de Resposta para <i>Upside Flexibility SC (without overlap)</i> em função de <i>Upside Make</i> e <i>Upside Deliver</i>	197
Figura 6.21 Análise de efeitos para <i>Upside Flexibility SC (modelo sem overlap)</i>	198
Figura 6.22 Análise de resíduos para <i>Upside Flexibility SC (sem overlap)</i>	198
Figura 6.23 <i>Upside Flex SC</i> em função de <i>Upside Make</i> e <i>Upside Delivery</i>	199
Figura 6.24 Superfície de Resposta para <i>Upside Flexibility SC (with overlap)</i> em função de <i>Upside Make</i> e <i>Upside Deliver</i>	200
Figura 6.25 Análise de efeitos para <i>Upside Flexibility SC (overlap)</i>	201
Figura 6.26 Análise de resíduos para <i>Upside Flexibility SC (overlap)</i>	202
Figura 6.27 <i>Upside Flex SC</i> em função de <i>Upside Make</i> e <i>Upside Delivery (overlap)</i>	202
Figura 6.28 Superfície de Resposta para <i>Total Cost Supply Chain Management (% of revenue)</i> em função de <i>Order Management Cost (% of revenue)</i> e <i>Material Acquisition Cost (% of revenue)</i>	205
Figura 6.29 Análise de efeitos para <i>Total Cost Supply Chain Management (% of revenue)</i>	206
Figura 6.30 Análise de resíduos para <i>Total Cost Supply Chain Management</i>	207
Figura 6.31 <i>Total Cost Supply Chain Management</i> em função de <i>Order Management Cost</i> e <i>Material Acquisition Cost</i>	207
Figura 6.32 Análise de efeitos para <i>Desempenho em Ativos</i>	209

Figura 6.33	Superfície de Resposta para <i>Desempenho em Ativos (%)</i> , em função de <i>Net Profit (% of revenue)</i> e <i>Days payable outstanding (days)</i>	210
Figura 6.34	Curva de Nível para <i>Desempenho em Ativos (%)</i> , em função de <i>Net Profit (% of revenue)</i> e <i>Days payable outstanding (days)</i>	211
Figura 6.35	Superfície de Resposta para <i>Desempenho em Ativos (%)</i> , em função de <i>Net Profit (% of revenue)</i> e <i>Inventory days of supply (days)</i>	212
Figura 6.36	Curva de Nível para <i>Desempenho em Ativos (%)</i> , em função de <i>Net Profit (% of revenue)</i> e <i>Inventory days of supply (days)</i>	212
Figura 6.37	Análise de resíduos para <i>Desempenho em Ativos</i>	213
Figura 6.38	Análise de efeitos para <i>Desempenho em Custos na SC</i>	214
Figura 6.39	Superfície de Resposta para <i>Desempenho em Custos na SC (%)</i> , em função de <i>Order Management Cost</i> e <i>COGS</i> , ambas como (<i>% da receita</i>)	215
Figura 6.40	Curva de Nível para <i>Desempenho em Custos (%)</i> , em função de <i>Order Management Cost</i> e <i>COGS</i> , ambas como (<i>% da receita</i>)	216
Figura 6.41	Análise de resíduos para <i>Desempenho em Custos na SC</i>	216
Figura 6.42	Análise de efeitos para <i>Desempenho em Flexibilidade na SC</i>	217
Figura 6.43	Curva de Nível para <i>Desempenho em Flexibilidade na SC (%)</i> , em função de <i>Upside Make Flexibility</i> e <i>Upside Deliver Flexibility</i> , ambas em dias	218
Figura 6.44	Análise de resíduos para <i>Desempenho em Flexibilidade na SC</i>	219
Figura 6.45	Análise de efeitos para <i>Desempenho em Confiabilidade na SC</i>	220
Figura 6.46	Superfície para <i>Desempenho em Confiabilidade na SC (%)</i> , em função de <i>Orders in Full (%)</i> e <i>Delivery to Commit Date (%)</i>	220
Figura 6.47	Curva de Nível para <i>Desempenho em Confiabilidade na SC (%)</i> , em função de <i>Orders in Full (%)</i> e <i>Delivery to Commit Date (%)</i>	221
Figura 6.48	Análise de resíduos para <i>Desempenho em Confiabilidade na SC</i>	221
Figura 6.49	Análise de efeitos para <i>Desempenho em Responsividade na SC</i>	222
Figura 6.50	Curva de nível para <i>Desempenho em Responsividade na SC (%)</i> , em função das métricas <i>Delivery Cycle Time</i> e <i>Make Cycle Time</i>	223
Figura 6.51	Análise de resíduos para <i>Desempenho em Responsividade na SC</i>	224
Figura 7.1	Incorporação de métricas de nível 3 do SCOR no modelo	229
Figura 7.2	Incorporação do atributo Sustentabilidade no modelo.....	230
Figura 7.3	Incorporação no modelo de métricas e processos do CCOR e DCOR.....	231
Figura 7.4	Incorporação no modelo de um índice geral de desempenho da Cadeia de Suprimentos usando o AHP	232

Figura A1 Processo de simulação	259
Figura A2 Superfície de resposta para <i>cash to cash</i> comparando <i>dias de estoque</i> e <i>dias de contas a pagar</i>	261
Figura A3 Superfície de resposta para <i>cash to cash</i> comparando <i>dias de contas a receber</i> e <i>dias de contas a pagar</i>	261
Figura A4 Superfície de Resposta para ROA comparando lucro líquido e giro de ativos	262
Figura A5 (a) (b) Telas do modo interativo do <i>FuzzyTECH</i>	262

Lista de Tabelas e Quadros

Quadro 2.1 Objetivos de um sistema de medição de desempenho	46
Quadro 2.2 Comparação entre os estágios evolutivos da MD e direcionadores de desempenho logístico e da SCM	49
Quadro 2.3 Medidas de desempenho do SCOR vs. Critérios de Medição SC.....	62
Quadro 2.4 Considerações-chave para se analisar os sistemas de medição de desempenho	63
Quadro 2.5 Considerações-chave para se analisar os sistemas de medição de desempenho em cadeias de suprimentos	64
Quadro 2.6 Classificação das medidas de desempenho em cadeias de suprimentos	67
Quadro 2.7 Medidas relacionadas ao Processo de Planejamento (<i>Plan</i>)	69
Quadro 2.8 Medidas relacionadas à Abastecimento (<i>Source</i>).....	70
Quadro 2.9 Medidas relacionadas à Produção (<i>Make</i>).....	71
Quadro 2.10 Medidas relacionadas à Distribuição (<i>Deliver</i>).....	71
Quadro 2.11 Medidas relacionadas aos Retornos (<i>Return</i>).....	72
Quadro 2.12 Medidas de desempenho para cadeias de suprimentos	73
Quadro 3.1 Definições de sistemas especialistas	86
Tabela 3.1 Ilustração das operações entre conjuntos <i>fuzzy</i>	98
Quadro 3.2 Forma geral de uma base de regras <i>fuzzy</i>	105
Quadro 3.3 Amostra da base de regras do sistema <i>fuzzy</i> para o exemplo citado	106
Quadro 3.4 Base de duas regras para o método KTS.....	110
Quadro 4.1 Comparação entre estratégias qualitativa e quantitativa de pesquisa.....	119
Quadro 4.2 Caracterização da pesquisa	123
Quadro 5.1 Fontes de <i>Benchmark</i> de métricas de desempenho do SCOR.....	127
Quadro 5.2 Métricas utilizadas no modelo: abreviação e unidades	131
Quadro 5.3 Termos utilizados no projeto do sistema <i>fuzzy</i>	132
Quadro 5.4 Características das variáveis de entrada do modelo <i>Reliability</i>	134
Quadro 5.5 Características das variáveis de saída do modelo <i>Reliability</i>	135
Quadro 5.6 Bloco de regras para <i>Perfect Order Fulfillment</i>	137
Quadro 5.7 Bloco de regras para <i>Reliability</i>	138
Quadro 5.8 Características das variáveis de entrada do submodelo <i>Flexibility</i>	141
Quadro 5.9 Características das variáveis de saída do submodelo <i>Flexibility</i>	143
Quadro 5.10 Bloco de regras para <i>Upside Supply Chain Flexibility (A)</i>	145
Quadro 5.11 Bloco de regras para <i>Upside Supply Chain Flexibility (B)</i>	146

Quadro 5.12 Bloco de regras para <i>Supply Chain Flexibility</i>	146
Quadro 5.13 Características das variáveis de entrada do modelo <i>Cost SC</i>	148
Quadro 5.14 Características das variáveis de saída do modelo <i>Cost SC</i>	150
Quadro 5.15 Bloco de regras para <i>Total SCM Cost</i>	151
Quadro 5.16 Bloco de regras para <i>Cost</i>	156
Quadro 5.17 Características das variáveis de entrada do submodelo <i>Asset</i>	158
Quadro 5.18 Características das variáveis de saída do submodelo <i>Asset</i>	160
Quadro 5.19 Bloco de regras para <i>Cash to Cash</i>	162
Quadro 5.20 Bloco de regras para <i>ROA</i>	162
Quadro 5.21 Bloco de regras para <i>SC Asset</i>	163
Quadro 5.22 Características das variáveis de entrada do submodelo <i>Responsiveness</i>	165
Quadro 5.23 Características das variáveis de saída do submodelo <i>Responsiveness</i>	167
Quadro 5.24 Bloco de regras para o submodelo <i>Order Fulfillment Cycle Time</i>	168
Quadro 5.25 Bloco de regras para <i>SC Responsiveness</i>	168
Tabela 6.1 Resultados da Simulação do Modelo Proposto	171
Tabela 6.2 Resultados da Simulação para o desempenho em Confiabilidade	172
Tabela 6.3 Resultados da Simulação do Modelo Proposto	173
Tabela 6.4 Resultados da simulação para o desempenho das métricas nível 1.....	174
Tabela 6.5 Resultados da simulação para os atributos de desempenho	175
Tabela 6.6 Planejamento Experimental Composto Central para <i>Cash to Cash</i>	179
Tabela 6.7 ANOVA para <i>Cash to Cash</i> ($R^2 = 0,92557$; Adj: 0,87596).....	181
Tabela 6.8 Planejamento Experimental Composto Central para <i>Perfect Order Fulfillment</i>	186
Tabela 6.9 ANOVA para <i>Perfect Order Fulfillment</i> ($R^2 = 0,8455$; Adj: 0,7728)	187
Tabela 6.10 Planejamento Experimental Composto Central para <i>Order Cycle Time</i>	190
Tabela 6.11 ANOVA para <i>Order Cycle Time</i> ($R^2 = 0,83627$; Adj: 0,59068)	191
Tabela 6.12 Planejamento Experimental Composto Central para <i>Return over Assets</i>	193
Tabela 6.13 ANOVA para <i>Return Over Assets</i> ($R^2 = 0,98977$).....	194
Tabela 6.14 Análise de Composto Central para <i>Upside Flexibility SC (sem overlap)</i>	196
Tabela 6.15 ANOVA para <i>Upside Flexibility SC</i> ($R^2 = 0,58324$) (<i>sem overlap</i>)	197
Tabela 6.16 Análise de Composto Central para <i>Upside Flexibility SC (overlap)</i>	200
Tabela 6.17 ANOVA para <i>Upside Flexibility SC</i> ($R^2 = 0,58324$) (<i>overlap</i>)	201
Tabela 6.18 Planejamento Experimental Composto Central para <i>Total Cost SCM</i>	204
Tabela 6.19 ANOVA para <i>Total Cost for SCM</i> ($R^2 = 0,92029$; Adj: 0,87047).....	205
Tabela 6.20 ANOVA para Desempenho em Ativos ($R^2 = 0,90939$; Adj: 0,60736).....	209

Tabela 6.21 ANOVA para Desempenho em Custos na SC ($R^2= 0,85757$; Adj: $0,80578$).....	214
Tabela 6.22 ANOVA para Desempenho em Flexibilidade na SC ($R^2= 0,58331$).....	217
Tabela 6.23 ANOVA para Desempenho em Custos na SC ($R^2= 0,82593$).....	219
Tabela 6.24 ANOVA para Desempenho em Custos na SC ($R^2= 0,9883$).....	222
Tabela A1 Resultados gerados pelo Modelo: experimentos 1-8	264
Tabela A2 Resultados gerados pelo Modelo: experimentos 9-17	265
Tabela A3 Resultados gerados pelo Modelo: experimentos 18-26	266
Tabela A4 Resultados gerados pelo Modelo: experimentos 27-35	267

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABC - Custeio Baseado em Atividades
AGV - *Automatic Guided Vehicle*
AHP - *Analytic Hierarchy Process*
BSC - *Balanced Scorecard*
CLM - *Council of Logistics Management*
CPFR - *Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment*
CR - *Continuous Replenishment*
CSCMP - *Council of Supply Chain Management Professionals*
DoE – *Design of Experiments*
ECR - *Efficient Consumer Response*
GCS - Gestão da Cadeia de Suprimentos
IA - Inteligência Artificial
KTS - Método de *Kang-Takagi-Sugeno*
LI - Logística Integrada
MD - Medição de Desempenho
RFID –*Radio Frequency IDentification*
RSM - *Response Surface Methodology*
SC - *Supply Chain ou SCs - Supply Chains*
SCC - *Supply Chain Council*
SCDM - *Supply Chain Design Management*
SCM - *Supply Chain Management*
SCOR - *Supply Chain Operations Reference Model*
SD - *System Dynamics*
SE - Sistemas Especialistas
SFBR - Sistema *Fuzzy* Baseado em Regras
SMA - Sistemas Multiagentes
SMD - Sistema de Medição de Desempenho
TMS – *Transportation Management System*
VMI - *Vendor Managed Inventory*
WMS - *Warehouse Management System*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO TEMA	25
1.2 PROBLEMA E OBJETIVOS DA PESQUISA	31
1.3 JUSTIFICATIVA.....	33
1.3 ESTRUTURA DA TESE.....	34

CAPÍTULO 2 GESTÃO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS

2.1 OBJETIVO E ESTRUTURA DO CAPÍTULO	38
2.2 GESTÃO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS E LOGÍSTICA INTEGRADA	38
2.3 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO	45
2.4 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS	51
2.4.1 O Modelo SCOR	54
2.4.2 Taxonomia das medidas de desempenho em cadeias de suprimentos	63
2.5 MODELAGEM E SIMULAÇÃO EM <i>SUPPLY CHAINS</i>	74

CAPÍTULO 3 LÓGICA FUZZY

3.1 OBJETIVO E ESTRUTURA DO CAPÍTULO	85
3.2 SISTEMAS ESPECIALISTAS.....	86
3.3 O PORQUÊ DA UTILIZAÇÃO DA LÓGICA FUZZY.....	87
3.4 CONJUNTOS FUZZY.....	89
3.4.1 Teoria clássica dos conjuntos vs. teoria dos conjuntos fuzzy.....	89
3.4.2 Relações fuzzy	91
3.4.2.1 Representações de conjuntos fuzzy.....	92
3.4.2.2 Operações-padrão entre conjuntos fuzzy	95
3.4.2.2.1 União (OR)	95
3.4.2.2.2 Intersecção (AND).....	96
3.4.2.2.3 Complemento (NOT).....	97
3.4.2.2.4 Resumo das operações entre conjuntos fuzzy.....	98
3.4.2.3 Conectivos básicos da lógica fuzzy.....	98
3.4.2.3.1 Operação t-norma	99
3.4.2.3.2 Operação t-conorma.....	99
3.5 CONCEITOS FUNDAMENTAIS EM SISTEMAS FUZZY	100
3.5.1 Variáveis linguísticas	100
3.5.2 Funções de pertinência ou números fuzzy.....	101
3.5.2.1 Função de pertinência triangular	102
3.5.2.2 Função de pertinência trapezoidal	103
3.6 SISTEMAS FUZZY BASEADOS EM REGRAS	103
3.6.1 Fuzzificação	104
3.6.2 Base de regras.....	105
3.6.3 Máquina de Inferência	108
3.6.3.1 O Método de Mamdani.....	108
3.6.3.2 Método de Kang-Takagi-Sugeno.....	109
3.6.4 Defuzzificação	110

CAPÍTULO 4 METODOLOGIA

4.1 OBJETIVO E ESTRUTURA DO CAPÍTULO	114
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	114
4.2.1 Procedimentos técnicos	115
4.2.2 Abordagem do problema	119
4.2.3 Propósitos da pesquisa	120
4.3 VARIÁVEIS DA PESQUISA	121
4.4 PROCESSO DE PESQUISA	124

CAPÍTULO 5 PROPOSTA DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADO EM LÓGICA FUZZY E NO SCOR PARA PREDIZER O DESEMPENHO DA EMPRESA-FOCO EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS

5.1 OBJETIVO DO CAPÍTULO E CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O MODELO	126
5.2 ESTRUTURA DO MODELO	129
5.2.1 <i>Reliability</i>	132
5.2.2 <i>Flexibility</i>	138
5.2.3 <i>Cost</i>	146
5.2.4 <i>Asset</i>	156
5.2.5 <i>Responsiveness</i>	163

CAPÍTULO 6 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

6.1 OBJETIVO E ESTRUTURA DO CAPÍTULO	170
6.2 ANÁLISE DESCRITIVA: MÉTODO <i>SCOR</i> mark	170
6.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS RESPOSTAS DO MODELO DE SIMULAÇÃO	177
6.3.1 <i>Análise do Modelo Cash to Cash</i>	179
6.3.2 <i>Análise do Modelo Perfect Order Fulfillment</i>	186
6.3.3 <i>Análise do Modelo Order Fulfillment Cycle Time</i>	189
6.3.4 <i>Análise do Modelo Return Over Assets</i>	193
6.3.5 <i>Análise do Modelo Upside Flexibility Supply Chain</i>	196
6.3.5.1 <i>Análise do Modelo sem Overlap</i>	196
6.3.5.2 <i>Análise do Modelo com Overlap</i>	199
6.3.6 <i>Análise do Modelo Total Cost Supply Chain Management</i>	203
6.3.7 <i>Análise do Modelo Asset Performance</i>	208
6.3.8 <i>Análise do Modelo Cost SC Performance</i>	213
6.3.9 <i>Análise do Modelo Flexibility SC Performance</i>	217
6.3.10 <i>Análise do Modelo Reliability SC Performance</i>	219
6.3.11 <i>Análise do Modelo Responsiveness SC Performance</i>	222

CAPÍTULO 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	228
7.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	229

REFERÊNCIAS	233
-------------------	-----

GLOSSÁRIO	253
-----------------	-----

APÊNDICE	258
----------------	-----

ANEXO SCORCARD 8.0.....268

C APÍTULO 1

INTRODUÇÃO

— *Nós devemos explorar nossa tolerância à imprecisão*
Lofti Zadeh
Professor, Systems Engineering, UC Berkeley, 1973.

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO TEMA

Cada vez mais as empresas vêm intensificando seus esforços de melhoria de desempenho a fim de adequar-se às necessidades dos seus clientes. Em função da escassez de capital, tais empresas buscam promover, ao máximo, uma utilização eficiente e eficaz de recursos, tentando, ao mesmo tempo, diminuir seus custos operacionais e maximizar o valor fornecido ao cliente.

Essa dicotomia de esforços competitivos há muito tempo deixou de situar-se apenas no ambiente da empresa, pautada a partir de uma visão isolada, migrando para uma mentalidade coletiva, de compartilhamento de ganhos e perdas, em que um esforço conjunto culmine em melhores níveis de serviço aos clientes com consequente retorno financeiro a todos os agentes que compõem uma cadeia de suprimentos.

Para tanto, um novo paradigma de competição, por meio do gerenciamento da cadeia de suprimentos, é destacado por Van Hoek (1998) e Christopher (2007).

Para sobreviver nesse ambiente de extrema competição, as organizações devem alinhar seus processos internos aos processos de negócios das cadeias de suprimentos nos quais estão inseridas, de modo a alavancar seus direcionadores de eficácia, rapidez, responsividade e satisfação do cliente (AGARWAL; SHANKAR; TIWARI, 2006; SHEPHERD; GUNTER, 2006; YEH; CHENG; CHI, 2007).

Em cadeias de suprimentos com características cada vez mais dinâmicas e ágeis, a melhoria de desempenho vem constituindo-se como uma tarefa árdua para a maioria dos fornecedores, fabricantes e varejistas, para ganho e manutenção de vantagens competitivas sustentáveis. Inúmeras empresas com foco na gestão de suas cadeias de suprimentos, como, por exemplo, *Dell*, *Wal-Mart*, *Samsung*, *Toyota*, entre outras, vêm utilizando diferentes ferramentas de gestão de desempenho para um alinhamento de estratégias ao longo da cadeia de valor em que estão inseridas. Nesse sentido, o monitoramento e a melhoria do desempenho da cadeia de suprimentos, como um todo, têm-se tornado uma atividade crítica (CAI; LIU; LIU, 2009).

A natureza dos processos que envolvem a gestão de uma cadeia de suprimentos resulta num processo de avaliação de desempenho extremamente complexo, constituindo-se uma problemática que geralmente envolve múltiplos critérios. É necessário, portanto, o delineamento de um sistema de avaliação que possa alinhar critérios de desempenho com

diversos aspectos necessários aos tomadores de decisão dessas organizações ou rede de empresas (YEH; CHENG; CHI, 2007).

O tema medição de desempenho tratado em vários trabalhos (WAGGONER et al., 1999; BOURNE et al., 2000, 2002; NEELY et al., 2000; KENNERLEY; NEELY, 2002, 2003) tem sido também amplamente discutido em pesquisas sobre sistemas de medição de desempenho e métricas voltadas à cadeia de suprimentos (VAN HOEK, 1998; BEAMON, 1999; HOLMBERG, 2000; LAPIDE, 2000; DE TONI; TONCHIA, 2001; GUNASEKARAN, et AL., 2001; LAMBERT; POHLEN, 2001; STEPHENS, 2001; BULLINGER; KUHNER, 2002; HIEBER, 2002; VAN HOFF, 2002; CHAN, 2003; CHAN; QI, 2003; BOLSTORFF, 2003; KLEIJNEN; SMITS, 2003; GUNASEKARAN; PATEL; MCGAUGHEY, 2004; HUANG et al., 2004; LOCKAMI; MCCORMACK, 2004; MORGAN, 2004; SCHONSLEBEN, 2004; HERVANI; HELMS; SARKIS, 2005; LI et al., 2005; ZHU; SARKIS; GENG, 2005; ANGERHOFER; ANGELIDES, 2006; BLINGE; SWENSSON, 2006; SHEPHERD; GÜNTER, 2006; BRINDLEY; RITCHIE, 2007; ZHU; SARKIS; LAI, 2008; CUTHBERTSON; PIOTROWICZ, 2008).

Apesar das inúmeras iniciativas (BELTON; STEWART, 2002; SANTOS; BELTON; HOWICK, 2002; GAUDENZI; BORGHESI, 2006; SEYDEL, 2006; AISSAOUI; HAOUARI; HASSINI, 2007; SANTOS; BELTON; HOWICK, 2008; WEBER et AL., 2008; ORDOOBADI, 2009) mencionarem a utilização de várias abordagens para avaliação de desempenho, como, por exemplo, modelos multicritério e programação linear como ferramentas eficazes, quando se trata de avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos, inúmeros problemas vêm sendo encontrados, quando são utilizadas essas abordagens.

Dentre as dificuldades em se avaliar o desempenho de cadeias de suprimentos, pode-se citar a grande quantidade de critérios de desempenho em cadeias de suprimentos e inúmeras classificações. Além disso, ainda não há um consenso sobre a melhor maneira de realizar essa sistematização e ordenação.

Um dos problemas reside fundamentalmente no fato de se selecionarem as métricas apropriadas e estabelecerem-se pesos de importância para cada métrica ou grupo de indicadores.

Para equacionar esse problema, alguns pesquisadores utilizam algumas abordagens, como, por exemplo, o *Balanced Scorecard* - BSC (PARK; LEE; YOO, 2005; KLEIJNEN; SMITS, 2003; BREWER; SPEH, 2001, 2000), o Custeio Baseado em Atividades - ABC (LIBERATORE; MILLER, 1998) e o *Analytic Hierarchy Process* - AHP (AGARWAL; SHANKAR; TIWARI, 2006; SELITO; MENDES, 2006; CHAN, 2003), ou a utilização

combinada do BSC-AHP (VARMA; WADHWA; DESHMUKH, 2008; SHARMA; BHAGWAT, 2007; THAKKAR; DESHMUKH; GUPTA; SHANKAR, 2007) como modelos para avaliar o desempenho de cadeias de suprimentos.

No entanto, as abordagens citadas anteriormente apresentam algumas limitações, como o julgamento subjetivo na avaliação de resultados de natureza subjetiva, além da dificuldade de se realizar uma avaliação sistêmica da cadeia de suprimentos, que leve em conta as relações de causa e efeito entre critérios de desempenho e métricas, nos níveis e sub-níveis dos processos de negócios que compõem uma cadeia de suprimentos.

Nesse sentido, a lógica *fuzzy* apropriada para lidar com situações de incerteza e subjetividade seria uma boa alternativa para tratar a problemática da avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos, pois muitas medidas de natureza qualitativa e ambíguas podem ser descritas subjetivamente por meio de termos lingüísticos (ZADEH, 1978), o que não é possível com a utilização das abordagens tradicionais de avaliação de desempenho (MON et al., 1994; LIN et al., 2006). Principalmente em função dessa constatação, observa-se, cada vez mais, a utilização da lógica *fuzzy* no gerenciamento de decisões (KLIR; YUAN, 1995; BOJADZIEV; BOJADZIEV, 1997; MACHACHA; BHATTACHARYA, 2000; LIN; CHEN, 2004; CARLSSON; FEDRIZZI; FULLÉR, 2004).

Para Wang e Shu (2005), inúmeras pesquisas que tratam de modelagem de cadeias de suprimentos (LEE; BILLINGTON, 1993, 1995; THOMAS; GRIFFIN, 1996; VIDAL; GOETSCHALCKX, 1997; BEAMON, 1998; GRAVES; WILLEMS, 2000; CHENG et al., 2002; GOETSCHALCKX et al., 2002) são realizadas por meio de uma distribuição de probabilidade, geralmente baseada em dados históricos nem sempre confiáveis ou disponíveis. Nesse cenário, os autores indicam a utilização de conjuntos *fuzzy* para a tomada de decisões na gestão de cadeias de suprimentos.

A utilização de *conjuntos fuzzy* com fins de avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos é mencionada em alguns trabalhos (CHAN et al., 2003; CHAN; QI, 2003; YEH et al., 2007; THEERANUPHATTANA; TANG, 2008). Corroborando essa ideia, Yeh et al. (2007) argumentam que a utilização de abordagens multi-critério na avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos é positiva, dada a natureza complexa dessas atividades. No entanto, a grande quantidade de medidas, as diversas formas de classificação e a necessidade de ponderação restringem a utilização de ferramentas tradicionais. Unahabhokha, Platts e Tan (2007), destacam ainda a relevância do desenvolvimento de um sistema de medição baseado em lógica *fuzzy* para predizer o desempenho organizacional.

Através da investigação da literatura em seu estado da arte, percebeu-se que um dos desafios da gestão do desempenho em cadeias de suprimentos é torná-la mais sistêmica, eficiente e menos complexa.

O modelo de decisão utilizado na economia clássica baseia-se no princípio de que o tomador de decisão deve ter um conhecimento total de todas as opções passíveis de ação e, dessa maneira, optar pela melhor, de acordo com critérios, ponderações e objetivos por ele estabelecidos.

Assumindo a real complexidade do processo de tomada de decisão em uma cadeia de suprimentos (KINRA; KOTZAB, 2008), torna-se praticamente impossível ter acesso a todas as informações disponíveis para tomar a decisão correta, dado o grande número de métricas, suas inter-relações e classificações, conforme abordado anteriormente.

Nesse sentido, o conceito de racionalidade limitada prega que o tomador de decisão não necessita buscar os modelos mais racionais, completos e perfeitos, os modelos “ótimos”. Pelo contrário, é possível aceitar soluções satisfatórias e razoáveis, muitas vezes adotando critérios subjetivos, qualitativos e, desse modo, encontrar uma decisão que seja fundamental para o crescimento do negócio ou, neste caso, da cadeia como um todo.

A gestão do desempenho em cadeia de suprimentos é uma decisão extremamente complexa, por envolver múltiplos critérios de desempenho, diferentes perspectivas de medição (clientes, fornecedores e demais *stakeholders*), diferentes processos de negócios (intraorganizacionais e interorganizacionais), diferentes níveis de análise (estratégico, tático e operacional), entre outras características que, muitas vezes, assumem um caráter qualitativo e subjetivo para o tomador de decisão.

A utilização da lógica *fuzzy* vem minimizar alguns aspectos negativos dessa problemática. A primeira justificativa da utilização da lógica *fuzzy* é a sua predisposição em se trabalhar com dados de natureza incerta, imprecisa, subjetiva. Tal metodologia, proposta por Zadeh (1978), permite que um determinado ponto $(x;y)$, pertencente a um determinado universo de dados, possa ser “reclassificado” do modo diferente, se comparado com a clássica matemática “cartesiana”, que atribui uma lógica binária para caracterizar esse dado ponto.

Dessa forma, um conjunto de pontos $(x_i; y_i)$ não seria mais classificado como pertencente ou não pertencente a um determinado conjunto, mas, sim, se esses pontos possuem um nível de pertinência “0,8” em relação ao conjunto (A, por exemplo) e “0,2” em relação a outro conjunto (B, por exemplo).

Adotando que um nível de pertinência máximo assuma o valor “1,0”, pode-se dizer que o conjunto de pontos a ser classificado, pertence tanto ao conjunto A quanto ao conjunto B, porém com diferentes níveis de pertinência. Dessa maneira, essa reclassificação por zonas ou faixas (nebulosas) permite que variáveis consideradas subjetivas possam ser mais bem caracterizadas.

Outra vantagem da utilização da lógica *fuzzy* é que variáveis consideradas subjetivas e/ou qualitativas podem ser determinadas facilmente utilizando termos linguísticos. As variáveis quantitativas também são representadas por meio de termos linguísticos. O fato positivo desta representação é que tais variáveis, representadas linguisticamente, tornam mais fácil o processo de construção de regras de conhecimento que comporão a base lógica de um sistema de inferência *fuzzy*.

A modelagem das regras de conhecimento podem ser realizadas em grupo de decisores, o que leva a algumas vantagens, dentre as quais, maior gama de conhecimentos, advinda de diferentes formas de aprendizado e experiências, possibilitando que o problema possa ser analisado por diferentes óticas, definindo, assim, a melhor alternativa de decisão para o modelo.

Desse modo, o sistema *fuzzy* constitui uma ferramenta extremamente relevante para o processo de avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos, para constituir-se como uma ferramenta de apoio ao processo de tomada de decisão no gerenciamento de cadeias de suprimentos.

Uma característica extremamente importante quando se trata da gestão de cadeias de suprimentos é contemplar, de maneira sistêmica, o processo de avaliação de desempenho em tais cadeias de suprimentos (HOLMBERG, 2000).

Dessa maneira, o impacto de uma decisão tomada em qualquer parte do sistema afetará o sistema como um todo (XU et al., 2001; WENG; MCCLURG, 2003), de modo que ações de uma empresa afetam, de forma positiva ou negativa, os custos das outras empresas da cadeia de suprimentos.

Pelo modelo proposto neste trabalho é possível simular e prever o desempenho da cadeia de suprimentos de forma sistêmica, já que a própria lógica de modelagem *fuzzy* é baseada numa visão de processos interconectados, estruturando-se por meio de variáveis de entrada, máquina de inferência e variáveis de saída. Desse modo, a alteração de uma variável influencia instantaneamente no desempenho de todo o sistema.

Essa característica de análise sistêmica possibilita ainda o relacionamento de medidas intra-organizacionais, medidas interorganizacionais, bem como a interconexão entre medidas estratégicas, táticas e operacionais.

Esta tese utilizou o Modelo SCOR 8.0 como um modelo de referência para a medição de desempenho em cadeias de suprimentos.

A escolha pelo SCOR justifica-se pela capacidade do modelo configurar-se como uma arquitetura de referência que incorpore alguns processos de negócios-chave ao longo da cadeia de suprimentos, reforçando a necessidade de se desenvolver uma avaliação de desempenho sistêmico da mesma (HOLMBERG, 2000). Por meio da arquitetura do SCOR é possível integrar métricas de desempenho segundo uma perspectiva hierárquica de processos. Isso poderia suprir as deficiências de integração de medidas tanto do ponto de vista de uma coordenação vertical (entre os níveis estratégico, tático e operacional), quanto uma coordenação horizontal (processos de negócios entre as empresas que compõem a cadeia de suprimentos).

O SCOR foi criado pelo *Supply Chain Council*, uma organização sem fins lucrativos, com sede em *Washington*, dedicada exclusivamente ao desenvolvimento das melhores práticas na gestão de cadeias (SCC, 2009). O sucesso deste modelo está nos altos retornos sobre o investimento que ele tem gerado para as cadeias de suprimentos (STEPHENS, 2001).

O modelo promove a conexão entre descrição dos processos e definição de medidas, melhores práticas e tecnologia. Ele possui mecanismos eficientes para descrever, analisar e melhorar o desempenho da cadeia de suprimentos (STEPHENS, 2001).

Tal arquitetura de referência integra os conceitos de reengenharia dos processos de negócios, *benchmarking* e processos de medição dentro de uma visão longitudinal. Ele proporciona informações sobre o desempenho da unidade de negócio inserida numa cadeia específica, as empresas nela “conectadas”, como também cria uma linguagem padronizada para toda a cadeia (HOLMBERG, 2000).

Uma importante contribuição do SCOR são os cinco processos de negócio que servem de parâmetro para a identificação e aplicação das medidas de desempenho. Analisando tais processos de negócios, observa-se que eles contemplam os níveis estratégico, tático e operacional, o que, para Gunasekaram et al. (2001), é uma das características fundamentais num sistema de medição de desempenho para garantir que todos os aspectos pertinentes ao desempenho sejam medidos.

Os macroprocessos de negócios do SCOR que representam uma cadeia de suprimentos são: *plan* (planejamento), *source* (abastecimento), *make* (produção), *deliver* (entrega) e *return*

(retorno). A partir desses processos-chave, as medidas de desempenho são selecionadas e classificadas.

Outro aspecto relevante é que o SCOR, atualmente na nona edição, vem sendo cada vez mais incorporado pela iniciativa empresarial (MARTINS, 2009; BREMER, 2009, THEERANUPHATTANA; TANG, 2008).

O trabalho de Theeranuphattana e Tang (2008) retoma o modelo proposto por Chan e Qi (2003) e propõe a utilização do SCOR como base para a proposição de um sistema *fuzzy* para avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos. No entanto, o modelo restringe-se apenas a métricas de nível 1 do SCOR. O modelo de simulação apresentado neste trabalho incorpora as métricas de nível 2 do SCOR na arquitetura proposta.

Além das justificativas já citadas para realização deste trabalho, atenta-se para o fato da possibilidade de ampliação dos conhecimentos sobre gestão do desempenho em cadeias de suprimentos utilizando a lógica *fuzzy*. A escolha deste tema é fundamentada na limitada quantidade de referências que abordem tal temática.

1.2 PROBLEMA E OBJETIVOS DA PESQUISA

Baseado em todo contexto enunciado até o presente momento, esta tese propõe responder à seguinte questão de pesquisa:

Como a utilização da lógica *fuzzy*, como uma técnica para predizer o desempenho, baseada em um conjunto de métricas e os respectivos relacionamentos causais, propostas pelo Modelo SCOR, pode contribuir para o processo de tomada de decisão na gestão e melhoria do desempenho da empresa-foco situada em uma cadeia de suprimentos?

Baseado na proposição de pesquisa formulada anteriormente e no contexto discutido e evidenciado, esta tese tem como objetivo principal:

Apresentar e discutir um modelo de simulação, baseado em lógica *fuzzy* e medidas de desempenho do SCOR 8.0, para predizer o desempenho da empresa-foco situada em uma cadeia de suprimentos imediata.

A abordagem de pesquisa foi baseada na hipótese de que um modelo de simulação quantitativo pode ser construído para explicar o comportamento de processos de negócios e

poder auxiliar na compreensão de problemas relativos à tomada de decisão aos quais os gerentes de *Supply Chain* de uma empresa-foco estão envolvidos.

A delimitação do modelo de simulação restrito à empresa-foco deve-se ao fato da dificuldade, atualmente, de se avaliar o desempenho de uma cadeia de suprimentos como um todo. Uma das premissas para tal cenário é a complexidade em se estabelecer uma estratégia para a cadeia de suprimentos em função da disparidade de interesses e falta de coordenação dos processos de negócios entre os agentes que compõem tal cadeia. Isso, contudo, não impede que sejam desenvolvidas ferramentas que busquem avaliar o desempenho de uma empresa (no caso, a empresa-foco) no âmbito de uma cadeia imediata (SLACK, CHAMBERS; JOHNSTON, 2002). Nesse sentido, o Modelo SCOR mostra-se fundamental à medida que fornece uma arquitetura de referência que incorpora alguns processos de negócios dessa empresa-foco ao longo da cadeia imediata, ou seja, os processos tanto a jusante quanto a montante de tal organização. A Figura 1.1 explicita a delimitação do desenvolvimento da pesquisa.

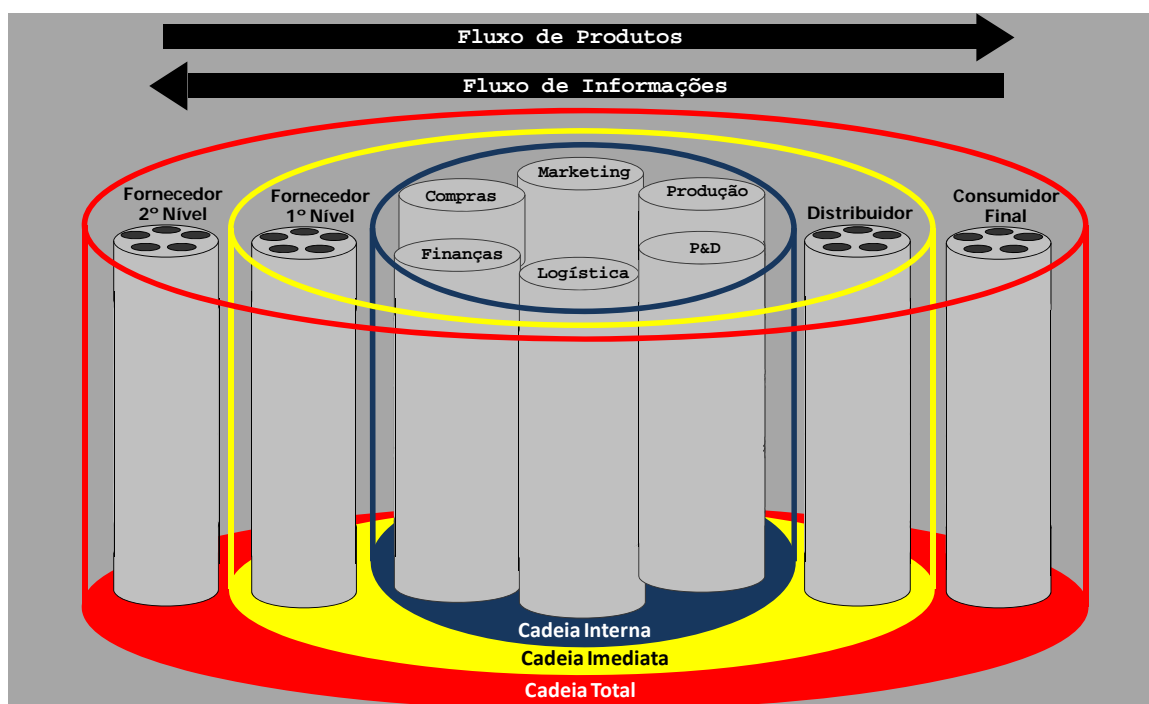


Figura 1.1 Objeto de análise desta pesquisa: a empresa-foco inserida na cadeia imediata
Fonte: Proposta pelo autor a partir de Slack, Chambers e Johnston (2002).

Como objetivos específicos desta pesquisa, podem ser citados:

- (1) compreender a estrutura hierárquica e sistêmica das métricas de desempenho envolvidas numa SC;
- (2) estudar possíveis relações de causa e efeito entre as medidas de desempenho através da abordagem da lógica *fuzzy*;

- (3) aplicar conceitos de lógica *fuzzy* para modelar o conhecimento de um especialista no estabelecimento das relações de causa e efeito entre métricas;
- (4) aplicar a simulação baseado em lógica *fuzzy* para avaliar o desempenho de uma empresa-foco situada na *supply chain* mediante diferentes cenários, fornecendo, assim, *inputs* importantes para os tomadores de decisão num ambiente de *supply chain management*.

1.3 JUSTIFICATIVA

Nenhuma referência foi encontrada na literatura que propusesse a utilização da lógica *fuzzy* para o desenvolvimento de um modelo de simulação que possibilite avaliar o desempenho de cadeias de suprimentos (entenda a empresa-foco) tendo como referência as métricas de nível 1 e 2 do Modelo SCOR.

Embora a literatura sobre avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos proponha inúmeras medidas e modelos, a utilização de métricas de desempenho para gerenciar o desempenho de cadeias de suprimentos é uma atividade extremamente complexa por: envolver uma grande quantidade de indicadores; a inexistência de dados ou a dificuldade no compartilhamento dos mesmos ao longo da cadeia; a natureza qualitativa de muitas métricas; os numerosos relacionamentos de causa e efeito entre as medidas. Todas essas características contribuem para que o desempenho sistêmico da cadeia de suprimentos seja difícil de prever. Neste contexto, a utilização da lógica *fuzzy* como técnica para simular e prever o desempenho, baseado em um conjunto de métricas e relacionamentos causais entre tais medidas, pode contribuir para o processo de tomada de decisão na gestão do desempenho e melhoria de uma cadeia de suprimentos.

A principal contribuição desta pesquisa é propor um conjunto de técnicas para simular e prever o desempenho de empresas situadas em cadeias de suprimentos baseado em análises de impacto do tipo “o que aconteceria se...”.

Aspectos relevantes do modelo de simulação proposto são: adoção de uma visão sistêmica do desempenho de cadeias de suprimentos; uso de métricas e relacionamentos causais baseados nas recomendações do SCOR; uso de categorias de desempenho propostas pelo SCOR para simular cenários; uso de análises estatísticas para confirmar o efeito de alavancagem das métricas sobre os resultados.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está estruturada em sete blocos fundamentais, conforme o esquema lógico a seguir (Figura 1.2):

O primeiro bloco está relacionado ao **CAPÍTULO INTRODUTÓRIO**, responsável principalmente pela delimitação do “1.2 PROBLEMA E OBJETIVOS DE PESQUISA”. No entanto, para a formulação da problemática de pesquisa, foi realizado intenso esforço por meio de pesquisa bibliográfica, acerca do tema “*gestão do desempenho em cadeias de suprimentos*”, etapa essa, denominada “1.1 CARACTERIZAÇÃO DO TEMA”. Esta seção procurou delinear tanto as abordagens tradicionais de avaliação de desempenho (modelos estocásticos, modelos determinísticos, AHP, Sistemas de Medição de Desempenho como o *Balanced Scorecard*), quanto trabalhos específicos sobre gestão de desempenho em cadeias de suprimentos. Tal revisão objetivou identificar o estado da arte referente ao tema em questão, reconhecendo os desafios, limitações e *gaps* de pesquisa apontados na literatura. Para tanto, a aplicação da lógica *fuzzy* em problemas relativos à gestão do desempenho em cadeias de suprimentos mostrou-se uma alternativa interessante para se propor um modelo de simulação que fosse capaz de prever o desempenho da empresa-foco em cadeias de suprimentos. Nesse contexto, o SCOR (versão 8.0) recebeu grande destaque, por constituir-se como uma arquitetura de referência a ser adotada, justamente por fornecer todo um *background* acerca dos possíveis relacionamentos causais entre atributos de desempenho em cadeias de suprimentos e medidas de desempenho, estas passíveis de desdobramento em três níveis de análise. Finalmente o capítulo se encerra por meio da seção “JUSTIFICATIVA”, o qual se preocupa em destacar a contribuição do modelo desenvolvido.

A concepção de desenvolvimento do segundo bloco, relativo à REVISÃO DE LITERATURA, foi derivado das ideias preconizadas no capítulo primeiro. Para tanto, esta seção foi composta por dois capítulos fundamentais: “**CAPÍTULO 2 GESTÃO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS**” e “**CAPÍTULO 3 LÓGICA FUZZY**”, constituindo forte embasamento teórico e conceitual necessários à proposição do modelo.

O terceiro bloco, por meio do “**CAPÍTULO 4 METODOLOGIA**”, preocupou-se inicialmente em caracterizar a pesquisa quanto às inúmeras tipologias de pesquisa em Gestão da Produção e Operações, além de destacar passo a passo a lógica de desenvolvimento do modelo proposto.

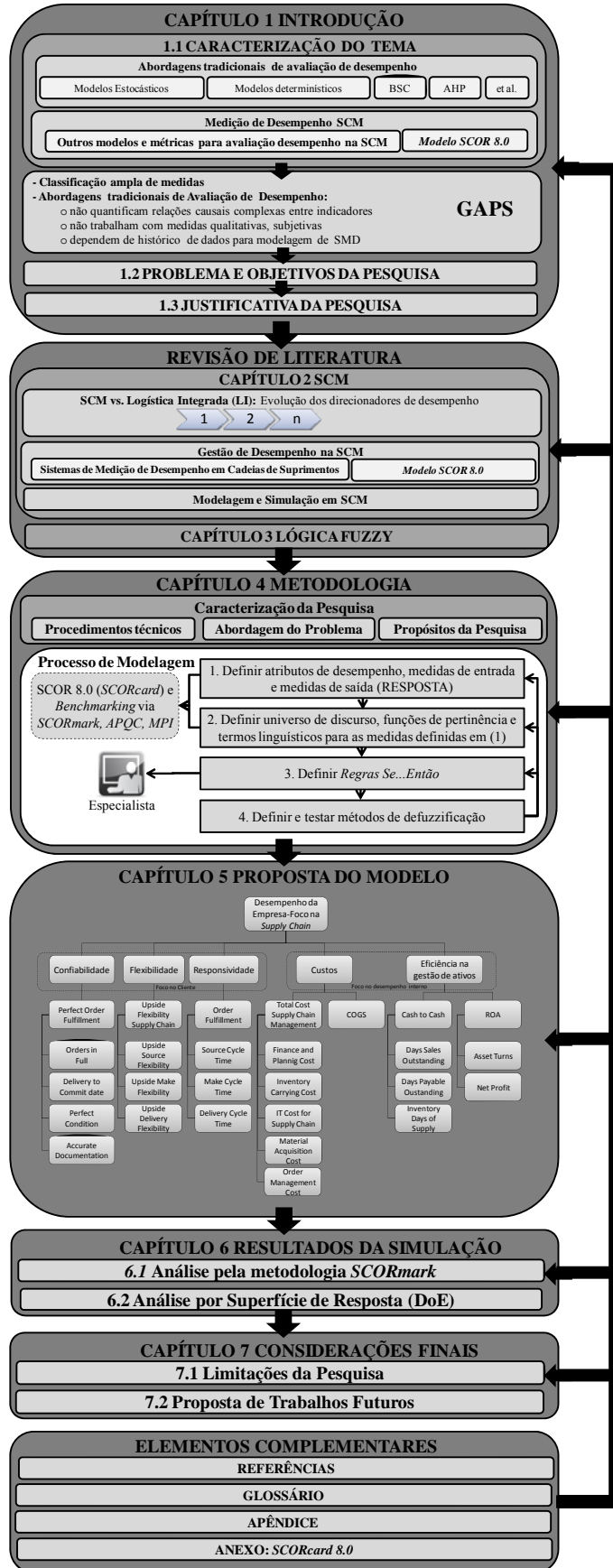


Figura 1.2 Estrutura da tese

A REVISÃO DE LITERATURA revelou-se um *input* fundamental neste capítulo por introduzir e detalhar o SCOR (8.0) como a arquitetura de referência a ser adotada na proposição do modelo. A seção “4.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA” mostrou-se imprescindível à medida que enquadrou metodologicamente esta Tese como uma *Modelagem e Simulação*, permitindo que fossem adotados parâmetros de controle e análises pertinentes a essa classe de pesquisa.

O quarto bloco, por meio do “**CAPÍTULO 5 PROPOSTA DO MODELO [...]**”, refere-se à descrição detalhada e completa de todos os constituintes do sistema *fuzzy* desenvolvido. Tal capítulo foi estruturado em cinco seções, relativas aos submodelos *fuzzy* para cada um dos atributos de desempenho em cadeias de suprimentos, a saber: *Reliability* (Confiabilidade), *Flexibility* (Flexibilidade), *Cost* (Custos), *Asset* (Ativos) e *Responsiveness* (Responsividade).

O quinto bloco, por meio do “**CAPÍTULO 6 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO**”, procurou analisar os resultados gerados pelo modelo proposto. Neste capítulo, o modelo foi testado sob duas classes de análises: (a) uma análise descritiva com dados gerados aleatoriamente, tendo como referência a metodologia *SCORmark*, e seus parâmetros de desempenho (*superior, advantage, parity*); (b) uma análise usando técnicas de DoE, particularmente análise por superfícies de resposta, para testar o efeito de alavancagem das métricas inferiores sobre o desempenho de métricas superiores ou atributos de desempenho do SCOR.

No sexto bloco, o “**CAPÍTULO 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**”, apresenta as conclusões alcançadas com a realização do trabalho, bem como as limitações da pesquisa e a proposta de trabalhos futuros.

O último bloco, denominado “**ELEMENTOS COMPLEMENTARES**” foi proposto para apoiar os capítulos anteriores, sendo constituído por: **REFERÊNCIAS**: descrição em ordem alfabética de todas as referências citadas nos capítulos principais, elaboradas segundo a Norma NBR 6023; **GLOSSÁRIO**: lista alfabética de palavras e expressões técnicas relativas principalmente ao SCOR 8.0 e Lógica *Fuzzy*, com o objetivo de dirimir possíveis dúvidas ao longo da leitura do texto principal; **APÊNDICE**: tabelas detalhadas dos resultados gerados pelo modelo; e **ANEXO**: Documento *SCORcard*, o qual contém a descrição e apresentação dos relacionamentos causais entre as métricas e atributos de desempenho do SCOR 8.0.

CAPÍTULO 2

GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

“As empresas de ponta perceberam que a verdadeira competição não é a de empresa contra empresa, mas cadeia de suprimentos contra cadeia de suprimentos”.

Martin Christopher

2.1 OBJETIVO E ESTRUTURA DO CAPÍTULO

O objetivo deste capítulo é fornecer os *inputs* necessários para o projeto de uma arquitetura de referência do modelo de avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos que propicie uma base para a modelagem do simulador *fuzzy* a que se propõe este trabalho.

Este capítulo está estruturado de maneira a trabalhar, gradativamente, conceitos que envolvam gestão da cadeia de suprimentos, medição de desempenho e medição de desempenho em cadeias de suprimentos.

A seção 2.2 objetiva conceituar rapidamente o termo “gestão de cadeia de suprimentos” para caracterizá-la não somente como uma simples evolução do conceito de logística, mas, sim, pautada a partir de uma perspectiva mais ampla, ou seja, estratégica e multidisciplinar.

O item 2.3 trata especificamente da medição de desempenho e da evolução de tais sistemas de medição.

A seção 2.4 analisa especificamente os sistemas de medição de desempenho em cadeias de suprimentos, para fornecer todo um conteúdo necessário para a proposição de uma arquitetura de referência que possa ser utilizada no simulador *fuzzy*. Para este fim, é abordado o modelo de referência SCOR.

A seção 2.5 trata da questão de modelagem e de simulação em cadeias de suprimentos e, por fim, a utilização de ferramentas que utilizam o SCOR a fim de simular desempenho de cadeias de suprimentos.

2.2 GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS E LOGÍSTICA INTEGRADA

O termo *desempenho logístico* muitas vezes é utilizado como sinônimo para *desempenho de cadeia de suprimentos*. Antes de analisar o mérito de tal questão, é necessário diferenciar o conceito de Logística do termo Gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS).

Um posicionamento defendido em inúmeras publicações é que o conceito de gestão de cadeia de suprimentos não é sinônimo exato de logística². Tal diferenciação faz-se necessária quando direcionado o discurso para o tema de medição de desempenho.

Pesquisadores do campo da Logística têm-se preocupado em esclarecer tais diferenças ou similaridades entre os termos Logística Integrada (LI) e *Supply Chain Management* (SCM). Muitos conceitos a respeito de cada termo sobrepõem-se, tornando difícil traçar fronteiras a respeito de uma definição específica de cada terminologia.

O termo *Supply Chain Management* é definido pelo *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP³) como:

Supply Chain Management é a integração de processos-chave a partir do usuário final até os fornecedores primários com o objetivo de prover produtos, serviços e informações que adicionem valor para os clientes e acionistas da empresa (CSCMP, 2009).

Muitos autores consideram então a SCM como uma evolução estratégica da Logística.

Seria essa uma afirmação verdadeira?

Recorrendo à definição de logística pelo próprio *Council of Supply Chain Management Professionals*, tem-se que:

Logística é a parte do processo da Supply Chain que planeja, implementa e controla, eficientemente, o fluxo e armazenagem de bens, serviços e informações do ponto de origem ao ponto de consumo de forma a atender às necessidades dos clientes (CSCMP, 2009).

Para Bowersox e Closs (2001), a Logística Integrada pode ser compreendida como a junção de três processos-chave: Logística de Suprimentos (Logística *Inbound*), Logística Interna (Produção) e Logística de Distribuição (Logística *Outbound*). Pires (2004), corroborando Bowersox e Closs (2001), ilustra tais processos-chave por meio da Figura 2.1.

²É comum encontrar termos como “logística empresarial”, “logística integrada”, etc. Nesta tese, sempre que o termo logística for citado, estar-se-á referindo ao conceito de logística integrada, um termo mais adequado para retratar os processos logísticos ao longo da SC.

³ <http://cscmp.org/aboutcscmp/definitions.asp>

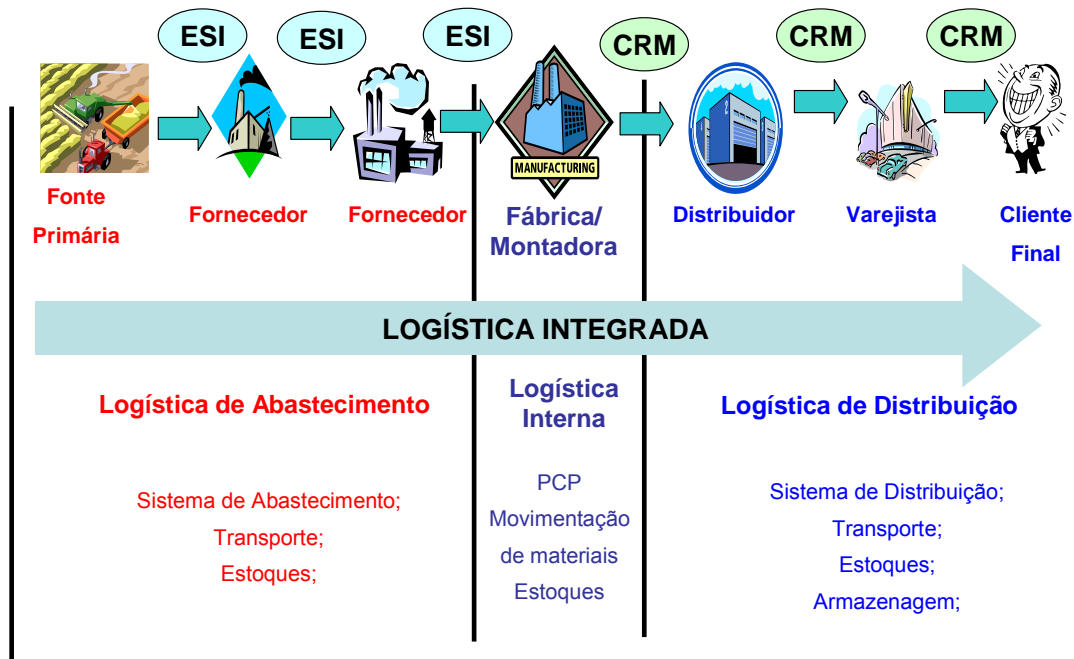


Figura 2.1 Logística Integrada
 Fonte: Baseado em Pires (2004).

Para a distinção entre os termos Logística Integrada e SC é essencial entender o processo evolutivo da logística.

Inúmeros trabalhos, retratam com muita clareza a evolução da logística. Para confirmar tal afirmação, merecem destaque: Novaes (2007), Figueiredo e Arkader (1998), Ballou (2006), entre outros.

Segundo estes autores, a logística evoluiu por meio de um *continuum*, de uma perspectiva operacional, fragmentada, para uma coordenação vertical dentro da própria área funcional, posteriormente passando a ser integrada com outras funções da empresa (coordenação horizontal). A seguir, a integração estendeu-se para fornecedores e clientes, sem, no entanto, abandonar sua vocação operacional. Finalmente, num último estágio, a logística migrou para uma abordagem mais estratégica pela coordenação entre os diferentes agentes que compõem a cadeia produtiva, numa perspectiva denominada então “*Supply Chain Management (SCM)*.”

Nessa linha de pensamento, alguns autores destacam que a Logística Integrada trata de uma integração operacional entre clientes e fornecedores da cadeia, e a SCM refere-se a uma integração estratégica das empresas que compõem a cadeia de suprimentos.

Porém, esta tese adota também o pensamento de Pires (2004), o qual trata a SCM como uma evolução não só da área de logística, mas como uma grande contribuição das áreas de *Marketing*, *Compras* e *Produção*, como pode ser observado na Figura 2.2.

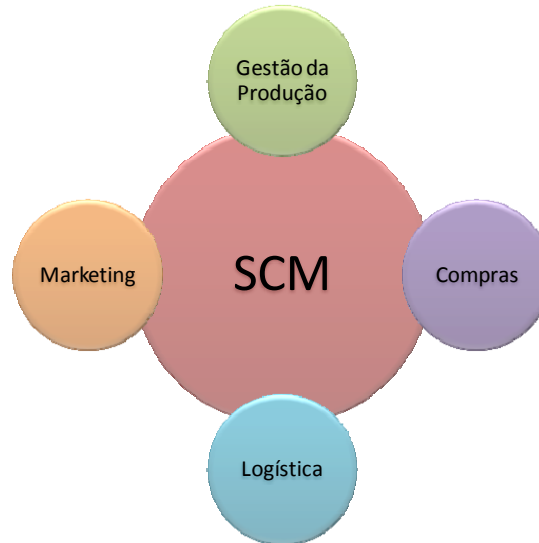


Figura 2.2 Potenciais origens da SCM
Fonte: Adaptado de Pires (2004).

Essa visão multidisciplinar da SCM parece ser mais adequada ao tema medição de desempenho em cadeias de suprimentos, já que retrata de maneira mais realística as diferentes naturezas dos processos de negócios que perfazem uma SC. Existem vários processos ao longo da SC, como, por exemplo, desenvolvimento de produto, que tratam de questões não relacionadas diretamente à área de logística (YOSHIZAKI, 2002). Desta maneira, o processo de medição de desempenho em cadeia de suprimentos deveria tratar de outros processos de negócios, além da perspectiva logística.

Baseado em Mentzer et al. (2001), deve-se compreender uma SCM como a junção de três categorias:

- uma filosofia gerencial;
- um conjunto de atividades para implementar uma filosofia gerencial;
- um conjunto de processos de negócio.

A perspectiva dos processos de negócios torna-se fundamental neste trabalho à medida que se considere que as métricas de desempenho sejam derivadas desses processos de negócio. Portanto, uma SCM teria um escopo mais amplo que a Logística Integrada. Isso pode ser compreendido pela própria natureza dos processos de negócios que formam uma SCM.

Na visão de Croxton et al. (2001), a gestão da cadeia de suprimentos pode ser vista ainda como uma extensão dos processos de negócios da empresa, ou seja, uma visão estratégica e estendida, integrando não somente funções, mas também um conjunto de processos entre

empresas que interagem estrategicamente no estabelecimento de vantagens competitivas, como pode ser observado na Figura 2.3.

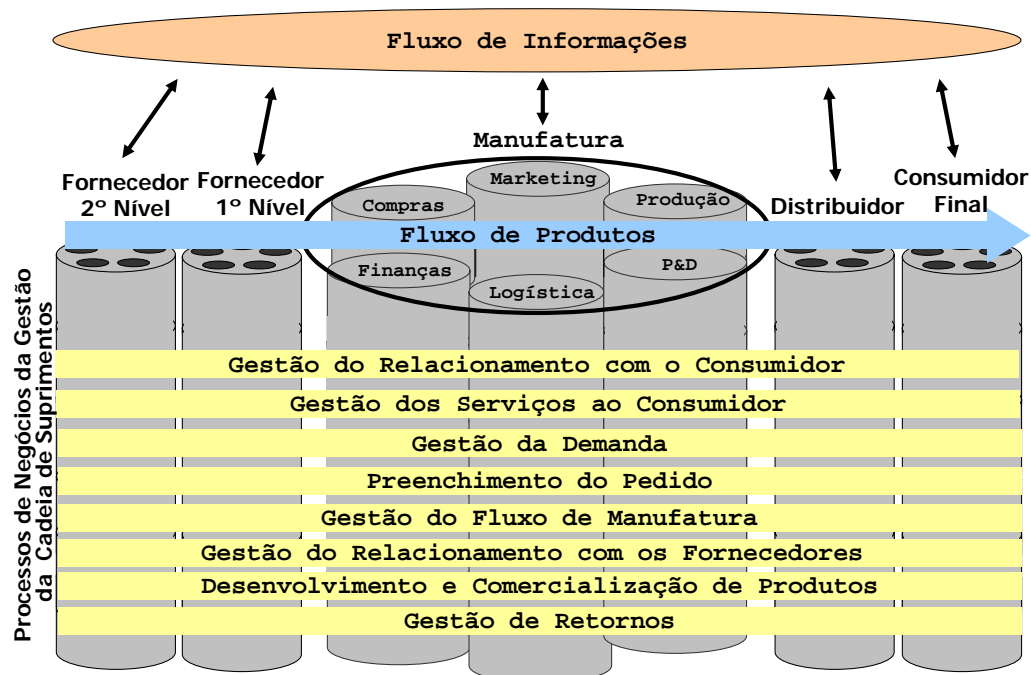


Figura 2.3 Processos de Negócios da SCM

Fonte: Adaptado de Croxton et al. (2001).

Desse modo, para implementar com sucesso uma SCM, todas as empresas de uma cadeia de suprimentos devem desvincular-se dos próprios silos funcionais e reorganizar todas as funções em uma cadeia de suprimentos com base em processos de negócios-chave.

Uma cadeia de suprimentos, para ter excelência, não necessita ter as melhores práticas implementadas, mas, sim, um esforço conjunto em alinhá-las objetivando uma estratégia competitiva corporativa (LAPIDE, 2007).

A SCM é um modelo gerencial que busca obter sinergias através da integração dos processos de negócios-chave ao longo da cadeia de suprimentos. O objetivo principal é atender o consumidor final e outros *stakeholders* da forma mais eficaz e eficiente possível, ou seja, com produtos e/ou serviços de maior valor percebido pelo cliente final e obtido através do menor custo possível (CHRISTOPHER, 2007; BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007; PIRES, 2004; LAMBERT; COOPER, 2000; CROXTON; GARCÍA-DASTUGUE; LAMBERT, 2001).

Uma mudança significativa de paradigma competitivo e gerencial trazida pelo advento da *Supply Chain Management* (SCM) é a constatação de que a competição tende a ocorrer cada vez mais entre cadeias produtivas e não mais entre empresas isoladas (CHRISTOPHER, 2007; PIRES, 2004).

Existe uma clara necessidade de se gerenciar a cadeia de suprimentos com uma visão do todo e não apenas dentro dos limites de suas empresas individuais. Passa a ser um imperativo gerenciar adequadamente os processos de negócios-chave que ocorrem entre as empresas (CHRISTOPHER, 2007; BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007; PIRES, 2004; LAMBERT; COOPER, 2000; CROXTON; GARCÍA-DASTUGUE; LAMBERT, 2001).

Tal cenário reflete-se nos sistemas de medição de desempenho. Modelos tradicionais, focados apenas em medidas financeiras e restritos às fronteiras organizacionais clássicas (intrafuncionais e interfuncionais), mostram-se ineficientes quando o escopo de atuação passa a ser a gestão de cadeias de suprimentos.

Pires (2004) enfatiza que a mudança de paradigma competitivo e gerencial introduzido pela SCM necessita incorporar um novo sistema de medição de desempenho, já que toda a base conceitual desenvolvida até hoje foi construída a partir de unidades de negócios (empresas) vistas de forma isolada.

Como abordado em seções anteriores, uma importante discussão a ser realizada sobre sistemas de medição de desempenho em cadeias de suprimentos é a própria questão da existência ou não de uma estratégia para cadeia de suprimentos.

Uma premissa fundamental de qualquer sistema de medição de desempenho é fornecer subsídios para a “tradução” da visão estratégica da empresa para os demais processos e níveis de uma organização em relação aos objetivos dos *stakeholders*. Quando essa organização é encarada como uma empresa isolada, são reconhecidos vários exemplos de sistemas de medição de desempenho que procuram promover o alinhamento estratégico entre os processos internos, a estratégia corporativa e as necessidades dos *stakeholders* envolvidos. O *balanced scorecard* é um destes exemplos clássicos.

No entanto, quando a esfera de análise passa a ser uma cadeia de suprimentos, a questão do entendimento de uma estratégia para a cadeia como um todo passa a ser fundamental no desenvolvimento de sistema de medição para essa *supply chain*.

Harrison e Van Hoek (2003, p.46), estendendo o conceito de estratégia de Hayes e Wheelwright (1984), expressam que a meta para a cadeia de suprimentos como um todo deveria ser:

O conjunto de princípios orientadores, de forças impulsionadoras e de atitudes arraigadas que ajudam a comunicar metas, planos e políticas a todos os funcionários e que são reforçadas por meio do comportamento consciente e inconsciente em todos os níveis da cadeia de suprimentos (GRIFO DO AUTOR).

Os autores destacam ainda cinco características importantes de uma estratégia para SC (HARRISON; VAN HOEK, 2003, p.46):

- *Horizonte de tempo*: é de longo prazo, em vez de curto prazo;
- *Padrão de decisões*: com o passar do tempo, as decisões condizem entre si;
- *Impacto*: as mudanças são significativas, em vez de pequena escala;
- *Concentração de esforços*: o foco deve ser em capacidades selecionadas e definidas em vez de “amplas e mal definidas”;
- *Abrangência*: todos os processos da cadeia de suprimentos são coordenados (GRIFO DO AUTOR).

Percebe-se, nos grifos destacados, que a questão da coordenação dos vários níveis e processos em uma cadeia de suprimentos é de fundamental importância para o estabelecimento de uma estratégia para cadeia de suprimentos. Os autores destacam que é muito difícil empreender uma estratégia formal entre as empresas que compõem a cadeia como um todo.

Se diferentes vínculos da cadeia de suprimentos forem direcionados a diferentes prioridades competitivas, então a cadeia não será capaz de atender o cliente final (HARRISON; VAN HOEK, 2003).

Nessa linha de pensamento, Pires (2004) argumenta que dificilmente uma cadeia de suprimentos estabelecerá uma estratégia como um todo, por razões como:

- em cada elo predomina, de fato, a estratégia interna da empresa, a qual está calcada na sua inserção no mercado e na competência interna, e não necessariamente atrelada a uma estratégia que se pode denominar de estratégia para a SC;
- o que existe de fato de mais marcante é apenas a estratégia da empresa (elo) mais forte da SC e que pode influenciar todas as outras estratégias dos elos da mesma;
- a participação de diversos elos em diversas SCs dificulta a implementação de uma estratégia única ao longo de uma SC.

Nesse sentido, o autor levanta uma questão fundamental:

A dificuldade em se estabelecer uma estratégia para a cadeia de suprimentos, inviabilizaria o desenvolvimento de mecanismos de avaliação de desempenho para a cadeia como um todo?

A resposta do autor é efusivamente um “não”, ou seja, a medição de desempenho ao longo da SC poderia ter um caráter muito mais de diagnóstico do que de ferramenta a serviço de implementação de objetivos estratégicos. Ela pode contribuir exatamente para alinhar e ajustar objetivos ao longo da mesma.

Para tanto, esta tese propõe o desenvolvimento de um modelo de simulação baseado em lógica *fuzzy* e no modelo SCOR para avaliar o desempenho apenas da empresa-foco em uma cadeia de suprimentos.

No entanto, essa avaliação não significa uma análise isolada e interna dessa empresa-foco, pelo contrário, a utilização das métricas propostas pelo Modelo SCOR incorporam características e comportamentos externos à organização (empresa-foco), tratando tanto do desempenho de processos *inbound* quanto *outbound* na cadeia imediata desta empresa.

A próxima seção abordará, de maneira objetiva, a evolução dos sistemas de medição de desempenho, predicado fundamental para a compreensão dos sistemas de medição de desempenho em cadeias de suprimentos.

2.3 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO

Bitici et al. (1997) definem medição de desempenho (MD) organizacional como o processo pelo qual, por meio do monitoramento de indicadores⁴ de desempenho, a organização gerencia sua *performance* de forma alinhada às suas estratégias corporativa e funcional e seus objetivos.

A medição de desempenho pode ser compreendida como a técnica usada para quantificar a eficiência e a eficácia das atividades de negócio. A eficiência vai tratar da relação entre utilização econômica dos recursos, levando em consideração um determinado nível de satisfação. Por sua vez, a eficácia avalia o resultado de um processo em que as expectativas dos diversos clientes são ou não atendidas (NEELY et al.,1995).

⁴ Neste trabalho, serão utilizadas inúmeras formas para exprimir o termo indicador, como, por exemplo, métrica ou medida de desempenho, porém todas serão tratadas como sinônimos.

Um Sistema de Medição de Desempenho (SMD) pode ser visto como o sistema de informação que possibilita que o processo de medição de desempenho seja implementado com eficiência e eficácia (BITITCI; CARRIE; MCDEVITT, 1997).

O'Mara et al. (1998) acrescentam ainda que um sistema de medição de desempenho não apenas fornece dados necessários para a gerência controlar as várias atividades da empresa, mas também influencia nas decisões e no comportamento organizacional.

A medição e a avaliação do desempenho são extremamente importantes para diagnosticar e também compreender as causas de problemas relacionados ao desempenho tanto de processos (de fabricação, de negócios, de criação e de decisão, por exemplo) mais simples quanto de sistemas mais complexos, como as organizações ou as redes de organizações. O Quadro 2.1 ilustra alguns objetivos de um SMD:

Quadro 2.1 Objetivos de um sistema de medição de desempenho

-
- | | |
|---|--|
| ▪ comunicar estratégia; | ▪ melhorar o controle e o planejamento; |
| ▪ esclarecer valores; | ▪ identificar ações de melhoria; |
| ▪ diagnosticar problemas; | ▪ mudar comportamentos; |
| ▪ entender processos; | ▪ tornar possível a visualização de resultados; |
| ▪ definir responsabilidades; | ▪ facilitar a delegação de responsabilidades; |
| ▪ envolver as pessoas; | ▪ ressaltar a importância da medição de desempenho organizacional. |
| ▪ fazer parte ativa da remuneração funcional; | |
-

Fonte: Kaydos (1991).

É essencial destacar que o objetivo principal deste capítulo não é tratar em profundidade a teoria de medição de desempenho, já que o foco do trabalho não é a medição em si, mas a identificação de métricas relevantes para a gestão da SC a fim de construir um modelo de simulação para avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos.

O interesse pela medição de desempenho empresarial aumentou consideravelmente a partir dos anos de 1990, principalmente pela insatisfação com metodologias baseadas principalmente em resultados financeiros passados, o qual, não reconhecem a necessidade de integração do negócio, por serem focados em processos isolados na empresa. Desse modo, são promovidos projetos de melhoria que não levam em consideração a empresa como um todo (BITICI; CARRIE; McDEVITT, 1997).

Apesar de a SCM ser um conceito mais amplo que a logística integrada, entender a evolução dos direcionadores de desempenho em logística faz-se necessário a fim de compor um quadro geral de análise que esboce as características das métricas de desempenho em cada fase desse *continuum* evolutivo. Outra necessidade é tentar relacionar tal evolução dos

direcionadores de desempenho logísticos a um *continuum* evolutivo dos sistema de medição de desempenho.

O trabalho de Morgan (2007) ilustra o processo evolutivo da medição de desempenho organizacional, como pode ser observado na Figura 2.4.

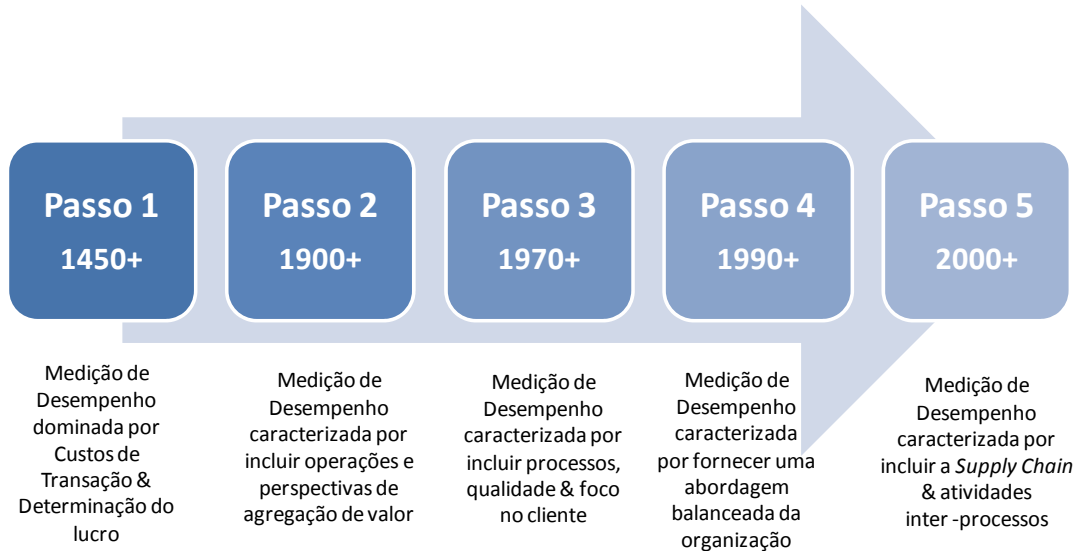


Figura 2.4 Evolução da medição de desempenho

Fonte: Morgan (2007).

Como o tema medição de desempenho em cadeia de suprimentos é uma abordagem recente, este trabalho restringe-se basicamente a considerar somente as fases 3; 4 e 5 da medição de desempenho.

Nesse contexto, Keebler et al. (1999) esboçam os direcionadores dos melhores padrões de desempenho logísticos por meio de um *continuum* evolutivo, como pode ser observado na Figura 2.5.

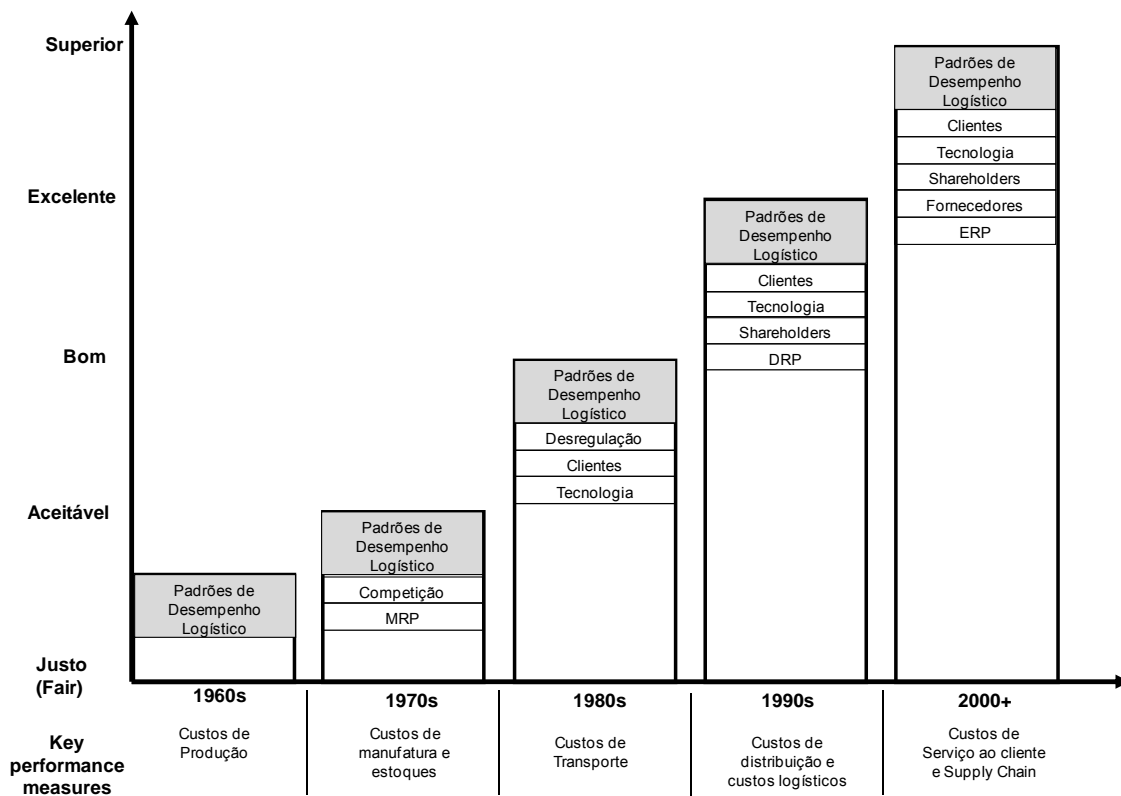


Figura 2.5 Direcionadores dos melhores padrões de desempenho logísticos

Fonte: Keebler et al. (1999).

Para melhor compreensão da evolução dos modelos de medição de desempenho, recorreu-se ao trabalho de Attadia e Martins (2003), no qual eles descrevem, de maneira detalhada, as características de cada modelo, a partir de meados da década de 1980 até o ano de 2000, aproximadamente.

A fim de compor e discutir uma análise sistêmica e simultânea dos trabalhos de Morgan (2007), Attadia e Martins (2003) e Keebler et al. (1999), foi proposto um quadro comparativo (Quadro 2.2).

Quadro 2.2 Comparação entre os estágios evolutivos da MD e direcionadores de desempenho logístico e da SCM

Linha do Tempo (década)	Morgan (2007)	Attadia e Martins (2003)	Keebler et al. (1999)
2000 +	- Medição de Desempenho caracterizada por incluir a <i>Supply Chain</i> & atividades inter-processos	2000 - Medição de desempenho da satisfação dos <i>stakeholders</i> - Comunicação da estratégia - Abordagem pela gestão de processos de negócio 1997 - Desdobramento estratégico para negócio, Unidade de negócio, processos e atividades para medidas considerando requisitos dos <i>stakeholders</i> , monitoramento externo, objetivos e medidas de desempenho	- Custos de Serviço ao Cliente e da Cadeia de Suprimentos
1990 +	- Medição de Desempenho caracterizada por fornecer uma abordagem balanceada da organização	1996 - Medidas de desempenho agrupadas em perspectivas - Relação de causa e efeito entre as perspectivas reflete a estratégia 1990 - Medidas de desempenho de eficiência interna e eficácia externa 1989 - Medidas de desempenho desdobradas da estratégia da empresa	- Custos de Logística e Distribuição
1980 +		1989 - Medidas de desempenho internas e externas, financeiras e não financeiras - Medidas de desempenho ligadas à estratégia	- Custos de Transportes
1970 +	- Medição de Desempenho caracterizada por incluir processos, qualidade & foco no cliente		- Custos de Manufatura e estoques
1960 +			- Custos de Produção

Fonte: Proposto pelo autor.

Observando a evolução dos direcionadores de desempenho logísticos e da SC, percebe-se claramente a incorporação de medidas mais integradas, sistêmicas e alinhadas à estratégia da empresa à medida que se avança no *continuum* tempo.

A predominância de uma estrutura funcional até o fim da década de 1980 é marcada por medidas de desempenho intrafuncionais, individuais e financeiras, como, por exemplo, os custos de produção e estoques. Não se observava ainda a ligação forte entre o desempenho da logística e a estratégia da empresa.

No entanto, na década de 1990, com o advento cada vez maior de conceitos como reengenharia e qualidade total, cuja base é a visão de processos de negócios, percebe-se uma estrutura mais integrada de medidas de desempenho. O próprio conceito de logística passa a

considerar a integração com outras funções internas e, dessa maneira, métricas interfuncionais passam a ser utilizadas com maior frequência.

A expansão da logística para além das fronteiras organizacionais passa a necessitar de medidas interorganizacionais, que não envolvem só aspectos financeiros. Percebe-se que o conceito de desempenho logístico se amplia, principalmente pela tentativa de avaliar o nível de serviço logístico, uma métrica com grande interface com a área de *marketing* (LAMBERT; STOCK, 1993).

Os sistemas de medição de desempenho passam a incorporar múltiplas perspectivas, focados não somente numa vertente financeira, ou seja, começa-se a pensar de maneira mais ampla, em função das necessidades de todos os *stakeholders*. Tais perspectivas passam a ser alinhadas com a estratégia da empresa, sendo possível estabelecer relações de causa e efeito entre as medidas.

É nesse período que se desenvolveram modelos de medição como o *Performance Measurement Matrix* (KEEGAN et al., 1989), *SMART – Performance Pyramid* (CROSS; LINCH, 1990), *Balanced Scorecard* (KAPLAN; NORTON, 1992; 1996), *Integrated Performance Measurement System* (BITITCI et al., 1997) e *Performance Prism* (NEELY; ADAMS, 2000).

Para finalizar esta discussão, o último estágio dos sistemas de medição de desempenho é a inclusão de uma perspectiva estratégica, já delineada nos outros modelos, porém com foco para a Gestão da Cadeia de Suprimentos. Por isso, muitos conceitos, como o próprio *Balanced Scorecard* (BSC), passaram a ser utilizados em ambientes de SC. Outros modelos mais específicos vêm sendo suscitados na literatura sobre medição de desempenho em cadeias de suprimentos, e o próprio SCOR é um deles.

Dando sequência a este assunto, a próxima seção discorre sobre as medidas de desempenho utilizadas em cadeias de suprimentos, bem como os sistemas de medição utilizados na SCM.

Na atual conjuntura, em que predominam as redes de cooperação entre empresas, os modelos tradicionais de medição de desempenho mostram-se inadequados, devido à necessidade vital de coordenação e integração entre os parceiros de negócio. A medição de desempenho necessitava evoluir de uma perspectiva individual, restrita a uma área funcional, ou uma única empresa, para uma perspectiva mais sistêmica, que envolvesse principalmente os parceiros imediatos da empresa-foco em questão.

2.4 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS

A natureza complexa dos processos de negócios que compõem uma cadeia de suprimentos resulta numa atividade de avaliação de desempenho extremamente complexa, constituindo-se uma problemática que geralmente envolve múltiplos critérios. É necessário, portanto, o desenvolvimento de sistemas de medição de desempenho que possam conciliar critérios de desempenho com diversos aspectos necessários aos tomadores de decisão dessas organizações ou rede de empresas (YEH; CHENG; CHI, 2007).

O tema “medição de desempenho” tratado em vários trabalhos (KENNERLEY; NEELY, 2002, 2003; BOURNE et al., 2000, 2002; NEELY et al., 2000; WAGGONER et al., 1999) tem sido também amplamente discutido em pesquisas sobre sistema de medição de desempenho e métricas voltadas à cadeia de suprimentos (VAN HOEK, 1998; BEAMON, 1999; HOLMBERG, 2000; LAPIDE, 2000; BEAMON; CHEN, 2001; DE TONI; TONCHIA, 2001; LAMBERT; POHLEN, 2001; STEPHENS, 2001; BULLINGER; KUHNER; VAN HOFF, 2002; GUNASEKARAN; PATEL; TIRTIROGLU, 2001; HIEBER, 2002; BOLSTORFF, 2003; CHAN, 2003; CHAN; QI, 2003; KLEIJNEN; SMITS, 2003; GUNASEKARAN; PATEL; MCGAUGHEY, 2004; HUANG et al., 2004; LOCKAMI; MCCORMACK, 2004; MORGAN, 2004; SCHÖNSLEBEN, 2004; HERVANI; HELMS; SARKIS, 2005; LI et al., 2005; PARK; LEE; YOO, 2005; ZHU; SARKIS; GENG, 2005; ANGERHOFER; ANGELIDES, 2006; BLINGE; SWENSSON, 2006; SHEPHERD; GÜNTER, 2006; BRINDLEY; RITCHIE, 2007; RITCHIE; BRINDLEY, 2007; WONG; WONG, 2007; CUTHBERTSON; PIOTROWICZ, 2008; ZHU; SARKIS; LAI, 2008).

Um trabalho no Brasil, com o propósito citado anteriormente, é o de Gasparetto (2003). Outra pesquisa (JESUS, 2004), verifica a questão da medição de desempenho na SC de uma montadora de automóveis. Ambos os trabalhos, porém, assumem características qualitativas, por não tratarem especificamente da manipulação direta das medidas de desempenho envolvidas no processo de medição da *Supply Chain* (SC).

Outra pesquisa, porém de natureza quantitativa em relação à manipulação das medidas de desempenho, é o trabalho de Pires e Aravechia (2001), o qual propõe uma lógica baseada em gráficos-radar para a avaliação do desempenho de SCs de unidades de negócio isoladas.

Tal gráfico-radar envolve nove anéis concêntricos numerados progressivamente, representando duas escalas. A primeira é a escala do cliente, a qual se refere à importância atribuída por ele ao objetivo de desempenho que está sendo avaliado, variando de 1 a 9 e

representando os critérios ganhadores de pedidos (1 a 3), critérios qualificadores (4 a 6) e critérios menos importantes (7 a 9).

Tal escala é muito parecida com a proposta por Saaty (SAATY; VARGAS, 2006), na aplicação da ferramenta AHP. A segunda refere-se aos indicadores medidos em relação à concorrência, evidenciando três grupos de indicadores: desempenho superior à concorrência (1 a 3), desempenho equivalente à concorrência (4 a 6) e desempenho inferior à concorrência. No gráfico, são incluídas quatro unidades de negócio, e os indicadores utilizados, os quais variam de A a N. Tais indicadores são divididos em relação à concorrência e aos clientes, como pode ser observado na Figura 2.6.

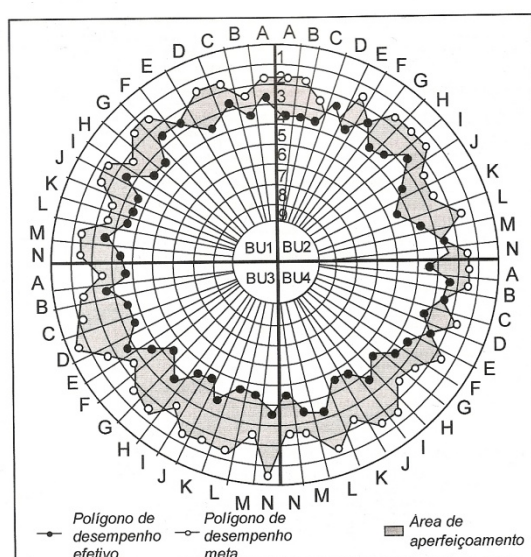


Figura 2.6 Gráfico de radar para avaliar desempenho de UN em SCs

Fonte: Pires e Aravechia (2001).

No entanto, tal trabalho não promove uma estrutura sistêmica de avaliação do desempenho da SC (HOLMBERG, 2000) para analisar quantitativamente os relacionamentos de causa e efeito entre medidas de diferentes categorias, níveis e processo, o propósito maior desta tese.

Outra trabalho, de característica quantitativa, realizada no Brasil, foi a proposto por Sellitto e Mendes (2006). Tal trabalho apresentou um caso de avaliação do desempenho de três cadeias de suprimentos em manufatura. Para os autores, este tipo de avaliação pode realimentar ações de controle que visem a atingir objetivos estratégicos da cadeia e pode ser útil em *benchmarking*. A metodologia proposta partiu do modelo SCOR de gestão de cadeias de suprimento. As ideias do modelo foram estruturadas e associadas a dimensões de desempenho, cujas importâncias relativas foram calculadas por especialistas, com o auxílio do AHP. As dimensões foram estruturadas em vinte e cinco indicadores categóricos, avaliados

pelos pesquisadores e por gestores das cadeias. A metodologia foi aplicada em três cadeias de suprimentos com similaridades. Os resultados foram analisados e entendeu-se que poderiam servir como passo intermediário em direção a uma eventual futura teoria sobre medição de desempenho em cadeias de suprimentos.

As abordagens citados anteriormente apresentam algumas limitações, como o julgamento subjetivo na avaliação de resultados de natureza subjetiva, além da dificuldade de se realizar uma avaliação sistêmica da cadeia de suprimentos, que leve em conta as relações de causa e efeito entre critérios de desempenho e métricas, nos níveis e sub-níveis dos processos de negócios que compõem uma cadeia de suprimentos.

Com o objetivo de atender às necessidades do desenvolvimento do modelo de simulação que avalie o desempenho de cadeias de suprimentos, esta seção objetiva tratar apenas da categorização das medidas de desempenho em cadeias de suprimentos.

Tal revisão mostra-se imprescindível em relação ao modelo que deverá ser proposto neste trabalho. A atividade de medição e de avaliação de desempenho pode facilitar uma ampla compreensão da SC, e o comportamento dos atores que a influenciam positivamente, além de melhorar o desempenho como um todo (CHEN; PAULRAJ, 2004).

A medição de desempenho no contexto de cadeias de suprimentos tem-se tornado extremamente importante. A razão para isso é evidente: As organizações estão procurando formas para melhorar seu desempenho operacional por meio de melhor integração das operações na cadeia de valor. A habilidade para medir e avaliar o desempenho das operações pode ser vista como uma necessidade para as empresas, que gastam enormes recursos ao longo dos anos para desenvolver sistemas de medição de desempenho (SMD) com tal fim (KUENG, 2000).

Para Kueng, Wettstein e List (2001), o principal benefício de um sistema de medição de desempenho para cadeias de suprimentos é fornecer um quadro compreensível e atual de informações sobre o desempenho de um negócio. Outra contribuição, segundo estes autores, é possibilitar um diagnóstico das fraquezas do negócio e decidir quando e onde ações corretivas se tornam necessárias, a fim de avaliar o impacto dessas ações sobre o desempenho do todo.

Dado que este trabalho adotou o modelo SCOR como arquitetura de referência para o desenvolvimento do modelo de simulação, a próxima seção procura detalhar de maneira breve tal modelo.

2.4.1 O Modelo SCOR

O *Supply Chain Council* (SCC) é uma organização sem fins lucrativos, com sede atual em *Washington*, que se dedica exclusivamente ao desenvolvimento das melhores práticas na gestão de cadeias de suprimentos. Tal entidade tem-se estabelecido por todo o mundo por meio da criação e divulgação do SCOR®, um modelo de referência de processos de negócios para a gestão de cadeia de suprimentos.

O SCOR possibilita às empresas determinar e comparar rapidamente o desempenho da cadeia de suprimentos como um todo. A grande vantagem dessa ferramenta é criar uma linguagem comum e padronizada entre os demais agentes que compõem uma determinada cadeia de suprimentos.

O modelo fornece um *framework* que se propõe a apoiar todos os aspectos envolvidos no desempenho dos agentes que compõem uma cadeia de suprimentos. Por meio de tal arquitetura, é possível mapear as conexões entre os processos interorganizacionais de cada empresa de uma *supply chain*. Tal identificação baseia-se em cinco componentes principais, como pode ser observado na Figura 2.7.

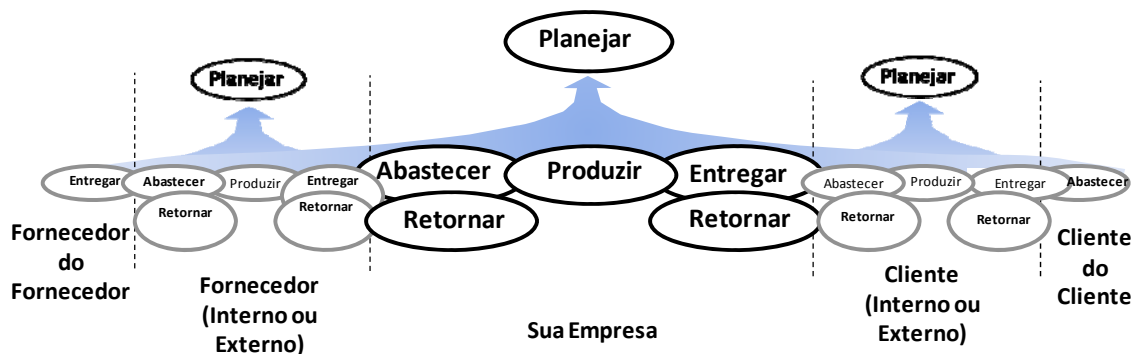


Figura 2.7 Processos-chave do SCOR

Fonte: *Supply Chain Council* (SCC, 2009).

O processo **Planejamento** (*Plan*) destina-se a compatibilizar as demandas com os recursos e materiais disponíveis, elaborando planos de suprimento, produção e distribuição. Neste processo, são definidas as melhores soluções para as áreas de estoques, compras, produção, distribuição e retornos, compatibilizando tais aspectos com os planos financeiros e de *marketing* da organização. São definidos ainda os indicadores de desempenho da SC e as normas e regulamentos legais que devem ser atendidos (SCC, 2009).

O processo **Abastecimento** (*Source*) está relacionado à identificação e à definição de fontes para a obtenção dos materiais necessários para a execução dos planos de produção.

Compreende atividades que objetivam programar os estoques e as entregas de produtos e serviços necessários para satisfazer às demandas planejadas e reais da empresa. Ele é responsável também por monitorar as fontes de suprimento por meio de indicadores de desempenho e da gestão de contratos (SCC, 2009).

O processo **Produção** (*Make*) está relacionado à atividade de transformação e montagem para produzir, pela utilização de recursos, os bens e serviços demandados pelos planos de produção. Compreende as atividades de programar e abastecer a produção, converter matérias-primas e componentes, inspecionando-os e embalando-os de forma que satisfaçam aos clientes da empresa (SCC, 2009).

O processo **Entrega** (*Deliver*) responsabiliza-se pela entrega de produtos para atendimento das demandas. Compreende as atividades relacionadas à gestão dos pedidos dos clientes, à logística de armazenagem, à separação, ao faturamento, à expedição e à distribuição de produtos acabados, inclusive a gestão de estoques de sobressalentes durante o ciclo de vida dos produtos vendidos (SCC, 2009).

O processo **Retorno** (*Return*) está associado à devolução e ao retorno de materiais e produtos que não atendam às especificações. Compreende as atividades ligadas à logística reversa de produtos vendidos aos clientes, incluindo também os retornos de materiais de uso nos processos internos da empresa que, por problemas de qualidade, por exemplo, têm de ser devolvidos aos fornecedores (SCC, 2009).

O SCOR é uma ferramenta que propõe a análise de uma *supply chain* a partir de três perspectivas: processo, métricas e melhores práticas. Cada perspectiva do SCOR analisa uma *supply chain* baseada numa estrutura *top-down*, por meio da qual é possível desdobrar em níveis e subníveis de análise. Nesse sentido, um nível macro direciona, de maneira coerente, os demais níveis da estrutura. A ideia central desta visão hierárquica de processos é relacionar cada operação de processo com as respectivas métricas de desempenho (SCC, 2009).

A Figura 2.8 ilustra os níveis de análise propostos pelo SCOR.

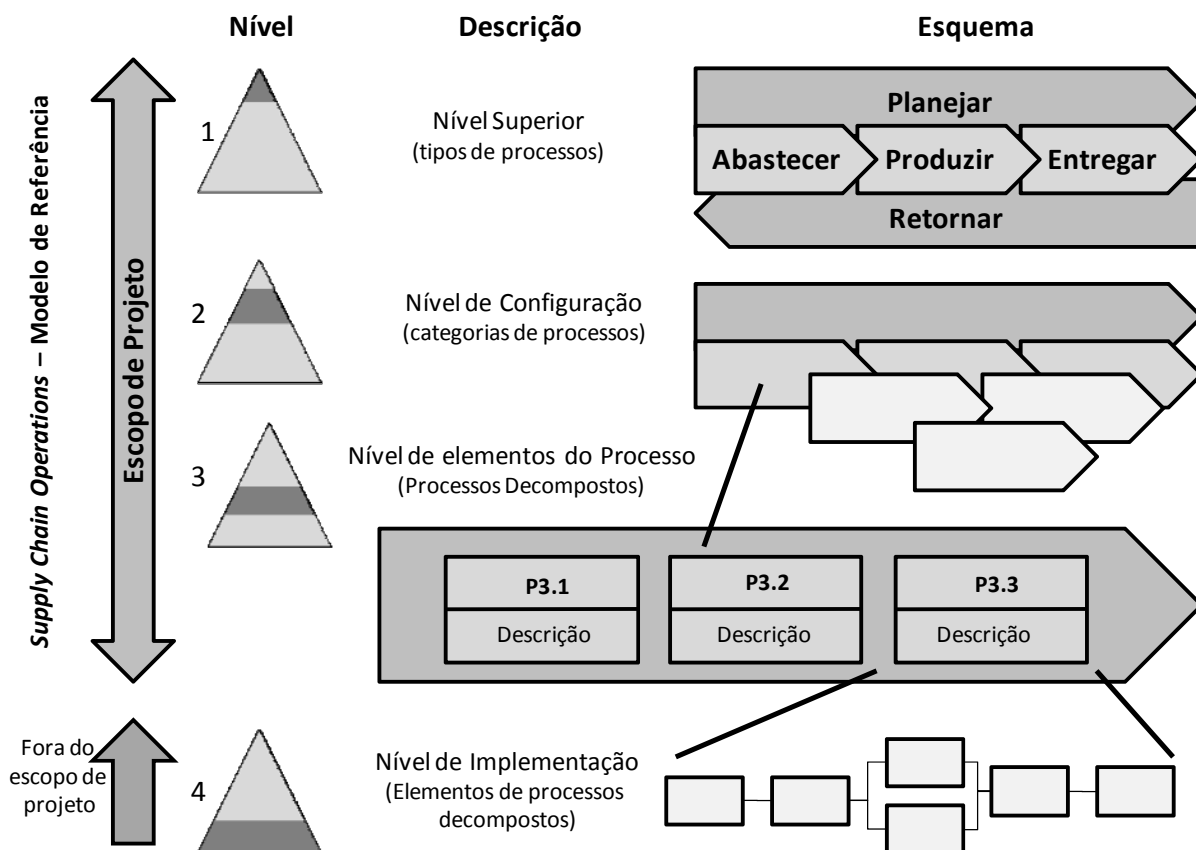


Figura 2.8 Estrutura do SCOR: definição de níveis

Fonte: Proposto a partir de *Supply Chain Council* (2006).

No **nível 1**, as métricas são primárias, e o desempenho em relação à concorrência é medido nos múltiplos processos do SCOR (processos de planejamento, abastecimento, produção, entrega e retorno).

Por meio das métricas de desempenhos deste nível, define-se o conteúdo e o âmbito de atuação do SCOR, e é estabelecido o desempenho a ser atingido em relação à competição. A Figura 2.9 ilustra a aplicação do nível 1 do SCOR.

		Performance Versus Competidores					
Métricas Overview		SCOR Nível 1 Métricas	Atual	Paridade	Vantagem	Superior	Valor da Melhoria
EXTERNA	Confiabilidade Supply Chain	Performance das Entregas nas datas compromissadas	50%	85%	90%	95%	
		Taxa de Fornecimento	63%	94%	96%	98%	
		Fornecimento Perfeito das Ordens	0%	80%	85%	90%	\$30M de Receita
	Tempo Resposta	Leadtimes de Atendimento das Ordens	35 dias	7 dias	5 dias	3 dias	\$30M de Receita
	Flexibilidade	Tempo de Resposta do SCM	97 dias	82 dias	55 dias	13 dias	Habilitador chave para custos e melhoria dos ativos
Flexibilidade da Produção		45 dias	30 dias	25 dias	20 dias		
INTERNA	Custos	Gerenciamento dos custos totais do SCM	19%	13%	8%	3%	\$30M Custos Indiretos
		Custos de Garantia	NA	NA	NA	NA	NA
		Value Added Employee Productivity	NA	\$156K	\$306K	\$460K	NA
	Ativos	Dias de suprimento em estoque	119 dias	55 dias	38 dias	22 dias	NA
		Cash-to-Cash Cycle Time	196 dias	80 dias	46 dias	28 dias	\$7 M Retorno de Capital
		Giro Líquido dos Ativos	2.2 ciclos	8 ciclos	12 ciclos	19 ciclos	NA

Figura 2.9 *Supply Chain Scorecard* da empresa *Alpha Company*
Fonte: Supply Chain Council (2001).

O **nível 2 (configuração)** define as categorias de processos que podem ser componentes de uma SC. A empresa pode ser configurada tanto “sob encomenda”, quanto “por estoque”, com base em diferentes categorias de processos (PIRES, 2004). O modelo permite configurar tanto uma SC em sua situação atual, como em sua situação futura (projetada), conforme pode ser observado na Figura 2.10.

Por este nível, é possível configurar as operações das organizações usando estes processos, para descobrir ineficiências e nivelar o canal, podendo analisar e avaliar o impacto de um potencial aperfeiçoamento.

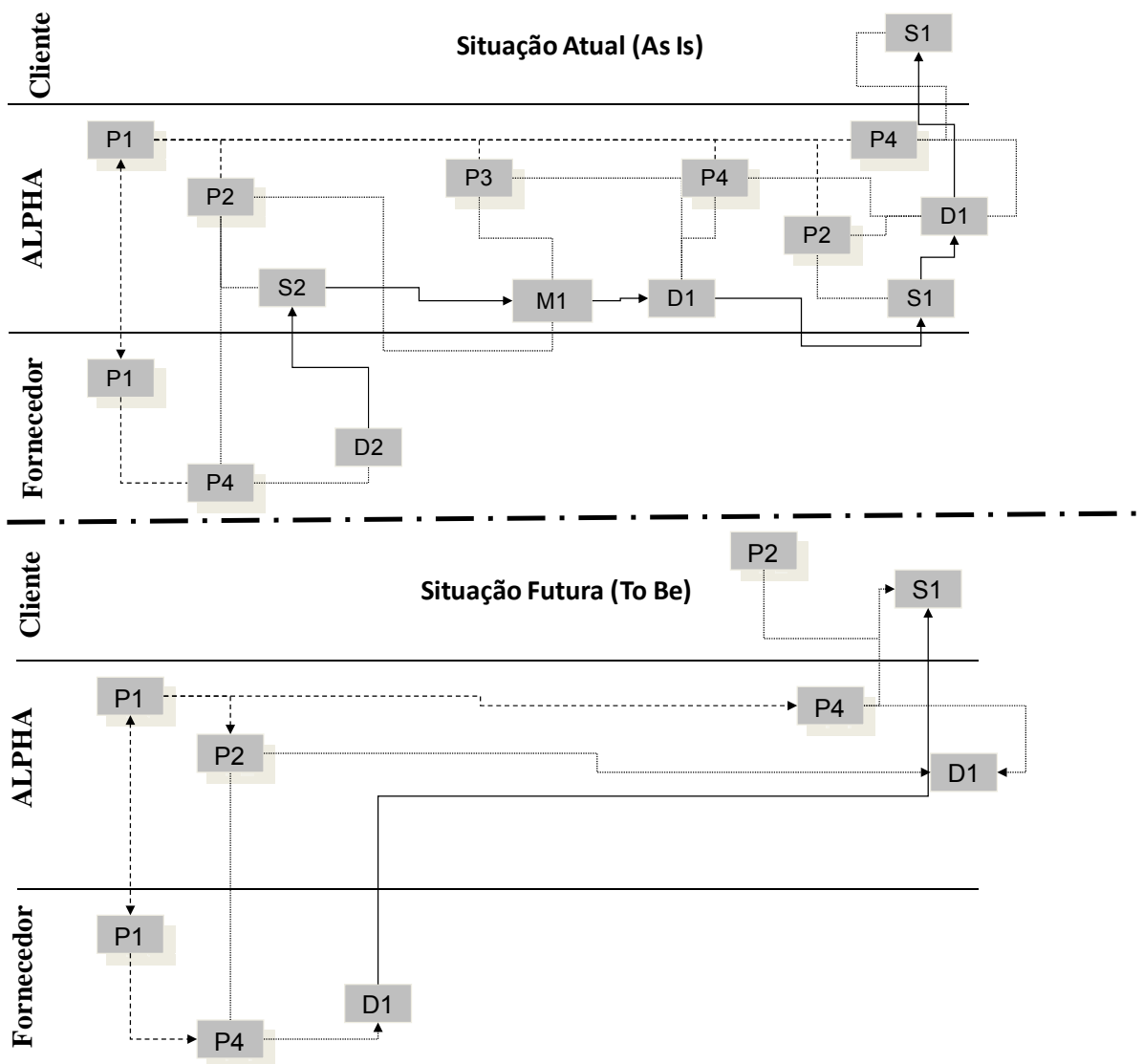


Figura 2.10 Categoria de processos do SCOR: Situação atual e Futura da *Alpha Company*
 Fonte: *Supply Chain Council* (2001).

No **nível 3**, são identificados os elementos dos processos configurados no **nível 2**, e são estabelecidas medidas de desempenho para acompanhamento das tarefas efetuadas durante a execução de cada processo. Assim como no nível 2, o modelo permite mapear tanto a SC em sua situação atual, como em sua situação futura (projetada), conforme pode ser observado na Figura 2.11, porém com um nível maior de detalhamento.

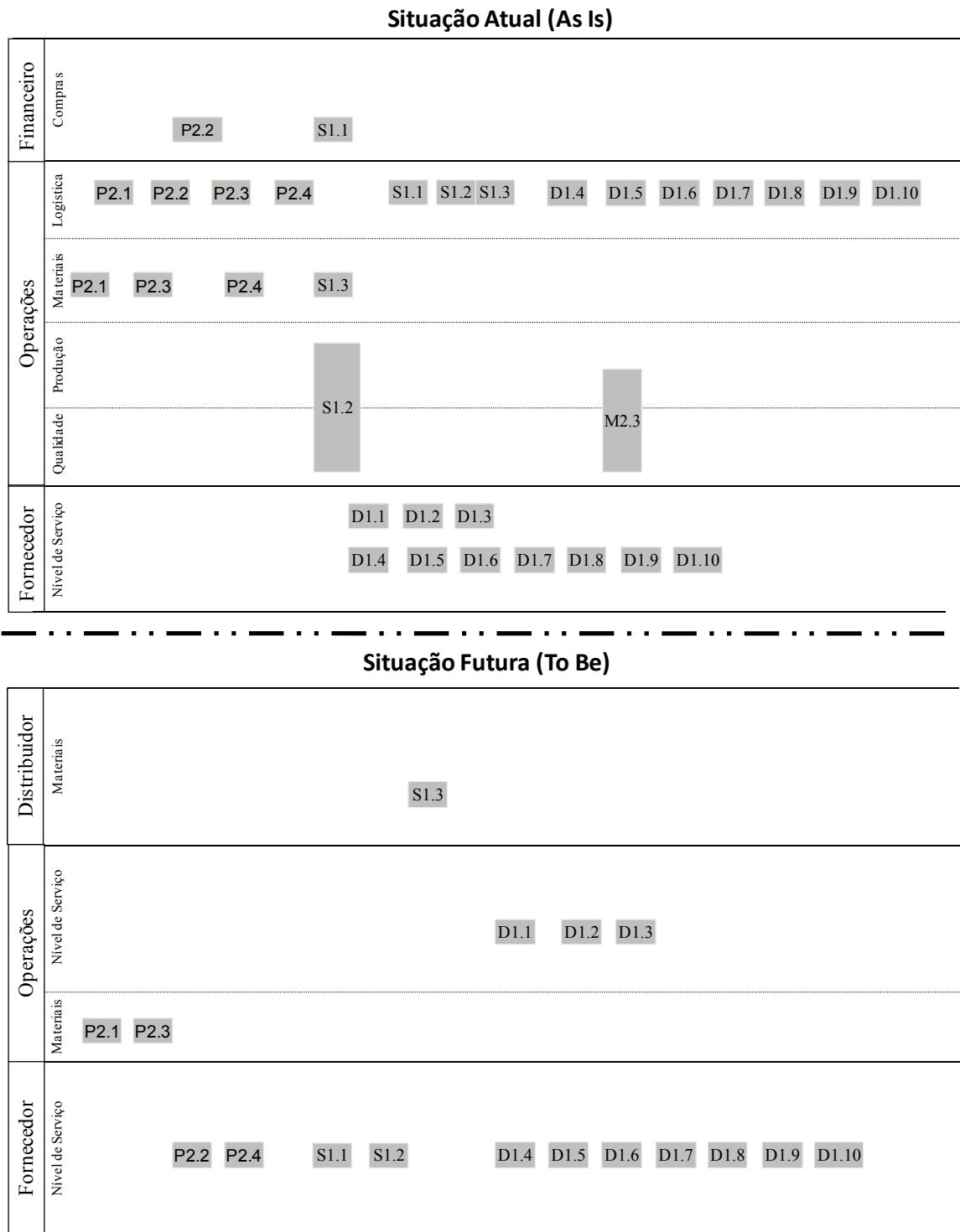


Figura 2.11 Desdobramento dos processos: Situação atual e Futura da *Alpha Company*
Fonte: *Supply Chain Council* (2001).

A utilização estruturada destas métricas possibilita avaliar o impacto dos processos integrantes das categorias *plan*, *source*, *make*, *deliver* e *return*, nos principais fatores de competitividade de cadeias de suprimentos, possibilitando a identificação de alternativas para melhoria de desempenho.

Este trabalho baseia-se prioritariamente nesta premissa, ou seja, identificar as relações de causa e efeito entre os indicadores dos processos de diferentes níveis do SCOR.

O **nível 4 (implementação)** é definido para atingir vantagem competitiva e adaptar as condições de mudanças do negócio, focando no aperfeiçoamento das ações. É neste nível que são decompostos os elementos dos processos. Como as mudanças são únicas para cada companhia, os elementos específicos deste nível não estão definidos dentro de um modelo-padrão, devendo ser adaptado às especificidades de cada organização. A Figura 2.12 ilustra o nível 4 do SCOR para uma determinada situação atual de um dado processo.

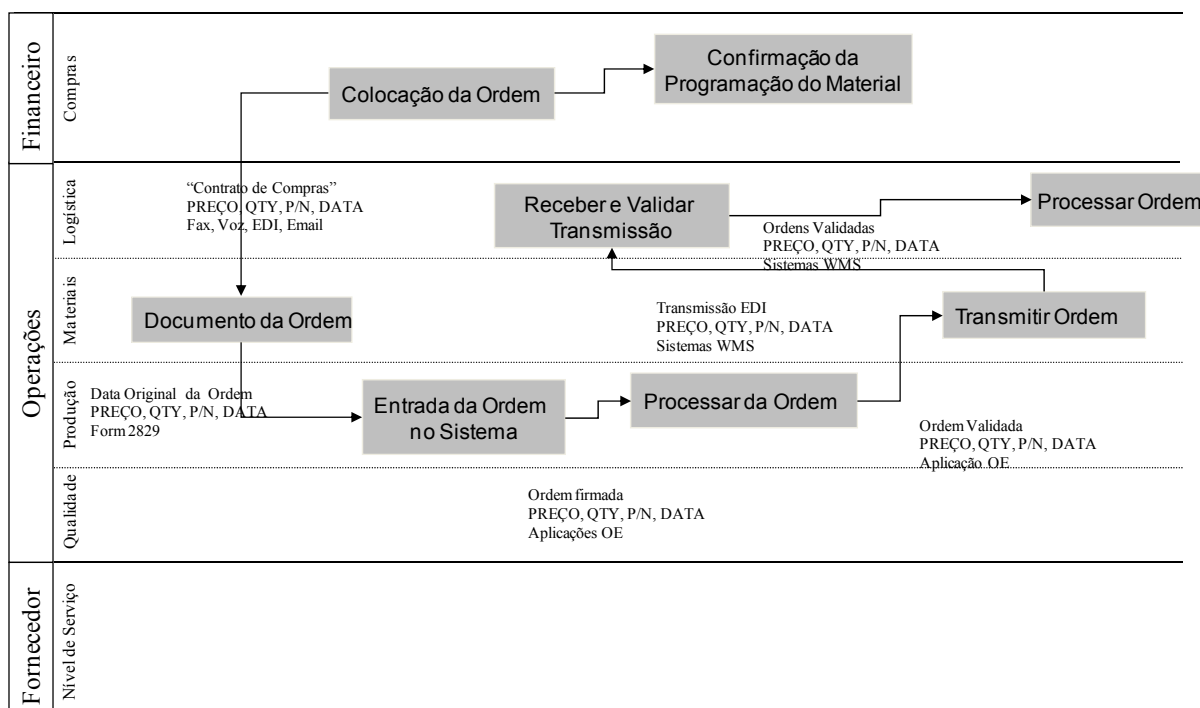


Figura 2.12 Decomposição dos elementos dos processos: Situação atual da *Alpha Company*
Fonte: Traduzido pelo autor a partir de *Supply Chain Council* (2001).

Pode-se considerar que uma contribuição relevante do SCOR são os cinco processos de negócio que servem de parâmetro para a identificação e aplicação das medidas de desempenho. Analisando os processos de negócio, percebe-se que eles atravessam os níveis estratégico, tático e operacional.

Segundo Gunasekaram et al. (2001), um sistema de medição de desempenho para uma SCM necessita estar inserido nos três níveis organizacionais para garantir que todos os aspectos pertinentes ao desempenho sejam medidos.

Os processos **Planejar**, **Abastecer**, **Produzir**, **Entregar** e **Retornar**, portanto, são considerados processos intraorganizacionais críticos dentro de uma cadeia de suprimentos, com cinco critérios de medição de desempenho em cadeias de suprimentos (BOLSTORFF; ROSENBAUM, 2003, GRIFO DO AUTOR):

- **confiabilidade de entrega de uma cadeia de suprimentos** (*supply chain delivery reliability*): significa o desempenho de uma cadeia de suprimentos na entrega, ou seja, o produto correto, no lugar correto, na quantidade correta, no tempo correto, na integridade correta (qualidade do produto e embalagem), com a documentação correta e o cliente certo;
- **responsividade de uma cadeia de suprimentos** (*supply chain responsiveness*): está relacionada à velocidade, com que uma cadeia de suprimentos fornece os produtos aos clientes;
- **flexibilidade de uma cadeia de suprimentos** (*supply chain flexibility*): significa a agilidade de uma cadeia de suprimentos em responder às mudanças de mercado para ganhar ou manter uma vantagem competitiva;
- **custos de uma cadeia de suprimentos** (*supply chain cost*): Contempla todos os custos relacionados a operação de uma SC;
- **eficiência no gerenciamento de ativos de uma cadeia de suprimentos** (*supply chain asset management efficiency*): está relacionada à eficiência de uma organização no gerenciamento dos próprios recursos para atender à demanda. Inclui a gestão de todos os recursos: fixos e capital operacional (*working capital*).

Os três primeiros critérios estão relacionados diretamente a medidas de desempenho de eficácia e com foco nos clientes externos, enquanto os outros dois estão relacionados a medidas de desempenho de eficiência interna da empresa (BOLSTORFF; ROSENBAUM, 2003). As medidas voltadas aos clientes denotam o quão bem uma *supply chain* fornece os produtos e serviços aos clientes. Já as medidas com foco interno denotam o quão eficiente uma cadeia de suprimentos está operando.

Desta maneira, o SCOR procura fornecer uma indicação, de modo efetivo, de como uma empresa utiliza os próprios recursos na criação de valor ao cliente.

O SCOR trata ainda dos critérios de medição relativos aos acionistas, os quais estão agrupados em três categorias:

- lucratividade;
- retorno sobre investimento;
- *share*.

Os critérios de medição e os indicadores de medição de desempenho, por meio dos membros de uma *supply chain*, fornecem um *framework* geral para o desenvolvimento de um

constructo e os instrumentos correspondentes à medição do desempenho de uma cadeia de suprimentos como um todo (STEPHENS, 2000).

Para cada critério competitivo, são estabelecidos indicadores de desempenho, como pode ser observado no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 Amostra de medidas de desempenho do SCOR vs. Critérios de Medição SC

Processos da Supply Chain	Critério de Medição	Medidas de Desempenho
Foco no Cliente	Confiabilidade	<i>Delivery Performance</i>
		<i>Fill Rate</i>
	Responsividade	<i>Perfect Order Fulfillment</i>
		<i>Order Fulfillment Lead Time</i>
Flexibilidade	<i>Supply Chain Response Time</i>	
	<i>Production Flexibility</i>	
Foco Interno	Custo	<i>Cost of Goods Sold</i>
		<i>Value-Added Productivity</i>
	Ativos	<i>Warrant Cost or Returns Processing</i>
		<i>Total Supply Chain Management Cost</i>
		<i>Cash to Cash Cycle Time</i>
		<i>Inventory Days of Supply</i>
		<i>Asset Turns</i>

Fonte: SCC (2009).

Assim como os demais níveis do SCOR são desdobrados em categorias de processos, atividades e tarefas, as medidas de desempenho também o são. Nesse sentido, para cada métrica estabelecida no nível 1, de acordo com os critérios de medição, existe uma hierarquia de indicadores inter-relacionados.

O desdobramento de tais medidas, por meio de relações de causa e efeito, torna possível analisar o desempenho de uma cadeia de suprimentos por várias óticas, desde uma visão mais operacional até uma perspectiva mais estratégica.

Tome-se o exemplo da medida “retorno sobre investimento” (ROI). Um possível direcionador dessa métrica poderia ser “vendas obtidas por retenção de clientes”. Desta maneira, um indicador crítico poderia ser a “lealdade dos clientes”.

Mas fica a pergunta: Como uma organização pode aumentar a “lealdade dos clientes”? Uma análise das preferências dos clientes poderia revelar que “entregas dos pedidos no prazo” (*On Time Delivery – OTD*) são altamente valorizadas pelos clientes. Assim, a alavancagem do indicador OTD poderia resultar em índices mais altos de lealdade do cliente, o que, por sua vez, resultaria num aumento de vendas e em conseqüente incremento financeiro.

Até o presente momento, nenhuma novidade no conceito de hierarquização de indicadores, ou o estabelecimento de relações de causa e efeito houve. O próprio *Balanced Score Card* (BSC) mostra-se muito efetivo nestas condições.

No entanto, como seria possível mensurar essas relações de causa e efeito entre medidas de desempenho, a fim de gerar *inputs* para o processo de tomada de decisão?

Para este fim, a Lógica *Fuzzy* (LF), ou mais especificamente, Sistemas Baseados em Regras *Fuzzy* (SBRF), podem tornar-se uma ferramenta de simulação essencial para modelar o comportamento das métricas de desempenho, criando uma estrutura hierárquica de tais medidas, a fim de fornecer um quadro claro do desempenho de cadeias de suprimentos. O capítulo 3 trata especificamente da lógica *fuzzy* e do desenvolvimento de SBRF.

2.4.2 Taxonomia das medidas de desempenho em cadeias de suprimentos

Como observa Neely, Gregory e Platts (1995), os sistemas de medição de desempenho podem ser analisados em três níveis: (i) nível de métricas individuais; (ii) nível de conjunto de medidas, ou sistema de medição de desempenho como uma entidade, e (iii) relacionamento entre sistema de medição de desempenho e ambiente interno e externo em que opera.

Analisando o Quadro 2.4, pode-se perceber as considerações-chave a respeito de cada nível:

Quadro 2.4 Considerações-chave para se analisarem os sistemas de medição de desempenho

Nível (1; 2 ou 3)	Considerações
Medidas de desempenho individuais	Quais medidas de desempenho são utilizadas? Elas são usadas para qual propósito? Quanto elas custam? Quais os benefícios que elas fornecem?
Sistema de medição de desempenho	Qual o alcance (interno, externo, financeiro, não financeiro) do sistema? As medidas representam as melhorias realizadas? Elas reportam aos compromissos de curto e longo prazo do negócio? As medidas são integradas, tanto vertical quanto horizontalmente? Existem possíveis <i>trade-offs</i> entre as medidas?
Relacionamento entre ambiente externo e interno	As medidas reforçam a estratégia da empresa? Elas são consistentes com o reconhecimento e a estrutura de recompensa? As medidas focam a satisfação do cliente? As medidas focam o que a competição está desempenhando?

Fonte: Traduzido pelo autor a partir de Neely, Gregory e Platts (1995).

Observando o quadro anterior, poder-se-ia perfeitamente extrapolar para o contexto de cadeia de suprimentos. Questões dessa natureza poderiam ser formuladas (Quadro 2.5):

Quadro 2.5 Considerações-chave para se analisarem os sistemas de medição de desempenho em cadeias de suprimentos

Considerações
- <i>Elas representam os processos interfuncionais, intrafuncionais ou interorganizacionais?</i>
- <i>As medidas representam os níveis estratégico, tático ou operacional?</i>
- <i>As medidas são qualitativas ou quantitativas? Financeiras ou não financeiras?</i>
- <i>Quais medidas representam as relações entre tais processos? Existem relações de conflitos entre essas medidas?</i>
- <i>Pode-se falar em um sistema integrado de medidas?</i>
- <i>Quais medidas avaliam a reponsividade da empresa-foco situada na cadeia de suprimentos?</i>
- <i>Quais medidas avaliam a flexibilidade da empresa-foco situada na cadeia de suprimentos?</i>
- <i>Quais medidas avaliam o custo total da cadeia de suprimentos?</i>
- <i>Quais medidas avaliam a gestão de recursos da empresa-foco situada na cadeia de suprimentos?</i>

Fonte: Proposto pelo autor.

Talvez, não de maneira surpreendente, os críticos de sistemas de medição de desempenho para SC espelharam-se nas mesmas considerações ou até mesmo nas falhas dos sistemas de medição recorrentes na literatura sobre gestão de desempenho (NEELY; GREGORY; PLATTS (1995). Elas incluem:

- falta de conexão com a estratégia (BEAMON, 1999; CHAN; Qi, 2003; GUNASEKARAM et AL., 2004);
- foco no custo em detrimento de medidas não relacionadas a custo (BEAMON, 1999; DE TONI; TONCHIA, 2001);
- falta de uma abordagem balanceada (BEAMON, 1999; CHAN, 2003);
- foco insuficiente em clientes e competidores (BEAMON, 1999);
- perda do contexto da *Supply Chain*, encorajando a otimização local (BEAMON, 1999);
- falta de pensamento sistêmico (CHAN; QI, 2003; HOLMBERG, 2000).

Lambert e Pohlen (2001) observam ainda que um dos principais problemas das métricas da *supply chain* é que elas são inapropriadas, dado que focam apenas medidas de desempenho logísticos e não captam o desempenho da SC como um todo.

Para Lapide (2000), as empresas geralmente falham na ordenação dos tipos de medidas e no grau com que elas necessitarão ser focadas, em função da limitada compreensão do estágio evolutivo dessas na SC. Para o autor, existem três classes de integração de processos:

- **integração funcional (*functional excellence*):** o estágio em que a companhia necessita desenvolver excelência dentro de cada unidade de operação, como, por exemplo, manufatura, serviço ao cliente ou departamento de logística. As métricas

para a companhia neste estágio focam somente medidas individuais ou funcionais dos departamentos;

- **integração de toda a empresa (*enterprise-wide integration*):** é o estágio em que a empresa necessita desenvolver excelência na integração interfuncional (nos processos de negócios), tendo como pré-requisito a integração funcional. As métricas nesse estágio deverão focar o desempenho dos processos de negócios;
- **integração estendida da empresa (*extended enterprise integration*):** é o estágio em que a companhia necessita desenvolver excelência nos processos interorganizacionais. As métricas neste estágio deverão focar os processos externos entre as empresas.

Lapide (2000) aponta algumas diretrizes para o projeto de sistemas de medição de desempenho para a SCs:

- a) **não foque somente medidas funcionais:** o maior problema encontrado na maioria dos sistemas de medição de desempenho é que eles têm enfoque funcional. Dentro desses sistemas, as medidas de cada área funcional e as metas estão alinhadas somente aos objetivos daquela área funcional, em detrimento dos objetivos de outras áreas funcionais. Quando isso ocorre, ou seja, cada área funcional foca somente as próprias medidas, isoladas do restante da organização, o resultado é o conflito e a formação de ilhas ou silos funcionais;
- b) **inclua medidas focadas em processos interfuncionais para melhorar o desempenho da organização como um todo:** para integrar suas SCs, as empresas estão tentando quebrar os silos funcionais, organizando-se em função dos próprios processos de negócios. Dentre esses processos, podem ser citados: processamento de pedidos, desenvolvimento de novos produtos, tempo de ciclo total, etc. As empresas necessitam propor medidas de desempenho para os processos e não somente para as áreas funcionais, a fim de se avaliar o desempenho dos processos ao longo da SC;
- c) **inclua medidas interorganizacionais para melhorar o desempenho da cadeia como um todo:** a abordagem de processos de negócios é utilizada para expressar a integração tanto de processos intraorganizacionais quanto processos interorganizacionais. No entanto, é difícil para uma organização controlar o desempenho da SC como um todo. Tal desempenho vai depender do quão integrados estão os parceiros que formam essa cadeia de valor, desde um ponto de origem até um ponto de consumo, tendo sempre o cliente final como foco de desempenho. Com o

propósito de melhorar o desempenho da cadeia, muitas empresas têm implantado práticas e métricas associadas às mesmas, objetivando diminuir a dissonância entre as necessidades dos clientes e a própria capacidade de resposta ou antecipação da cadeia. Dentre essas práticas, podem ser citados alguns programas colaborativos, como VMI (*Vendor Managed Inventory*); CPFR (*Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment*), etc. Como muitas empresas estão implantando essas práticas, elas estão voltando grande atenção para esses processos interorganizacionais, que extrapolam as fronteiras tradicionais das mesmas. Essas iniciativas fazem com que as empresas necessitem implementar sistemas de medição de desempenho que incluam esse rol de medidas externas (ligadas a esses processos interorganizacionais), e que, muitas vezes, podem fugir da esfera de controle dessa organização;

- d) **escolha um número limitado de métricas:** o maior desafio para muitas companhias, quando estão desenvolvendo um sistema de medição de desempenho para a SC, é limitar o número de métricas. Essas empresas estão envolvidas em operações de negócio complexas que envolvem múltiplos negócios por meio de várias divisões e fronteiras geográficas, abarcando ainda uma série de subprocessos, tarefas e departamentos organizacionais. A tendência é querer medir tudo. No entanto, essa é uma visão míope. O número de métricas precisa ser limitado para assegurar que o processo não seja tão problemático para se administrar. Uma estratégia comum em consultorias é que os clientes limitem o número de métricas de 3 a 5 em cada área, para assegurar que o processo de medição de desempenho seja passível de ser gerenciado. Segundo o autor, o número de medidas totais não deveria ser superior a vinte;
- e) **as medidas devem ser alinhadas aos objetivos estratégicos:** as medidas devem ser alinhadas aos objetivos de desempenho da SC. Para estabelecer um número racional de medidas, é necessário iniciar com uma compreensão dos objetivos estratégicos da SC pela equipe de executivos. Por exemplo, qual o grau que a empresa almeja em relação ao desempenho funcional da corporação ou da cadeia como um todo? Uma vez compreendido isso, um grupo de medidas que estejam alinhadas a esses objetivos estratégicos deve ser desenvolvido. Devem ser estabelecidas relações de causa e efeito entre as medidas, a fim de que os gestores compreendam quando um processo particular está afetando o desempenho do sistema e precisa ser melhorado. As medidas estratégicas devem ser desdobradas do nível estratégico para os demais níveis da

empresa-foco, assim como do nível de integração interorganizacional para o nível intraorganizacional e interfuncional, respectivamente. O alinhamento entre estas medidas é vital para se compreender o desempenho da SC como um todo;

- f) **estabeleça *targets* para as medidas selecionadas**: utilize uma combinação de dados históricos; *Benchmarking* externo; *Benchmarking* interno e metas teóricas.

Como já mencionado, uma grande dificuldade no processo de avaliação de desempenho de cadeias de suprimentos é a escolha entre a grande quantidade e a diversidade de critérios de desempenho.

Segundo Shepherd e Gunter (2006), houve realmente poucas tentativas para sistematizar e ordenar medidas para avaliação de desempenho de SCs.

Ainda não há um consenso sobre a melhor maneira de realizar essa sistematização e ordenação. O Quadro 2.6 permite uma visualização das possíveis classificações entre tais medidas de desempenho e sistemas de medição de desempenho para cadeias de suprimentos.

Quadro 2.6 Classificação das medidas de desempenho em cadeias de suprimentos

Características	Referências
Qualitativas ou quantitativas	Beamon (1999) Chan (2003)
Financeiras ou não financeiras	Gunasekaran (2001) De Toni e Tonchia (2001)
Qualidade, custo, entregas e flexibilidade	Schonsleben (2004)
Custo, qualidade, utilização de recursos, flexibilidade, visibilidade, confiança e inovação	Chan (2003)
Recursos, saídas ou flexibilidade	Beamon (1999)
Entradas, saídas e medidas compostas	Chan e Qi (2003)
Eficiência na colaboração na cadeia de suprimentos;	Hieber (2002)
eficiência na coordenação e configuração	Angerhofer e Angelides (2006)
Foco estratégico, tático ou operacional	Gunasekaran et al. (2001)
Enfoque sistêmico e balanceado; alinhamento estratégico entre empresas que compõem a cadeia	Holmberg (2000) Brewer e Speh (2000; 2001) Bullinger, Kuhner e Van Hoff (2002) Park e Lee (2005) Sharma e Bhagwat (2007)
Os processos da cadeia de suprimentos	Chan e Qi (2003) Chan et al. (2003) Huang, Sheoran e Wang (2004) Li et al. (2005) Lockami e McCormack (2004) Stephens (2001)
Medidas relacionadas à sustentabilidade	Hervani, Helms e Sarkis (2005) Zhu, Sarkis e Lai (2008)

Fonte: Proposto pelo autor.

Kueng (2000) cita duas importantes características para medidas de desempenho:

(1) uma medida de desempenho é basicamente multidimensional, daí a existência de muitos indicadores;

(2) não são independentes. Muitos indicadores de desempenho têm uma relação de influência sobre outros. Tais relacionamentos podem ser conflitantes ou complementares. Portanto, a independência seria uma exceção.

Cada processo de negócio de uma empresa envolve diferentes medidas de desempenho para sua gestão. A avaliação e o emprego de múltiplas medidas de desempenho têm sido encorajados por inúmeros trabalhos sobre de medição de desempenho. Todavia, quando um número de medidas é avaliado simultaneamente, observa-se que os gerentes não são capazes de distinguir quando um processo particular é influenciado por outro propriamente dito (GOLEÇ; TASKIN, 2007).

Importante se faz ressaltar que, no projeto de um sistema de avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos, é a seleção das medidas-chave que avaliam o desempenho da cadeia de suprimentos como um todo. No entanto, isso não é uma tarefa fácil, como pode ser percebido mediante a diversidade de medidas descritas no Quadro 2.5.

Um conceito interessante, que pode auxiliar este processo, é a hierarquização das métricas de desempenho, proposta por Chang e Morgan (2000), como pode ser observado na Figura 2.13.

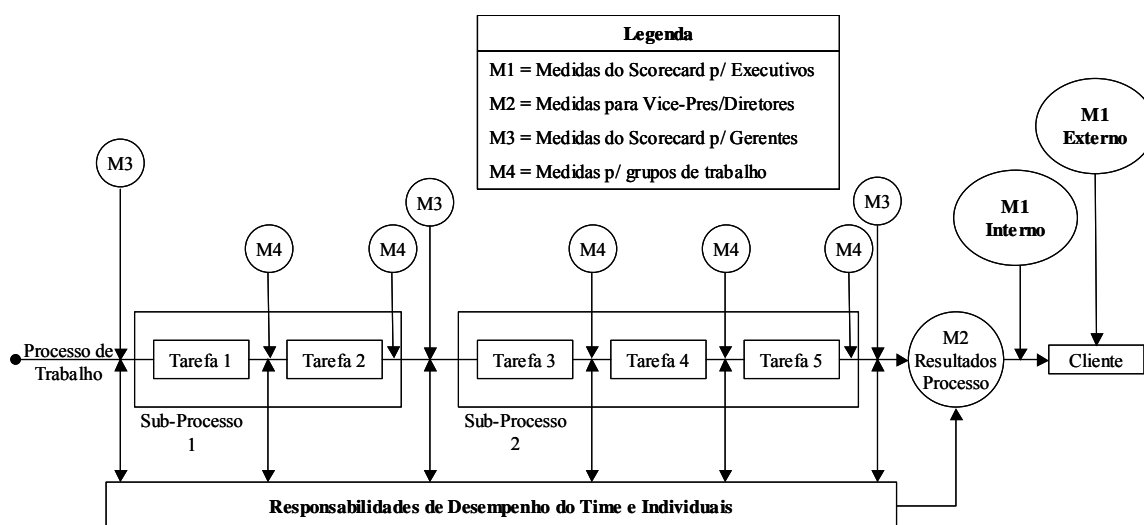


Figura 2.13 Ilustração das medidas variando conforme o nível organizacional
Fonte: Chang e Morgan (2000).

No modelo acima, as medidas designadas pelos autores como M1 são medidas mais abrangentes, que fornecem à gerência (corpo executivo da organização) um resumo da *performance* de várias áreas, categorias ou unidades de negócio. Um nível de gestão mais abaixo utiliza principalmente medidas M2, estas referentes a resultados de processos interfuncionais - os autores destacam que essas medidas são uma composição das medidas M3.

Por sua vez, as medidas M3 estão relacionadas à avaliação dos subprocessos e são tipicamente utilizadas por gerentes responsáveis por uma parte de processos maiores, e resultam da combinação de medidas M4. Da mesma forma, as medidas M4 são medidas relativas ao nível funcional e de tarefas. Podem existir, ainda, níveis mais detalhados de medidas, caso seja necessário e pertinente à organização.

Os autores sugerem um *scorecard* específico, independentemente do nível e abrangência das análises e decisões necessárias, que não deve conter métricas em excesso para que seja eficaz e realmente utilizado.

O conceito de hierarquização de métricas de desempenho é, inclusive, utilizado pelo modelo de referência SCOR e será uma das bases do modelo de avaliação de cadeia de suprimentos a ser desenvolvido.

A fim de explicitar de maneira mais prática as medidas de desempenho utilizadas em cadeias de suprimentos, serão relatadas, por meio de trabalhos contemporâneos, as possíveis classificações de métricas de desempenho. A nomenclatura das medidas permaneceu em inglês justamente para evitar possíveis distorções na tradução por parte deste autor.

Shepherd e Gunter (2006) classificam as medidas de desempenho de acordo com os Quadros 2.7; 2.8; 2.9; 2.10 e 2.11, respectivamente.

Quadro 2.7 Medidas relacionadas ao Processo de Planejamento (*Plan*)

Medidas	Custo (C)	Quantitativa (QN)
	Tempo (T)	Qualitativa (QL)
	Qualidade (Q)	
	Flexibilidade (F)	
	Inovação (I)	
<i>Sales</i>	C	QN
<i>Profit</i>	C	QN
<i>Return on investment (ratio of net profits to total assets)</i>	C	QN
<i>Rate of return on investment</i>	C	QN
<i>Net profit vs productivity ratio</i>	C	QN
<i>Information carrying cost</i>	C	QN
<i>Variations against budget</i>	C	QN
<i>Total supply chain management costs</i>	C	QN
<i>Cost of goods sold</i>	C	QN
<i>Asset turns</i>	C	QN
<i>Value added productivity</i>	C	QN
<i>Overhead cost</i>	C	QN
<i>Intangible cost</i>	C	QN
<i>Incentive cost and subsidies</i>	C	QN
<i>Sensitivity to long-term costs</i>	C	QN
<i>Percentage sales of new product compared with whole sales for a period</i>	C	QN
<i>Expansion capability</i>	C	QN
<i>Capital tie-up costs</i>	C	QN
<i>Total supply chain response time</i>	T	QN
<i>Total supply chain cycle time</i>	T	QN
<i>Order lead time</i>	T	QN
<i>Order fulfilment lead time</i>	T	QN

Medidas	Custo (C)	Quantitativa (QN)
	Tempo (T)	Qualitativa (QL)
	Qualidade (Q)	
	Flexibilidade (F)	
	Inovação (I)	
<i>Customer response time</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Product development cycle time</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Total cash flow time</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Cash-to-cash cycle time</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Horizon of business relationship</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Percentage decrease in time to produce a product</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Fill rate (target fill rate achievement & average item fill rate)</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Order entry methods</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Accuracy of forecasting techniques</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Autonomy of planning</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Perceived effectiveness of departmental relations</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Order flexibility</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Perfect order fulfilment</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Mix flexibility</i>	<i>F</i>	<i>QN</i>
<i>New product flexibility</i>	<i>F</i>	<i>QN</i>
<i>Number of new products launched</i>	<i>I</i>	<i>QN</i>
<i>Use of new technology</i>	<i>I</i>	<i>QN</i>

Fonte: Shepherd e Gunter (2006).

Quadro 2.8 Medidas relacionadas a Abastecimento (Source)

Medidas	Custo (C)	Quantitativa (QN)
	Tempo (T)	Qualitativa (QL)
	Qualidade (Q)	
	Flexibilidade (F)	
	Inovação (I)	
<i>Supplier cost-saving initiatives</i>	<i>C</i>	<i>QN</i>
<i>Percentage of late or wrong supplier delivery</i>	<i>C</i>	<i>QN</i>
<i>Supplier lead time against industry norm</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Supplier's booking-in procedures</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Purchase order cycle time</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Efficiency of purchase order cycle time</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Buyer-supplier partnership level</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Level of supplier's defect-free deliveries</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Supplier rejection rate</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Mutual trust</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Satisfaction with knowledge transfer</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Satisfaction with supplier relationship</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Supplier assistance in solving problems technical</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Extent of mutual planning cooperation leading to improved quality</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Extent of mutual assistance leading in problem-solving efforts</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Distribution of decision competences between supplier and customer</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Quality and frequency of exchange of logistics information between supplier and customer</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Quality of perspective taking in supply network</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Information accuracy</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Information timeliness</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Information availability</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Supplier ability to respond to quality problems</i>	<i>F</i>	<i>QL</i>

Fonte: Shepherd e Gunter (2006).

Quadro 2.9 Medidas relacionadas à Produção (*Make*)

Medidas	Custo (C)	Quantitativa (QN)
	Tempo (T)	Qualitativa (QL)
	Qualidade (Q)	
	Flexibilidade (F)	
	Inovação (I)	
<i>Total cost of resources</i>	C	QN
<i>Manufacturing cost</i>	C	QN
<i>Inventory investment</i>	C	QN
<i>Inventory obsolescence</i>	C	QN
<i>Work in process</i>		QN
<i>Cost per operation hour</i>	C	QN
<i>Capacity utilization as incoming stock level, work-in-progress, scrap level, finished goods in transit</i>	C	QN
<i>Inventory cost</i>	C	QN
<i>Inventory turnover ratio</i>	C	QN
<i>Inventory flow rate</i>	C	QN
<i>Inventory days of supply</i>	C	QN
<i>Economic order quantity</i>	C	QN
<i>Effectiveness of master production schedule</i>	C	QN
<i>Number of items produced</i>	C	QN
<i>Warehouse costs</i>	C	QN
<i>Stock capacity Inventory utilization</i>	C	QN
<i>Stockout probability</i>	C	QN
<i>Number of backorders</i>	C	QN
<i>Number of stockouts</i>	C	QN
<i>Average backorder level</i>	C	QN
<i>Percentage of excess/lack of resource within a period</i>	C	QN
<i>Storage costs per unit of volume</i>	C	QN
<i>Disposal costs</i>	C	QN
<i>Planned process cycle time</i>	T	QN
<i>Manufacturing lead time</i>	T	QN
<i>Time required to produce a particular item or set of item</i>	T	QN
<i>Time required to produce new product mix</i>	T	QN
<i>Inventory accuracy</i>	Q	QN
<i>Inventory range</i>	F	QN
<i>Percentage of wrong products manufactured</i>	Q	QN
<i>Production flexibility</i>	F	QN
<i>Capacity flexibility</i>	F	QN
<i>Volume flexibility</i>	F	QN
<i>Number of tasks worker can perform</i>	F	QN

Fonte: Shepherd e Gunter (2006).

Quadro 2.10 Medidas relacionadas à Distribuição (*Deliver*)

Medidas	Custo (C)	Quantitativa (QN)
	Tempo (T)	Qualitativa (QL)
	Qualidade (Q)	
	Flexibilidade (F)	
	Inovação (I)	
<i>Total logistics costs</i>	C	QN
<i>Distribution costs</i>	C	QN
<i>Delivery costs</i>	C	QN
<i>Transport costs</i>	C	QN
<i>Transport costs per unit of volume</i>	C	QN
<i>Personnel costs per unit of volume moved</i>	C	QN
<i>Transport productivity</i>	C	QN
<i>Shipping errors</i>	C	QN
<i>Delivery efficiency</i>	C	QN

Medidas	Custo (C)	Quantitativa (QN)
	Tempo (T)	Qualitativa (QL)
	Qualidade (Q)	
	Flexibilidade (F)	
	Inovação (I)	
<i>Percentage accuracy of delivery</i>	<i>C</i>	<i>QN</i>
<i>Delivery lead time</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Frequency of delivery</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Product lateness</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Average lateness of orders</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Average earliness of orders</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Percent of on-time deliveries</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Delivery performance</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Delivery reliability</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Number of on-time deliveries</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Effectiveness of distribution planning schedule</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Effectiveness of delivery invoice methods</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Driver reliability for performance</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Quality of delivered goods</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Achievement of defect-free deliveries</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Quality of delivery documentation</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Delivery flexibility</i>	<i>F</i>	<i>QN</i>
<i>Responsiveness to urgent deliveries</i>	<i>F</i>	<i>QN</i>
<i>Transport flexibility</i>	<i>F</i>	<i>QN</i>

Fonte: Shepherd e Gunter (2006).

Quadro 2.11 Medidas relacionadas aos Retornos (*Return*)

Medidas	Custo (C)	Quantitativa (QN)
	Tempo (T)	Qualitativa (QL)
	Qualidade (Q)	
	Flexibilidade (F)	
	Inovação (I)	
<i>Warranty/returns processing costs</i>	<i>C</i>	<i>QN</i>
<i>Customer query time</i>	<i>T</i>	<i>QN</i>
<i>Customer satisfaction (or dissatisfaction)</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Level of customer perceived value of product</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Customer complaints</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Rate of complaint</i>	<i>Q</i>	<i>QN</i>
<i>Product quality</i>	<i>Q</i>	<i>QL</i>
<i>Flexibility of service systems to meet particular customer needs</i>	<i>F</i>	<i>QL</i>

Fonte: Shepherd e Gunter (2006).

Gunasekaran, Patel e Mcgaughey (2004), a fim de detalhar o entendimento de algumas métricas de desempenho em cadeias de suprimentos, propuseram uma revisão e classificação de medidas em função dos três níveis de decisão, como pode ser observado no Quadro 2.12.

Quadro 2.12 Medidas de desempenho para cadeias de suprimentos

Processos da SC	Estratégico	Tático	Operacional
Plan	<ul style="list-style-type: none"> - Level of customer perceived value of product; - Variances against budget; - Order lead time; - Information processing cost; - Net profit VS. productivity ratio; - Total cycle time; - Total cash flow time; - Product development cycle time 	<ul style="list-style-type: none"> - Customer query time; - Product development cycle time; - Accuracy of forecasting; - Planning process cycle time; - Order entry methods; - Human resource productivity 	<ul style="list-style-type: none"> - Order entry methods; - Human resource productivity
Source		<ul style="list-style-type: none"> - Supplier delivery performance; - Supplier lead-time against industry norm; - Supplier pricing against market; - Efficiency of purchase order cycle time; - Efficiency of cash-flow method; - Supplier booking in procedures 	<ul style="list-style-type: none"> - Efficiency of purchase order cycle time; - Supplier pricing against market
Make/ Assembly	<ul style="list-style-type: none"> - Range of products and services 	<ul style="list-style-type: none"> - Percentage of defects; - Cost per operation hour; - Capacity utilization; - Utilization of economic order quantity 	<ul style="list-style-type: none"> - Percentage of defects; - Cost per operation hour; - Human resource productivity index
Deliver	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibility of service systems to meet customer needs; - Effectiveness of enterprise distribution planning schedule 	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibility of service systems to meet customer needs; - Effectiveness of enterprise distribution planning schedule; - Effectiveness of delivery invoice methods; - Percentage of finished goods in transit; - Delivery reliability performance 	<ul style="list-style-type: none"> - Quality of delivery goods; - On time delivery of goods; - Effectiveness of delivery invoice methods; - Number of faultless delivery notes invoiced; - Percentage of urgent deliveries; - Information richness in carrying out delivery; - Delivery reliability performance

Fonte: Gunasekaran, Patel e Mcgaughey (2004).

A próxima seção procura compreender o tema “modelagem e simulação em cadeias de suprimentos” a fim de compor um cabedal de conhecimento necessário à proposição do modelo de simulação baseado em lógica *fuzzy* a que se propõe este trabalho.

2.5 MODELAGEM E SIMULAÇÃO EM *SUPPLY CHAINS*

A modelagem envolvendo otimização e simulação é amplamente utilizada no projeto e melhoria de cadeias de suprimentos (SHAPIRO, 2001).

Modelagem matemática é apontada por Wong e Wong (2008) como uma grande oportunidade para o desenvolvimento de ferramentas que possibilitem avaliar o *benchmarking* de cadeias de suprimentos. Segundo os autores, no passado, muitos pesquisadores preocuparam-se apenas a desenvolver *frameworks* teóricos sobre o processo de integração de medidas de desempenho voltadas às cadeias de suprimentos. Nesse sentido, modelos matemáticos podem fornecer uma estrutura mais clara na avaliação destes *frameworks*.

Como existem inúmeros métodos para analisar e avaliar cadeias de suprimentos, Harrel e Tumay (1994) classificam-nos segundo duas categorias:

1. métodos para avaliação de soluções;
2. métodos para geração de soluções.

A primeira categoria, como o próprio nome indica, avalia diferentes possibilidades de configurações para o projeto da rede de operações de uma SC, por meio de cenários “*o que aconteceria se...*”. A segunda categoria irá gerar a melhor configuração para um dado objetivo ou conjunto de objetivos. No primeiro grupo, encontram-se análises determinísticas baseadas em planilhas e simulação (baseada em eventos discretos ou sistemas dinâmicos). O segundo grupo inclui técnicas como os métodos de otimização clássicos (Programação inteira e dinâmica, etc.).

Banks et al. (2002) identificam três cenários para simulação de SCs:

1. controle de processos;
2. suporte a decisões;
3. planejamento proativo.

Alguns trabalhos (RODER; TIBKEN, 2006; VERMA, 2006; GOVINDU; CHINNAM, 2007; RABELO et al., 2007; TRKMAN et al., 2007) mencionam a aplicação de ferramentas de simulação no ambiente de SCs.

Govindu e Chinnam (2007), por exemplo, citam a utilização de sistemas multiagentes (SMA), inclusive com o uso do SCOR para a modelagem de cadeias de suprimentos.

Rabelo et al. (2007), também utilizando o SCOR como arquitetura de referência, propõem um modelo de simulação para SC utilizando uma abordagem híbrida entre *System*

Dynamics (SD) e AHP, para modelar as atividades de serviços e manufatura de uma SC global.

Roder e Tibken (2006), também valendo-se do SCOR como modelo de referência de processos, propõem uma abordagem de simulação de SC para avaliar o processo de documentação de produtos em processos interorganizacionais.

Retomando o tema central deste trabalho, houve preocupação em conhecer a aplicação de modelos de simulação de SC que envolvessem a lógica *fuzzy*. Allen e Helferich (1990) sugerem o uso de sistemas especialistas como ferramenta de diagnóstico. Inúmeros exemplos são comentados pelos autores, porém são aplicações muito específicas e restringem-se às áreas funcionais, como compras ou logística. Muitos sistemas especialistas (SE) são descritos como heurísticas e trabalham com árvores de decisão ou redes para auxílio à tomada de decisão, porém, segundo Foggin, Mentzer e Monroe (2004), não são capazes de realizar um diagnóstico da SC como um todo.

Alguns trabalhos (DONG et al., 2007; LAU; AGUSSURJA; THANGARAJOO, 2008) mencionam a utilização da lógica *fuzzy* na simulação de cadeias de suprimentos; no entanto, nenhuma referência foi encontrada nas bases de dados internacionais que envolvessem os temas “*supply chain measurement ou performance*”, “*modelling*” e “*simulation*”.

No trabalho de Dong et al. (2007), por exemplo, é apresentado um modelo de simulação envolvendo como entidades uma empresa de manufatura, o varejista e o consumidor final. O propósito do modelo foi gerar um *portfólio* que satisfizesse o nível de serviço entre o varejista e os consumidores finais. Tal *portfólio* consistia numa estratégia de reposição e índice de desempenho sob diferentes graus de erros na previsão de vendas. A lógica *fuzzy* foi integrada ao modelo de simulação para então investigar os diferentes graus de erros de previsão entre a previsão de vendas e a demanda real dos clientes. Resultados experimentais foram baseados num estudo de caso, e o modelo de simulação foi validado. Os resultados mostraram que o modelo de simulação de uma SC, utilizando lógica *fuzzy*, é uma efetiva ferramenta na investigação do relacionamento entre erros de previsão, estratégias de reposição e desempenho para os varejistas e fabricantes.

Aplicações da lógica *fuzzy* em gestão da cadeia de suprimentos são discutidas em outros trabalhos (CHAN *et al.*, 2003; CHAN; QI, 2003; YEH; CHENG; CHI, 2007; THEERANUPHATTANA; TANG, 2008). No entanto, nenhuma pesquisa teve incorporada em seu modelo, as métricas de nível 2 do SCOR, objetivo este proposto por esta Tese.

Simulação usando o SCOR

Analisando-se alguns trabalhos sobre simulação de SC (RODER; TIBKEN, 2006; GOVINDU; CHINNAM, 2007; RABELO et al., 2007), percebeu-se a utilização do modelo de referência SCOR como arquitetura de referência dos modelos desenvolvidos. Tal comportamento pode tornar-se mais comum, já que o modelo SCOR passa a ser cada vez mais utilizado na academia. Diante de tal cenário, procurou-se detalhar as ferramentas computacionais que utilizam o SCOR em ambientes de SC.

Muitos modelos analíticos e numéricos provenientes da área de negócio e engenharia têm sido propostos para suportar o projeto de atividades operacionais num ambiente de SC (CHOPRA; MEINDL, 2003).

No entanto, modelos voltados à tomada de decisões estratégicas, que necessitam do processo de negociação da SC como um todo, são escassos (HUAN; SHEORAN; WANG, 2004). Devido a isso, tais autores destacam o modelo SCOR como boa alternativa para apoiar o processo de tomada de decisão estratégica numa SC.

Dessa maneira, existem algumas lacunas nesse modelo que poderiam ser mais bem exploradas (HUAN; SHEORAN; WANG, 2004).

Uma delas é a utilização de ferramentas de modelagem de redes (*network modeling tool*) para suportar decisões de gerenciamento de mudanças, outra lacuna importante não suportada pelo SCOR. Tais ferramentas de modelagem são *softwares* que podem explicar a dinâmica da SC relativa a uma empresa. Elas aplicam técnicas de modelagem computacional sofisticadas a fim de determinar o impacto de diferentes cenários de negócios sobre as operações e custos dessa empresa. Quando utilizadas de modo efetivo, contribuem de maneira significativa para o processo de tomada de decisão na SC, principalmente em ambientes com acelerado processo de mudança. No entanto, tais ferramentas são caras e complexas, requerendo uma base de dados específica, e um conjunto de especialistas para a programação computacional, além das habilidades para decifrar e otimizar os *outputs* e erros dos códigos. Para os autores, essas ferramentas de modelagem podem ser adaptadas para a arquitetura do SCOR (HUAN; SHEORAN; WANG, 2004).

Uma vantagem do desenvolvimento de sistemas especialista *fuzzy* baseados em regras, por meio de ferramentas como o *Matlab* e *FuzzyTECH*, é que o tomador de decisão, o gerente de uma SC, neste caso, não necessita ser um especialista em programação, já que tais

softwares possuem uma interface extremamente amigável e interativa para o desenvolvimento dos modelos de decisão.

Para auxiliar as organizações na escolha da melhor decisão estratégica, inúmeros pesquisadores e praticantes têm desenvolvido modelos para descrever os elementos e atividades de uma SC. O espectro dessas ferramentas envolve modelos determinísticos, modelos estocásticos, modelos econômicos e modelos de simulação, quase sempre propostos para tratar de questões relativas à gestão de estoques ou logística de distribuição (HUANG; SHEORAN; KESKAR, 2005).

Assim como na reengenharia de processos, a Tecnologia de Informação (TI) tinha um papel fundamental na mudança dos processos, e o desenvolvimento de ferramentas que apoiem o processo de aplicação do SCOR, é extremamente interessante (POLUHA, 2007).

Segundo Poluha (2007), algumas ferramentas de simulação estática e dinâmica estão disponíveis, pois, para o autor, tais modelos são interessantes por avaliar os *gaps* entre processos, revelando dessa maneira ineficiências que podem melhorar o desempenho dos mesmos.

O autor chama a atenção para a expressão “*Supply Chain Design Management*” (SCDM), conceito baseado num modelo de SC que objetiva a simulação e a otimização contínua de uma SC. Seria uma nova ferramenta que procuraria auxiliar as empresas a identificar e melhorar os processos da SC, seus indicadores e fluxo de informação intrínseco às empresas e os parceiros que compõem a SC.

O *Supply Chain Design Management* possui alguns objetivos principais:

- validação do presente modelo de SC por meio do mapeamento do processo atual (*AS-IS business process*);
- simulação e predição da influência do desempenho da SC mediante mudanças estruturais na mesma (*TO-BE business process*);
- aplicação de medidas de desempenho de acordo com os padrões industriais para execução de análises de cenários alternativos para a SC (*WHAT-IF impact analysis*);
- medição, predição e monitoramento dos fatores de influência da SC para a identificação de potenciais melhorias;
- conexão dos processos estratégicos da SC para os níveis mais baixos, que são relevantes para monitoramento dos procedimentos operacionais e sistemas.

Os benefícios de uma ferramenta *Supply Chain Design Management* em relação aos níveis de decisão podem ser descritos tanto em relação a um nível estratégico, quanto operacional (POLUHA, 2007).

No nível estratégico, auxilia na análise de desempenho da SC por meio da aplicação de cenários alternativos a fim de analisar possíveis efeitos de mudanças estruturais na SC, no contexto de um reprojeto e identificação de estratégias ótimas. Num nível operacional, atua na análise de previsão de demanda e simulação de possíveis mudanças nessa demanda, como um suporte, por exemplo, a abordagem do CPFR.

Eis por que o desenvolvimento de modelos que enfatizem a tomada de decisão estratégica na SC é essencial.

O trabalho de Huang, Sheoran e Keskar (2005) menciona a utilização de uma ferramenta computacional para configurar os diagramas tratados no nível 2 do SCOR. Por meio dessa ferramenta, é possível compreender a interação de uma empresa em particular com seus parceiros (clientes e fornecedores). A ferramenta possibilita, ainda, mapear a situação atual (*AS IS*) e projetar uma situação futura (*TO BE*), que leve ao melhor desempenho da SC. As Figuras 2.11; 2.12 e 2.13, mencionadas na seção 2.4.2, ilustram a aplicação da ferramenta.

O trabalho de Dong et al. (2006) revela uma tentativa da IBM em desenvolver uma ferramenta de simulação e otimização da SC baseada no SCOR. Tal iniciativa é conhecida como *SmartSCOR*.

De acordo com os autores, o *SmartSCOR* enxerga o processo-transformação a partir de dois diferentes níveis:

- o projeto/reprojeto da estratégia de uma SC;
- a melhoria dos processos da SC.

O projeto estratégico da SC visa a transformar uma cadeia de suprimentos principalmente pelo conceito de reconfiguração da rede de manufatura e distribuição, integração da cadeia de valor, etc. A melhoria dos processos da SC objetiva alinhar os processos de negócios à estratégia da SC. Os dois níveis interagem entre si e resultam num profundo processo de transformação que culmina com a melhoria de desempenho da SC como um todo.

O *SmartSCOR* é uma plataforma integrada para apoiar o processo de transformação de SCs. Ele envolve uma série de modelos, como simulação, otimização, SCOR, etc.

A ferramenta é composta de uma série de módulos para análise. Tais módulos podem funcionar de maneira autônoma ou como um pacote único. O *SmartSCOR* apresenta as seguintes funcionalidades:

- *supply chain network optimization;*
- *supply chain simulation;*
- *supply chain process analysis.*

O módulo relacionado ao SCOR é o *Supply Chain Process Analysis*. Por ele é possível configurar-se os diagramas do nível 2 do SCOR, como a ferramenta mencionada por Huang, Sheoran e Keskar (2005).

No entanto, apresenta uma funcionalidade chamada “*Business Process Diagnosis*”, que permite aos usuários diagnosticar ou validar processos. Por meio dessa ferramenta, é possível estabelecer análises causais entre as medidas de desempenho parametrizadas pelo SCOR. Esse instrumento fornece três tipos de análises, como pode ser observado na Figura 2.14:

1. análises “*O que aconteceria se...*”: dadas algumas mudanças em uma ou mais medidas de desempenho, qual o impacto sobre outras medidas?
2. análises de *causa e efeito*: objetiva analisar as razões que causam determinado fenômeno;
3. *projeto de diretrizes*: dado um certo objetivo, o sistema atribui valores às variáveis para atingir a meta ótima predeterminada. Geralmente é um problema de otimização.

As análises 1 e 2 ilustram satisfatoriamente o objetivo maior desta tese. No entanto, apesar de a ferramenta mostrar-se extremamente interessante para o processo de avaliação de desempenho utilizando o SCOR, nada foi comentado pela lógica de modelagem utilizada. Tal pacote constitui uma simulação do tipo “*caixa preta*”, o que não retira o mérito, mas restringe a possibilidade de uma análise profunda por parte da comunidade acadêmica.

Em decorrência disso, esta tese propõe o desenvolvimento de um simulador baseado em lógica *fuzzy* a fim de se avaliar o desempenho de cadeias de suprimentos, com base nos itens 1 e 2, citados anteriormente.

Em uma pesquisa recente (2007), Poluha identificou poucas aplicações de uma estrutura típica de um SCDM. A pesquisa identificou três destas aplicações que utilizavam o SCOR como modelo de referência:

- *e-SCOR* da *Gensym*;

- *ARIS EasySCOR* da *IDS*;
- *ADolog* da *BOC*.

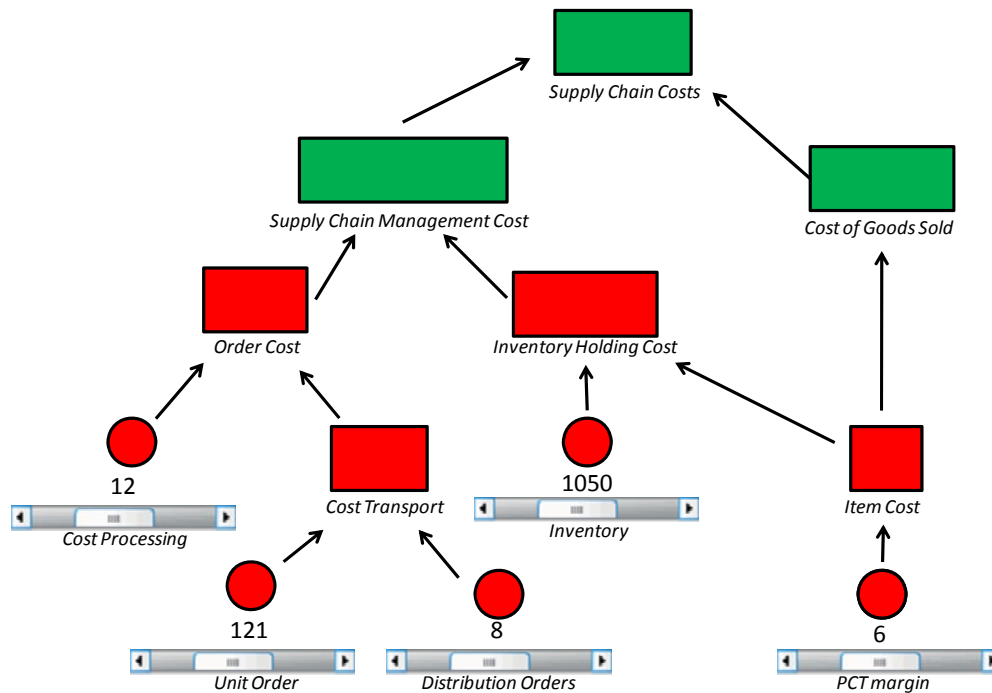


Figura 2.14 Tela de exemplo do SmartScor

Fonte: Proposta a partir de Huang, Sheoran e Keskar (2005).

Os parágrafos seguintes procuram descrever, de maneira sucinta, tais aplicações SCDM.

e-SCOR

Esta aplicação, desenvolvida pela empresa *Gensym*, projeta, simula e controla graficamente os cenários de uma SC. Seu ponto forte pode ser considerado a habilidade de simular estruturas de SC e o comportamento de SC de acordo com as mudanças realizadas. É possível realizar uma análise mais agregada que esteja conectada aos níveis mais baixos do SCOR (provavelmente, abaixo do terceiro nível) (POLUHA, 2007).

Por meio dessa ferramenta, é possível também, numa análise inicial, realizar um mapeamento da situação atual que pode ser validada usando-se indicadores e outras informações. Partindo disso, a base para uma comparação futura (*to be*) é criada para se avaliar o impacto de possíveis mudanças.

Os cenários futuros (*to be*) podem ser simulados baseados nos indicadores do modelo SCOR. Isso inclui a medição e a simulação de indicadores de desempenho (cenários *What - If*).

Informações adicionais sobre a ferramenta não foram encontradas, mesmo pesquisando o *site*⁵ oficial da empresa desenvolvedora.

ARIS EasySCOR

A consultoria IDS⁶ distribui o aplicativo de nome *ARIS EasySCOR*. Essa ferramenta permite às companhias desenhar, avaliar e otimizar os processos de *supply chain*, com base nos padrões definidos pelo SCC. O *ARIS EasySCOR* contém definições de processos, melhores práticas e métricas para o planejamento dos processos-chave SCOR.

Como funcionalidades da ferramenta, podem ser citadas:

- define e documenta processos existentes, avaliando uma gama de cenários futuros de SC antes da implementação da solução selecionada;
- nivela elementos predefinidos e padronizados do SCOR para identificar gargalos, pontos fracos e áreas de melhoria na SC;
- compara processos de SC existentes com melhores práticas e mensura o desempenho dos processos com base nas métricas SCOR;
- reutiliza métricas predefinidas associadas com atributos de performance, como confiabilidade, responsabilidade, flexibilidade e custos.

As Figuras 2.15 e 2.16, respectivamente, ilustram algumas aplicações do *ARIS EasySCOR*.

⁵ <http://www.gensym.com>

⁶ <http://www.ids-scheer.com>

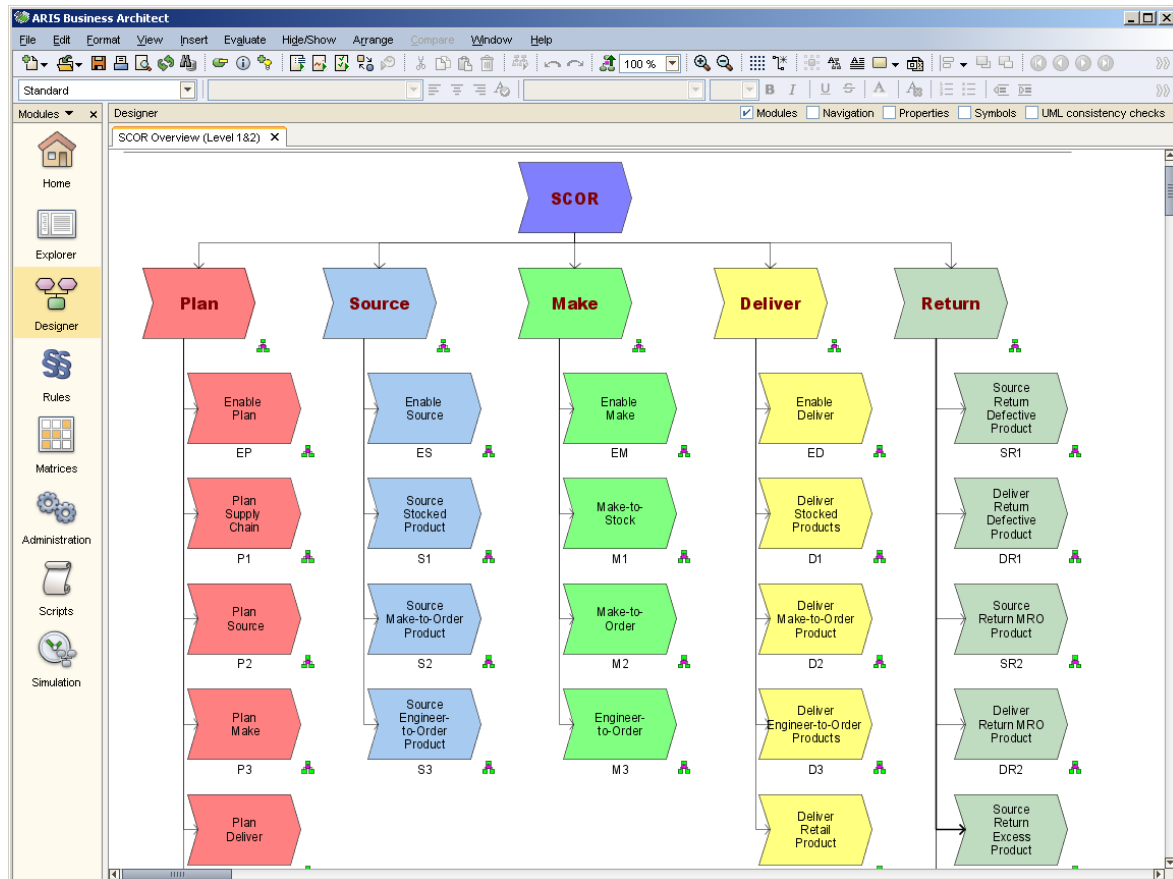


Figura 2.15 – Processos-chave do SCOR por meio do *EasySCOR*
 Fonte: IDS (2009).

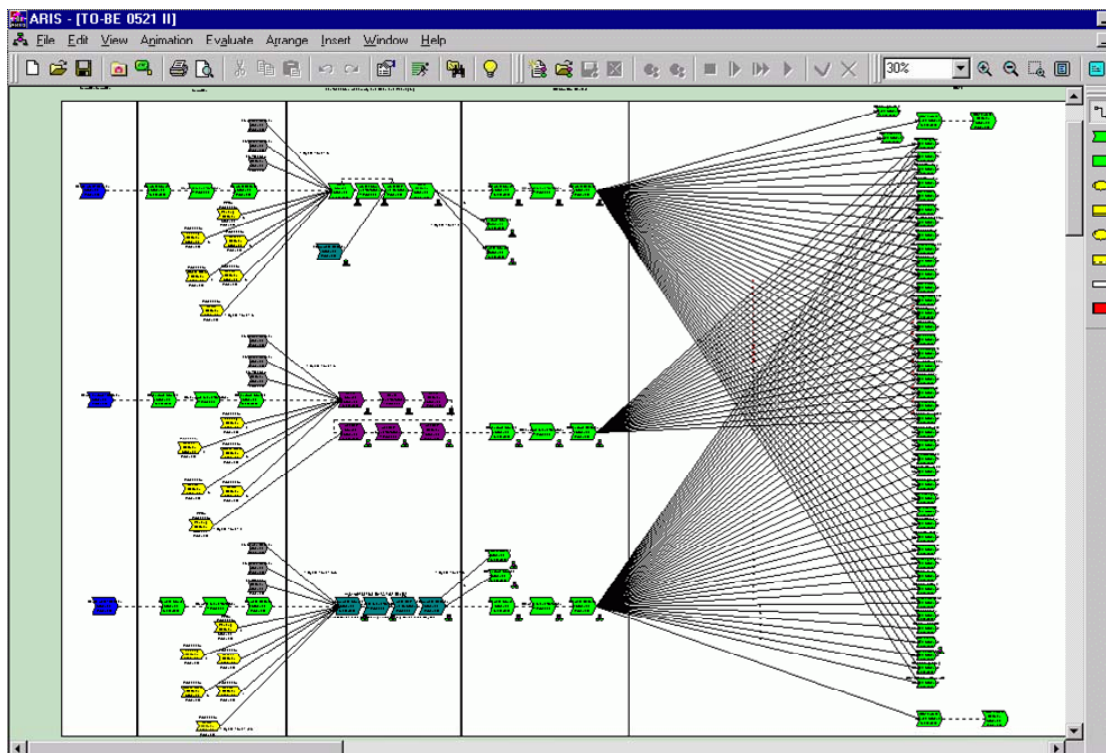


Figura 2.16 – Desdobramento de processos do SCOR por meio do *EasySCOR*
 Fonte: IDS (2009).

ADOLog

Desenvolvido pela empresa BOC⁷, a ferramenta SCDM tem como principais funcionalidades:

- projeto estratégico de SCs;
- visualização e modelagem de diferentes cenários de SC e as implicações técnicas;
- baseado no modelo de Referência SCOR;
- implementação de projetos Seis Sigma;
- compilação dos manuais de gestão da qualidade;
- determinação dos custos da cadeia de valor;
- publicações de processos por meio da geração de portais intranet totalmente automatizados.

Não foram encontrados maiores detalhes sobre as técnicas de modelagens utilizadas nas ferramentas comerciais mencionadas. Por este motivo, este autor propõe a utilização da lógica *fuzzy* como ferramenta de modelagem objetivando desenvolver um ambiente de simulação que possibilite prever o desempenho de cadeias de suprimentos a partir de indicadores de nível operacional.

Neste trabalho, optou-se também por utilizar o modelo SCOR como arquitetura de referência em função das aplicações deste na iniciativa privada, e por servir de modelo-padrão em pesquisas que necessitem utilizar processos da SC como a base para o desenvolvimento de um modelo computacional.

O capítulo a seguir procurou detalhar, objetivamente, conceitos fundamentais de lógica *fuzzy* à luz do desenvolvimento de sistema baseados em regras *fuzzy*.

⁷ <http://www.boc-group.com>

C APÍTULO 3

LÓGICA FUZZY

Quando a complexidade aumenta, as afirmações precisas perdem significado e as significativas perdem precisão.

Lotfi Zadeh

3.1 OBJETIVO E ESTRUTURA DO CAPÍTULO

O objetivo deste capítulo é fornecer um cabedal teórico conceitual sobre lógica *fuzzy* a fim de gerar os *inputs* necessários a que este trabalho se prontifica. Uma preocupação ao longo dos exemplos citados, foi a de propor exemplos contextualizados ao ambiente da gestão de cadeias de suprimentos. Essa contribuição torna-se relevante à medida que existe uma literatura conceitual bem rica, sem, no entanto, entrar na especificidade da gestão de cadeias de suprimentos.

Este capítulo está estruturado em seis tópicos fundamentais, de maneira a construir, passo a passo, a compreensão dos conceitos que envolvem a lógica *fuzzy* e mais especificamente os sistemas baseados em regras *fuzzy*.

A seção 3.2 objetiva posicionar a lógica *fuzzy* como uma abordagem do campo de conhecimento da inteligência artificial, ou seja, a utilização de técnicas de programação que procuram, por meio de máquinas, resolver problemas do mesmo modo que um ser humano os resolveria.

O tópico 3.3 procura esboçar, de maneira sucinta, a aplicabilidade da lógica *fuzzy* em sistemas complexos, que envolvam poucos dados ou mesmo a ausência deles.

A seção 3.4, de maneira mais direta, entra na compreensão matemática da lógica *fuzzy* propriamente dita. Para tanto, é feita uma comparação da teoria clássica dos conjuntos com a teoria dos conjuntos nebulosos. Fundamental à compreensão da lógica *fuzzy* é entender como ocorre o relacionamento entre os conjuntos *fuzzy* e as operações básicas entre os mesmos.

A seção 3.5 destaca-se como propedêutico fundamental à compreensão de um sistema *fuzzy* baseado em regras. Para tanto, são discutidos conceitos, como variáveis linguísticas e funções de pertinência.

A seção, 3.6 considerada a essência deste capítulo, trata fundamentalmente dos sistemas baseados em regras *fuzzy*. Este é proposto numa linguagem clara de conceitos, como o processo de *fuzzificação*, base de regras, máquina de inferência e processo de *defuzzificação*, conceitos esses fundamentais para a proposição maior deste trabalho.

3.2 SISTEMAS ESPECIALISTAS

A Inteligência Artificial (IA) é um campo do conhecimento que utiliza técnicas de programação que procuram, por meio de máquinas, resolver problemas do mesmo modo que um ser humano os resolveria (ARARIBOIA, 1988; OLIVEIRA JR. et al., 2007).

Nikolopoulos (1997) denomina a Inteligência Artificial como um campo de estudos multidisciplinar, originado de áreas como computação, engenharia, psicologia, matemática e cibernética, cujo principal objetivo é projetar sistemas que apresentem comportamento inteligente e desempenhem tarefas com um grau de competência equivalente ou superior com que um especialista humano as desempenharia.

Para McCarthy (2007), a Inteligência Artificial é a ciência e a tecnologia de construção de máquinas inteligentes, especialmente programas de computador. Relaciona-se com o uso de computadores para o entendimento e a exploração da inteligência humana, não se limitando, porém, a métodos biologicamente observáveis.

Intrínseco à Inteligência Artificial estão os Sistemas Especialistas - SE - (*Expert Systems*). Os sistemas especialistas advêm de um ramo da Inteligência Artificial (IA) aplicada. A ideia básica por trás destes sistemas é simplesmente abstrair o conhecimento dos campos de interesse, com seu vasto corpo de detalhes de ações específicas, e transferi-lo dos seres humanos para um computador (OLIVEIRA JR. et al., 2007).

Existem várias definições para sistemas especialistas. Em todas, a palavra “programa” recebe grande destaque (Quadro 3.1):

Quadro 3.1 Definições de sistemas especialistas

	Definição	Fonte
	que desempenha tarefas sofisticadas que antes se pensava serem possíveis apenas para especialistas humanos.	Benfer et. al. (1991)
Um sistema especialista é um programa...	inteligente de computador que usa conhecimento e procedimento de inferência para resolver problemas que requerem significativa especialidade humana para resolvê-los.	Giarratano e Riley (1998)
	de computador que objetiva imitar ou emular o conhecimento humano.	Abacoumkin e Ballis (2004)

Fonte: Proposto pelo autor.

Avaliando tanto o mercado quanto a produção acadêmica de 1995 a 2004 sobre sistemas especialistas, Liao (2005) classificou-os em diferentes categorias:

- sistemas baseados em regras;

- sistemas baseados em conhecimento;
- redes neurais;
- sistemas especialistas *fuzzy*;
- metodologia orientada a objeto;
- CBR (Raciocínio Baseado em Casos);
- arquitetura de desenvolvimento;
- sistemas com agentes de inteligência artificial;
- modelagem;
- ontologia;
- metodologia de base de dados.

Todas estas modalidades são de grande valia para auxiliar as empresas, promovendo uma vasta gama de soluções possíveis para os problemas do dia a dia relacionados ao processo de tomada de decisões estratégicas.

No entanto, como o foco deste trabalho é a lógica *fuzzy*, procurar-se-á detalhar nas próximas seções todo o cabedal conceitual necessário para a proposição de um sistema *fuzzy* que avalie o desempenho de cadeias de suprimentos.

3.3 O PORQUÊ DA UTILIZAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY*

A lógica *fuzzy* permite simular o processo de raciocínio humano e tomar decisões baseadas em dados vagos e imprecisos.

Em problemas reais, é comum encontrar-se incertezas nas informações associadas, pois, muitas vezes, os dados são imprecisos, e conceitos como cheio e vazio, alto e baixo, quente e frio, perto e longe, etc. dependem do ponto de vista do observador. Dessa forma, as tomadas de decisões são baseadas no conhecimento individual sem ter certeza absoluta sobre essas informações (PEDRYCZ; GOMIDE, 1998).

A lógica *fuzzy* é uma abordagem sugerida para tratar problemas de modelagem complexa, envolvendo tanto variáveis qualitativas como quantitativas sujeitas a variações probabilísticas relevantes ou descritas por bases de dados diferentes e incompletas. Seu processo decisório baseia-se em variáveis linguísticas que simulam e replicam elementos do

pensamento humano, principalmente em bases comparativas, tais como mais alto, mais frio, melhor; ou vagas, tais como alto, baixo, bom (KACPRZYK, 1997).

Quando se utilizam dados incertos, uma informação deixa de ser representada por um número e passa a ser representada por um conjunto. Dessa maneira, o uso da teoria clássica dos conjuntos torna-se inadequado devido à sua ineficiência no tratamento de informações imprecisas. No entanto, dados com alto grau de incerteza e ambiguidade podem ser estudados e modelados de forma mais robusta, utilizando a teoria dos conjuntos nebulosos, também conhecida como teoria dos conjuntos *fuzzy* (ZADEH, 1965; DUBOIS; PRADE, 1980; PEDRYCZ; GOMIDE, 1998).

A lógica *fuzzy* permite utilizar termos linguísticos, que, após serem convertidos em funções de pertinência de conjuntos nebulosos, possibilitam o processamento em forma numérica. Em sistemas *fuzzy* baseados em regras, as informações imprecisas e incompletas são tratadas de forma linguística, em analogia às informações sensoriais recebidas pelos órgãos e interpretadas pelo cérebro (PEDRYCZ; GOMIDE, 1998).

A lógica *fuzzy* destaca-se como uma abordagem aplicada e multidisciplinar de análise (ZILOUCHIAN; JAMSHID, 2001).

Na literatura, é muito comum a aplicação da lógica *fuzzy* em medicina (COHEN; HUDSON, 1995) e ciências biológicas, bioinformática, processos industriais (HIROTA; SUGENO, 1995); navegação aeroespacial; robótica; reconhecimento de objetos, imagens e padrões (CHI; YAN; PHAM, 1996).

A aplicação da lógica *fuzzy* também é contundente na área gerencial. Encontram-se inúmeros trabalhos de aplicação da lógica *fuzzy* intitulados como: negócios (*business*), gestão (*management*) e finanças (*finance*), *marketing*, contabilidade (*accounting*), logística (*logistics*), economia (*economics*), entre outros (ZIMMERMANN, 1991; BOJADZIEV; BOJADZIEV, 1997; PARDALOS; ZOPOUNIDIS; BAOURAKIS, 2001; CARLSSON; FEDRIZZI; FULLÉR, 2004).

Para Carlsson, Fedrizzi e Fullér (2004), a aplicação da lógica *fuzzy* em problemas gerenciais⁸ mostra-se extremamente vantajosa quando se têm informações imprecisas ou até mesmo inexistentes para o processo de tomada de decisão.

⁸ O termo “problemas gerenciais” foi generalizado propositadamente para representar problemas das diversas áreas do conhecimento sobre gestão, a saber: *marketing*, finanças, contabilidade, logística, economia, recursos humanos, planejamento estratégico, etc., citadas em inúmeros trabalhos de aplicação da lógica *fuzzy* no gerenciamento destes sistemas.

3.4 CONJUNTOS FUZZY

Essencial para o entendimento da lógica *fuzzy* é entender a diferença fundamental entre a teoria dos conjuntos clássicos e a teoria dos conjuntos *fuzzy*. Esta seção aborda também as relações entre conjuntos *fuzzy*, vitais para compreender o processo da máquina de inferência, o núcleo central da lógica *fuzzy*.

3.4.1 Teoria clássica dos conjuntos vs. teoria dos conjuntos *fuzzy*

Anterior ao surgimento do conceito *fuzzy*, a lógica tradicional era denominada lógica *crisp* (abrupta) (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 1995).

A fim de comparar a lógica *fuzzy* com a *crisp*, será elaborada uma analogia **muito simples** e de **fácil** entendimento (GRIFO DO AUTOR).

Percebe-se que até mesmo os termos “muito simples” e “fácil”, utilizados no período anterior, possuem certa subjetividade ou ambiguidade. O que é denominado “simples” para este pesquisador pode ser compreendido como “complexo” pelo leitor deste texto.

Esse é o raciocínio que se deseja inculcar a fim de compreender o conceito da lógica *fuzzy*. Será tomada, como questão inicial, a problemática de se classificar o nível de serviço logístico em determinados conjuntos.

Expressões como “o nível de serviço é *alto*”; “o nível de serviço é *baixo*”; ou “o nível de serviço é *muito alto*”, etc. são utilizadas para tentar classificar o desempenho de uma empresa logística na prestação de um serviço para determinado cliente específico. O raciocínio a seguir expressará a classificação de tais níveis de serviço mediante a lógica tradicional, também conhecida como lógica *crisp* e em relação à lógica difusa, ou lógica *fuzzy*.

Adotando diferentes padrões de serviço logístico, como, por exemplo, 75%, 85% e 90%, respectivamente, e assumindo que um nível de serviço para ser considerado pertencente ao conjunto *alto desempenho* deva superar 80%, como classificar estas *performances* tanto pela lógica *crisp*, quanto pela *fuzzy*?

Pela lógica *crisp*, um nível de serviço de 75% não pertence ao conjunto de *alto desempenho*, mas sim ao conjunto de *baixo desempenho*. Níveis de serviço com índices de 85% e 95%, respectivamente, pertencem ao conjunto de *alto desempenho* e não pertencem ao

conjunto de *baixo desempenho*. A maneira pela qual uma empresa logística passa a pertencer ao conjunto é **abrupta**, ou seja, ao superar o limiar de pertinência, a empresa é totalmente admitida no conjunto, como pode ser observado na Figura 3.1.



Figura 3.1 Lógica *crisp*

Fonte: Proposta pelo autor.

Já a lógica *fuzzy* atribui a diferentes empresas logísticas diferentes **graus de pertinência** a conjuntos adjacentes, de acordo com o grau de superação da condição de pertinência. A transição para a pertinência ao conjunto é gradual, podendo uma empresa pertencer aos dois conjuntos, de modo difuso. O grau de pertinência a um conjunto é tanto maior quanto mais afastada estiver essa empresa da fronteira.

Por exemplo, duas empresas, A e B, com níveis de serviço de 85% e 95%, respectivamente, pertencem ao conjunto *alto desempenho*, porém a primeira pertence mais ao conjunto de *baixo desempenho* do que a segunda, e esta pertence mais ao conjunto *alto desempenho* do que a primeira.

Analisando a Figura 3.2, percebe-se que existe uma faixa de transição, nebulosa, que abriga comportamentos tanto de empresas logísticas com *baixo desempenho*, como organizações com *alto desempenho*. Tal região nebulosa é a grande diferença na classificação entre conjuntos *crisp* e conjuntos *fuzzy*.

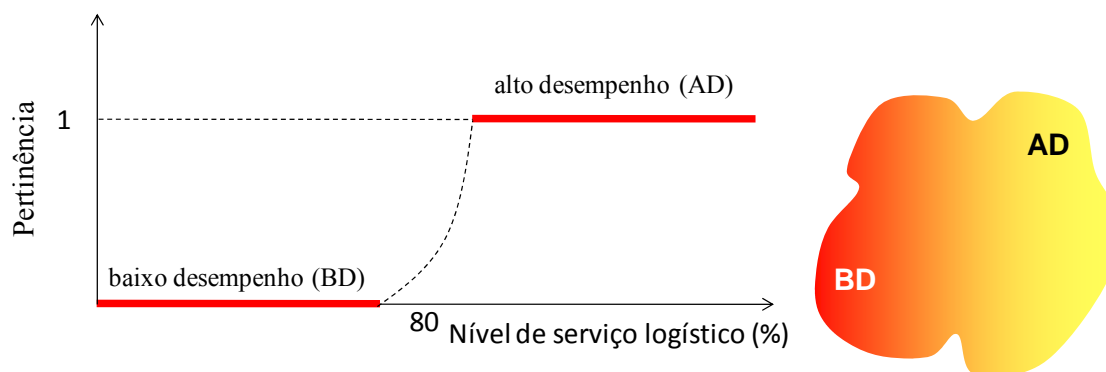


Figura 3.2 Lógica *fuzzy*

Fonte: Proposta pelo autor.

A representação gráfica dessas regiões “nebulosas ocorre por meio de funções de pertinência (*membership function*). Para o exemplo em questão, deve ser considerada a função de pertinência da Figura 3.3.

Uma empresa com nível de serviço de 80% tem um grau de pertinência 0,5 ao conjunto *alto desempenho* e um grau de pertinência 0,5 ao conjunto de *baixo desempenho*. Uma organização logística com nível de serviço de 65% tem grau de pertinência 0 ao conjunto *alto desempenho* e de 1 ao conjunto *baixo desempenho*. Finalmente, uma empresa logística com nível de serviço de 95% tem grau de pertinência 1 ao conjunto *alto desempenho* e 0 ao conjunto de *baixo desempenho*.

Ainda para o exemplo, seja a função de pertinência: $F(\text{alto desempenho}) = A$; $F(\text{baixo desempenho}) = B$. Avaliando-se a função pela lógica *crisp*, tem-se $F(72,5\%) = B$ e $F(87,5\%) = A$. Avaliando-se a função pela lógica *fuzzy*, tem-se $F(72,5\%) = 0,75B + 0,25A$ e $F(87,5\%) = 0,25B + 0,75A$.

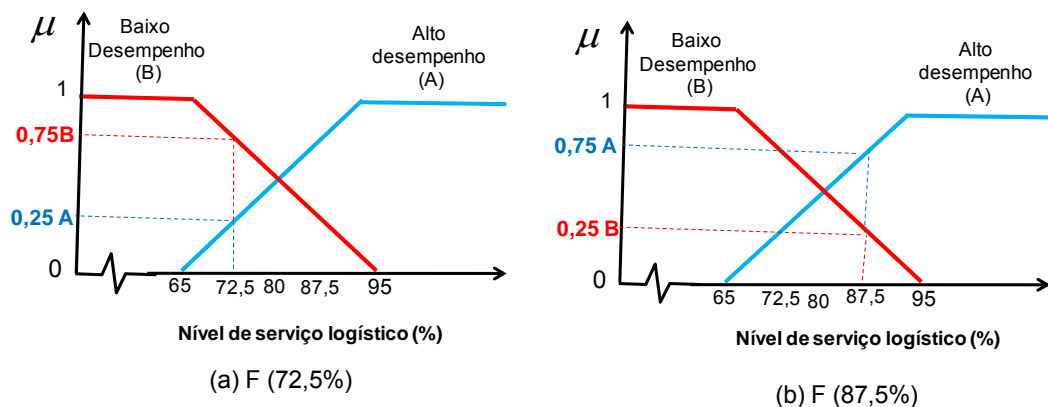


Figura 3.3 Função de pertinência difusa para o exemplo citado

Fonte: Proposta pelo autor.

3.4.2 Relações fuzzy

Um subconjunto *fuzzy* \mathcal{F} do conjunto universo \mathcal{U} é definido em termos de uma função de pertinência u que a cada elemento x de \mathcal{U} associa um número $u(x)$, entre zero e um , chamado de grau de pertinência de x a \mathcal{F} . Desta maneira, o conjunto *fuzzy* \mathcal{F} é simbolicamente indicado por sua função de pertinência, como pode ser observado na expressão 3.1:

$$u_F: u \rightarrow [0,1] \quad (3.1)$$

Como exemplificado na seção anterior, os valores $u_F(x) = 1$ e $u_F(x) = 0$ indicam, respectivamente, a pertinência plena e a não pertinência do elemento x a \mathcal{F} .

3.4.2.1 Representações de conjuntos *fuzzy*

O exemplo a seguir ilustra as principais representações de relações binárias entre conjuntos *crisp* e conjuntos *fuzzy*. Mais uma vez percebe-se a limitação da lógica *booleana* tradicional em representar comportamentos mais complexos de um universo em estudo.

Suponha um determinado ambiente de cadeia de suprimentos (universo U), no qual interatuam os seguintes agentes: *empresa-foco*, *clientes de primeira camada*, *clientes de segunda camada*, *fornecedores de primeira camada* e *fornecedores de segunda camada*.

Um estudo de interesse, entre tais agentes, é o processo de governança, isto é, como se dá o processo de hierarquização de poder pela cadeia, ou seja, tentar entender como tais agentes influenciam e são influenciados pelos demais constituintes. O exercício de influência de um agente A sobre outro B vem sendo foco de muitos trabalhos acadêmicos, principalmente no âmbito da cadeia automobilística, como observa Padovani (2007).

Se o objetivo for estudar a relação de poder entre dois agentes deste sistema, essa relação pode ser modelada matematicamente por uma *relação binária* \mathcal{R} , com $\varphi\mathcal{R}(x, y) = 0$, se y não exerce influência sobre x , e com $\varphi\mathcal{R}(x, y) \neq 0$, se y exerce influência sobre x , em que x e y representam agentes do conjunto universo U .

A seguir, são discutidos dois possíveis casos do emprego da relação clássica e da relação *fuzzy* para esse exemplo⁹.

Se o interesse sobre a relação for apenas indicar quem exerce influência ou quem recebe essa influência neste conjunto U , então pode-se optar pela teoria clássica, e \mathcal{R} será uma relação binária clássica, como pode ser observado na expressão 3.2. Desta forma,

⁹ Os exemplos propostos neste capítulo foram elaborados com base em Barros e Bassanezi (2006).

$$\varphi\mathcal{R}(x, y) = \mathcal{X}_R(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } y \text{ exercer influência sobre } x \\ 0 & \text{se } y \text{ não exercer influência sobre } x \end{cases} \quad (3.2)$$

Uma representação gráfica para esta relação pode ser visualizada na Figura 3.4.

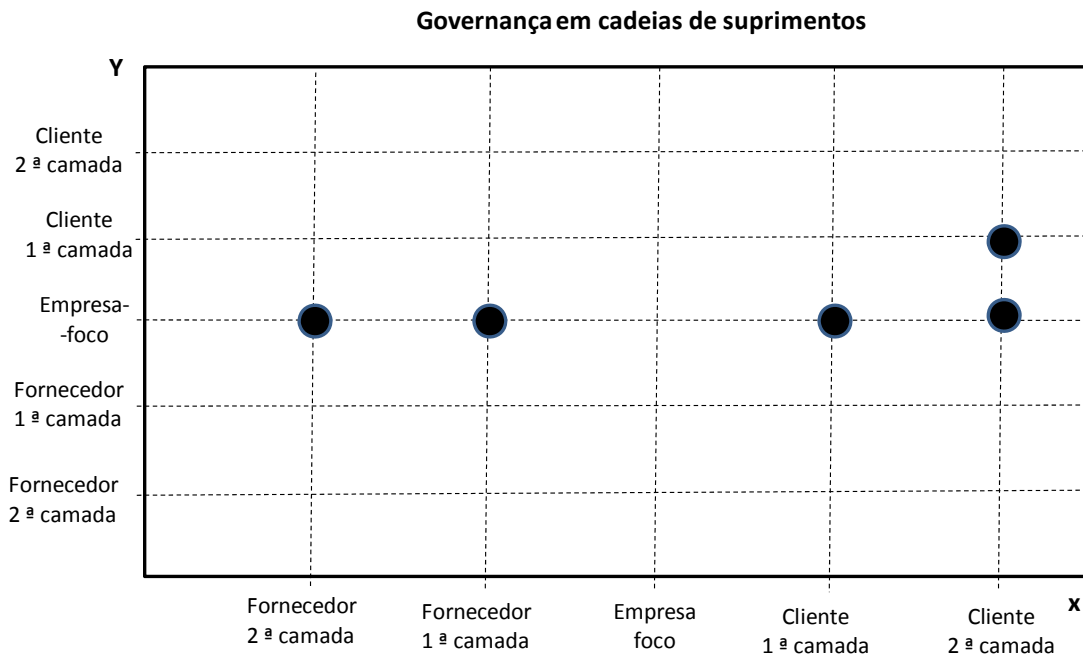


Figura 3.4 Representação da relação clássica da governança em cadeias de suprimentos
Fonte: Proposta pelo autor.

Os pontos destacados na Figura 3.4 indicam os pares que fazem parte da relação \mathcal{R} , ou seja, a relação \mathcal{R} somente revela quem exerce influência sobre quem, de acordo com um especialista.

No entanto, se houver interesse em conhecer, por exemplo, a preferência graduada de um agente y sobre outro agente x no universo \mathcal{U} , então uma boa opção é que \mathcal{R} seja uma relação *fuzzy*. Nesse caso, $\varphi\mathcal{R}(x, y)$ indica o grau com que y exerce influência sobre x . Supondo que não haja diferença nos graus de influência de cada agente, uma possibilidade para $\varphi\mathcal{R}(x, y)$, também de acordo com um especialista, para este exemplo, foi ilustrada na Figura 3.5, em que, no terceiro eixo (eixo vertical), estão representados os diversos graus $\varphi\mathcal{R}(x, y)$.

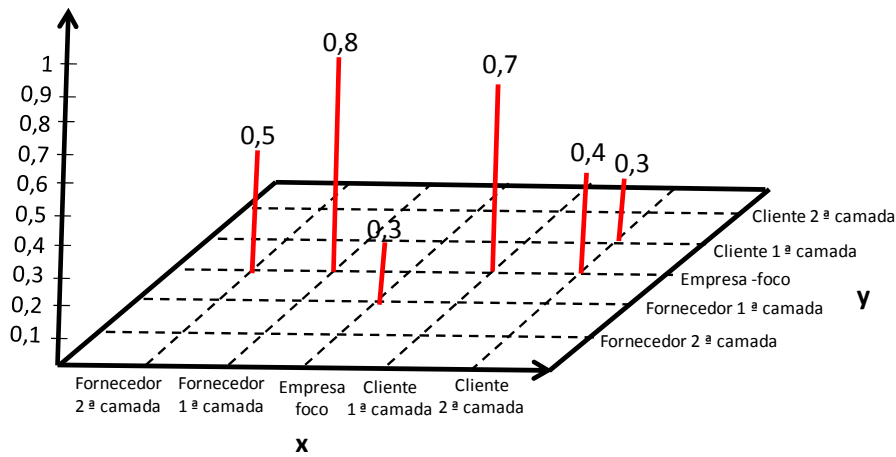


Figura 3.5 Relação *fuzzy* da governança em cadeias de suprimentos
Fonte: Proposta pelo autor.

Uma das formas mais comuns de se representar uma relação *fuzzy* binária em $\mathcal{X} \times \mathcal{Y}$, quando em \mathcal{X} e \mathcal{Y} são finitos, são a tabular e a matricial.

Sejam $\mathcal{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, $\mathcal{Y} = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ e a relação *fuzzy* \mathcal{R} sobre $\mathcal{X} \times \mathcal{Y}$, com função de pertinência dada por $\varphi_{\mathcal{R}}(x_i, y_j) = r_{ij}$, para $1 \leq i \leq m$ e $1 \leq j \leq n$.

As representações de \mathcal{R} podem ser na forma de Tabela ou de matriz, como pode ser observado na Figura 3.6, a seguir.

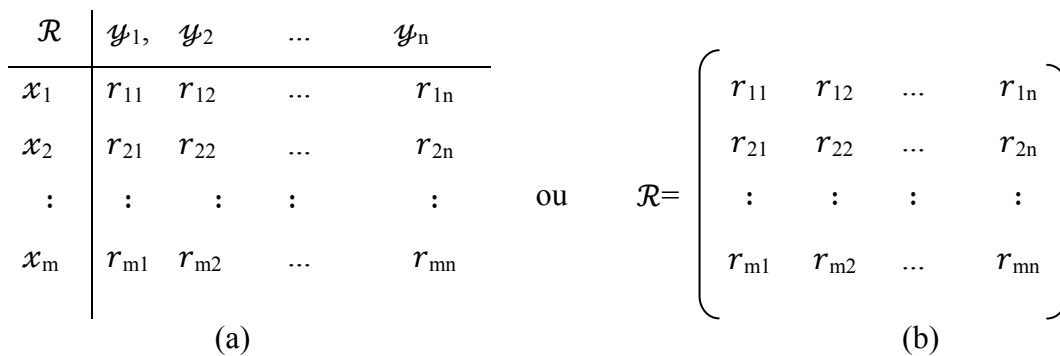


Figura 3.6 Representação tabular (a) e matricial (b) de relações *fuzzy*
Fonte: Barros e Bassanezi (2006).

A representação tabular para o exemplo em questão pode ser observada na Figura 3.7.

		x				
		<i>Agentes</i>	F _{2ªcamada}	F _{1ªcamada}	E _{foco}	C _{1ªcamada}
y	F _{2ªcamada}					
	F _{1ªcamada}			0,3		
	E _{foco}	0,5	0,8		0,7	0,4
	C _{1ªcamada}					0,3
	C _{2ªcamada}					

Figura 3.7 Representação tabular (a) e matricial (b) de relações *fuzzy*

Fonte: Proposta pelo autor.

Em que:

F_{2ªcamada}: Fornecedor de segunda camada;

F_{1ªcamada}: Fornecedor de primeira camada;

E_{foco}: Empresa-foco;

C_{2ªcamada}: Cliente de segunda camada;

C_{1ªcamada}: Cliente de primeira camada.

3.4.2.2 Operações-padrão entre conjuntos *fuzzy*

A teoria dos conjuntos *fuzzy* é em grande parte, uma extensão da teoria dos conjuntos clássicos. Por esta razão, são definidas, a seguir, as principais relações e operações entre conjuntos *fuzzy*.

3.4.2.2.1 União (OR)

A união de dois conjuntos *fuzzy* retorna à função de pertinência resultante do maior valor da pertinência aos dois conjuntos específicos e de cada um dos seus elementos (SIMÕES; SHAW, 2007).

Dados dois conjuntos *fuzzy* “A e B”, denomina-se conjunto *fuzzy* a união de “A” com “B”, como pode ser observado na expressão 3.3.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (3.3)$$

A representação gráfica da união de dois conjuntos *fuzzy* corresponde, na álgebra booleana, à operação OR.

Dados os conjuntos $A = \{0,2; 0,7; 1; 0; 0,5\}$ e $B = \{0,5; 0,3; 1; 0,1; 0,5\}$, a união desses conjuntos fica:

$$A \cup B = \{0,5; 0,7; 1; 0,1; 0,5\}$$

A Figura 3.8 (b) ilustra tal representação, em que se pode observar a *união (or)* de conjuntos *fuzzy*:

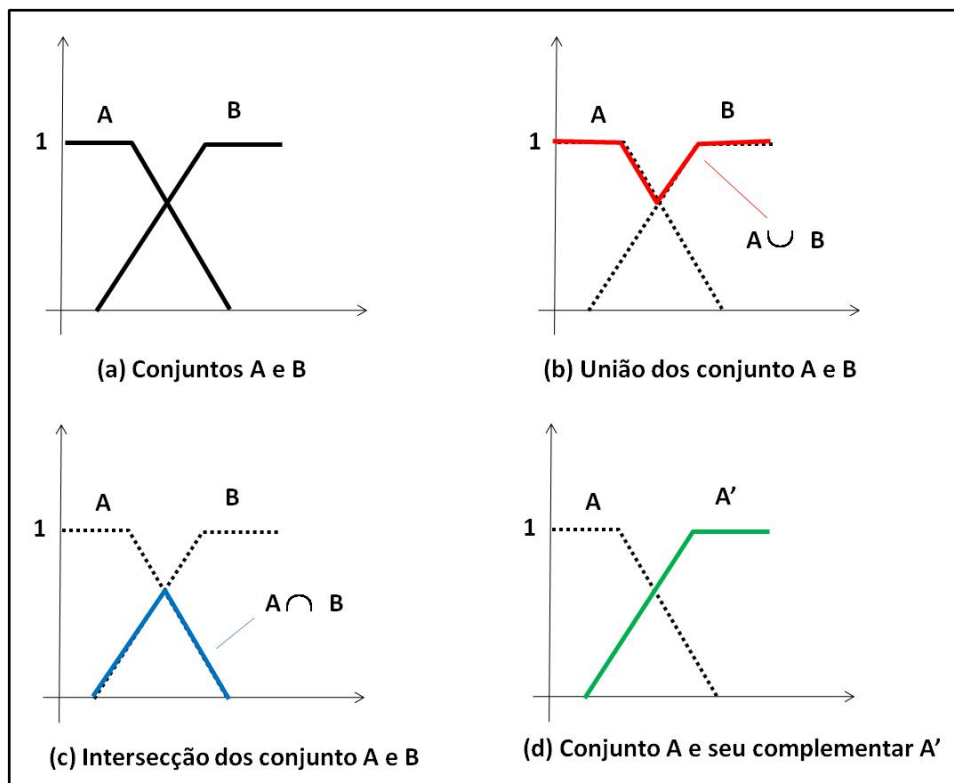


Figura 3.8 Operações-padrão entre conjuntos *fuzzy*

Fonte: Adaptado de Barros e Bassanezi (2006).

3.4.2.2.2 Intersecção (AND)

A intersecção de dois conjuntos *fuzzy* retorna à função de pertinência resultante do menor valor da pertinência aos dois conjuntos específicos e de cada um dos seus elementos.

Dados dois conjuntos *fuzzy* “A e B”, denomina-se conjunto *fuzzy* a interseção de “A” com “B”, como pode ser observado na expressão 3.4.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (3.4)$$

A representação gráfica da interseção de dois conjuntos *fuzzy* corresponde, na álgebra Booleana, à operação AND.

Dados os conjuntos $A = \{0,2; 0,7; 1; 0; 0,5\}$ e $B = \{0,5; 0,3; 1; 0,1; 0,5\}$, a união desses conjuntos fica:

$$A \cap B = \{0,2; 0,3; 1; 0; 0,5\}$$

A Figura 3.(c) ilustra tal representação, em que se observa a *intersecção (and)* de conjuntos *fuzzy*:

3.4.2.2.3 Complemento (NOT)

O complemento de “A” de um conjunto “A” em um universo “U” é o subconjunto de “U”, no qual o elemento “x” não é pertencente a “A”.

Dado o conjunto *fuzzy* “A”, denomina-se complemento de “A” (expressão 3.5)

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.5)$$

A representação gráfica do complemento de um conjunto *fuzzy* corresponde, na álgebra Booleana, à operação NÃO.

Dado o conjunto $A = \{0,13; 0,61; 0; 0; 1; 0,03\}$, o conjunto complementar A' fica:

$A = \{0,13'; 0,61'; 0'; 0'; 1'; 0,03'\}$, em que o apóstrofo simboliza **NÃO**. Portanto, o vetor de pertinência do complemento de A é:

$$\mu_{A'}(x) = \{0,87; 0,39; 1; 1; 0; 0,97\}$$

A Figura 3.8 (d) ilustra tal representação, em que se observa o complemento do conjunto *fuzzy* A:

3.4.2.2.4 Resumo das operações entre conjuntos *fuzzy*

A fim de exemplificar as operações com conjuntos *fuzzy*, suponha que o conjunto universo U seja composto pelos fornecedores de uma determinada empresa do setor automobilístico, identificados pelos números 1, 2, 3, 4 e 5. Sejam A e B os subconjuntos *fuzzy* que representam os fornecedores classe A e B , respectivamente. A Tabela 3.1, a seguir, ilustra as operações *união*, *intersecção* e *complemento*.

Tabela 3.1 Ilustração das operações entre conjuntos *fuzzy*

Fornecedores	Classe A	Classe B	$A \cup B$	$A \cap B$	A'	$A \cap A'$	$A \cup A'$
1	0,7	0,6	0,7	0,6	0,3	0,3	0,7
2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0
3	0,4	0,2	0,4	0,2	0,6	0,4	0,6
4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5	1,0	0,2	1,0	0,2	0,0	0,0	1,0

Fonte: Proposto pelo autor a partir de Barros e Bassanezi (2006).

Os valores das colunas, exceto os da primeira, indicam os graus com que cada fornecedor pertence aos conjuntos *fuzzy* A , B , $A \cup B$, $A \cap B$, A' , $A \cap A'$, $A \cup A'$, respectivamente, onde A e B são supostamente dados.

Na coluna $A \cap A'$, o valor 0,3 indica que o fornecedor 1 está tanto no grupo da classe A como no da classe B .

Tal fato é considerado inadmissível na teoria clássica dos conjuntos, em que $A \cap A' = \emptyset$ (BARROS; BASSANEZI, 2006).

3.4.2.3 Conectivos básicos da lógica *fuzzy*

A avaliação dos conectivos *AND* (E) e *OR* (OU) no sentido *fuzzy* dá-se por meio das *normas* e *conormas* triangulares.

3.4.2.3.1 Operação *t-norma*

Também conhecida por *conjunção* de x e y , denotada por $x \wedge y$ (leia-se x e y) como verdadeiras, quando ambas as proposições forem verdadeiras (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 1997).

O operador $\Delta_1(x, y) = \min\{x, y\} = x \wedge y$ é uma *t-norma* que reproduz a Tabela verdade do conectivo \wedge .

A *t-norma min* é um produto cartesiano entre conjuntos *fuzzy*.

Definição: O produto cartesiano *fuzzy*, $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ dos subconjuntos *fuzzy* A_1, A_2, \dots, A_n de $\mu_1 \times \mu_2 \times \dots \times \mu_n$, é a relação *fuzzy* \mathcal{R} cuja função de pertinência é (expressão 3.6):

$$\mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \mu_{A_1}(x_1) \wedge \mu_{A_2}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{A_n}(x_n) \quad (3.6)$$

A noção e a utilização de produto cartesiano *fuzzy* serão mais bem compreendidas quando introduzido o conceito de sistemas baseados em regras *fuzzy*, que são sistemas compostos de regras da forma ‘*Se... então...*’, estas interpretadas como produtos cartesianos de conjuntos *fuzzy*.

3.4.2.3.2 Operação *t-conorma*

Também conhecida por *disjunção* de x e y , denotada por $x \vee y$ (leia-se x **ou** y) como verdadeiras, quando um **ou** outro forem verdadeiros (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 1997).

O operador $\nabla_1(x, y) = \max\{x, y\} = x \vee y$ é uma *t-conorma* que reproduz a Tabela verdade do conectivo \vee .

As condições de existência (*elemento neutro; comutativa; associativa; monotonicidade*) para *t-norma* e *t-conorma* podem ser mais bem compreendidas em Barros e Bassanezi (2006, p.80).

3.5 CONCEITOS FUNDAMENTAIS EM SISTEMAS *FUZZY*

A fim de gerar um propedêutico à compreensão dos sistemas baseados em regras *fuzzy*, foram detalhados alguns tópicos de fundamental importância, tais como variáveis linguísticas e funções de pertinência.

3.5.1 Variáveis linguísticas

Uma variável linguística é uma variável cujo valor é expresso qualitativamente por termos linguísticos (que fornece um conceito à variável) e quantitativamente por uma função de pertinência.

A Figura 3.9, a seguir, denota o exemplo da variável “confiabilidade de entrega” como uma variável linguística. Tal variável foi desdobrada em cinco termos linguísticos que representam o desempenho de um determinado fornecedor, a saber:

- entregas muito atrasadas (MA);
- entregas atrasadas (A);
- entregas no prazo (P);
- entregas adiantadas (AD);
- entregas muito adiantadas (MAD).

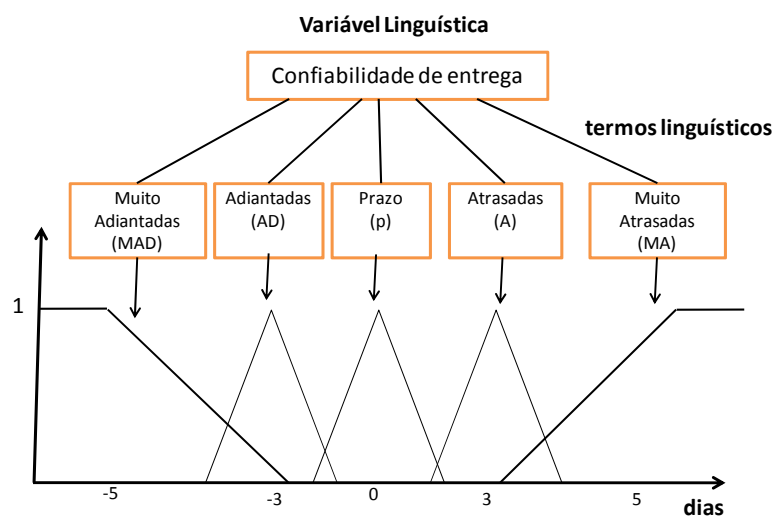


Figura 3.9 Variável linguística “confiabilidade de entrega”
 Fonte: Proposta pelo autor.

O desdobramento em cinco classes fornece um conceito qualitativo do desempenho do fornecedor em relação à sua confiabilidade de entrega.

A atribuição quantitativa dessas faixas é delimitada por meio de funções de pertinência, próximo tópico em discussão. No entanto, para exemplificar rapidamente como seriam atribuídos tais valores quantitativos, suponha que foi consultado um especialista da empresa que definiu as seguintes regras do negócio:

- entregas muito atrasadas (MA): atraso aproximado de 5 dias;
- entregas atrasadas (A): atraso aproximado de 3 dias;
- entregas no prazo (P): zero dia de atraso;
- entregas adiantadas (AD): entregas antecipadas aproximadamente 3 dias;
- entregas muito adiantadas (MAD); entregas antecipadas aproximadamente 5 dias.

3.5.2 Funções de pertinência ou números *fuzzy*

Uma função de pertinência é uma função numérica gráfica ou tabulada que atribui valores de pertinência *fuzzy* para valores discretos de uma variável, em seu universo de discurso¹⁰(SIMÕES;SHAW, 2006; PEDRYCZ; GOMIDE, 1998). A Figura 3.10 ilustra o exemplo de uma função de pertinência, em que o eixo vertical representa o intervalo $[0,1]$ e o eixo horizontal o universo de discurso.

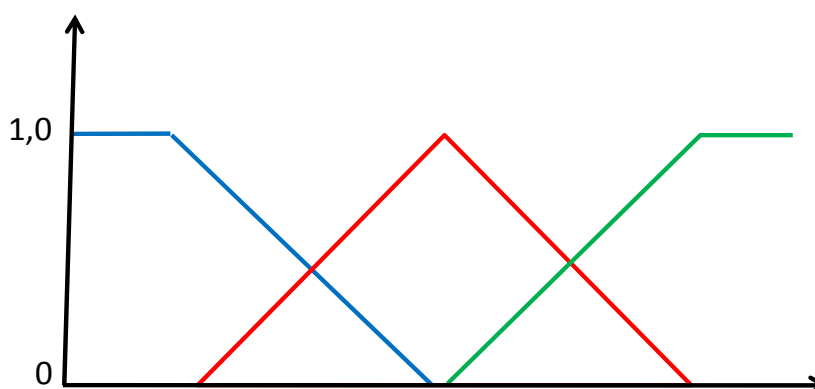


Figura 3.10 Exemplo de funções de pertinência

Fonte: Proposta pelo autor.

¹⁰ O universo de discurso de uma variável representa o intervalo numérico de todos os possíveis valores reais que uma variável específica pode assumir.

Existem diferentes tipos de funções de pertinência, como, por exemplo, a triangular, trapezoidal e gaussiana, mas a função de pertinência triangular é a mais empregada (WU; LEE, 2007; ROSS, 1997; LIU; LIU, 2001), porque é intuitivamente fácil de usar e calcular, por parte dos tomadores de decisão (DUBOIS; PRADE, 1980; LIN; HSU; SHEEN, 2007).

A seguir, segue uma ilustração breve sobre as funções de pertinência triangular e trapezoidal, respectivamente.

3.5.2.1 Função de pertinência triangular

Este tipo de função serve para indicar apenas um único ponto de máximo no conjunto. É definida como (expressão 3.7):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < a \\ \frac{x - a}{m - a} & \text{se } x \in [a, m] \\ \frac{b - x}{b - m} & \text{se } x \in [m, b] \\ 0 & \text{se } x > b \end{cases} \quad (3.7)$$

Em que m é o valor modal, e a e b são os limites inferior e superior, respectivamente.

A Figura 3.11 exemplifica uma função de pertinência triangular.

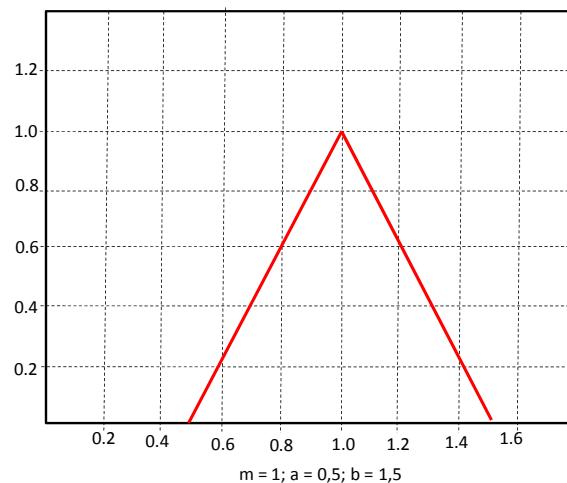


Figura 3.11 função de pertinência triangular
Fonte: Proposta pelo autor.

3.5.2.2 Função de pertinência trapezoidal

Nesta função, é possível representar todo um intervalo de pontos de máximo, conforme a expressão 3.8:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < a \\ \frac{x - a}{m - a} & \text{se } x \in [a, m] \\ 1 & \text{se } x \in [m, n] \\ \frac{b - x}{b - m} & \text{se } x \in [n, b] \\ 0 & \text{se } x > b \end{cases} \quad (3.8)$$

A Figura 3.12 ilustra uma função de pertinência trapezoidal.

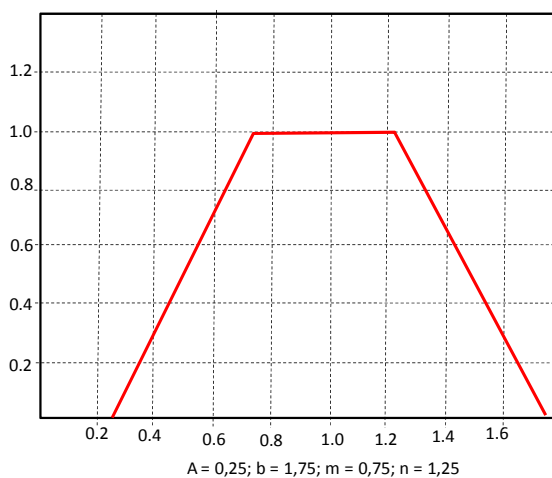


Figura 3.12 Função de pertinência trapezoidal

Fonte: Proposta pelo autor.

3.6 SISTEMAS FUZZY BASEADOS EM REGRAS

Os sistemas *fuzzy* são também conhecidos como sistemas especialistas *fuzzy*, sistemas *fuzzy* baseado em regras, memórias associativas e sistemas de inferência *fuzzy* (HAJI; ASSAD, 2009).

Sistemas baseados em regras *fuzzy* (SBRF) contêm quatro componentes: um processador de entrada que realiza a *fuzzificação* dos dados de entrada, uma coleção de regras *fuzzy* chamada base de regras, uma máquina inferência *fuzzy* e um processador de saída que fornece um vetor como saída (KLIR; YUAN, 1995).

Tais componentes estão conectados conforme indicado na Figura 3.13, supondo $x \in \mathcal{R}^n$ e $y \in \mathcal{R}^m$.

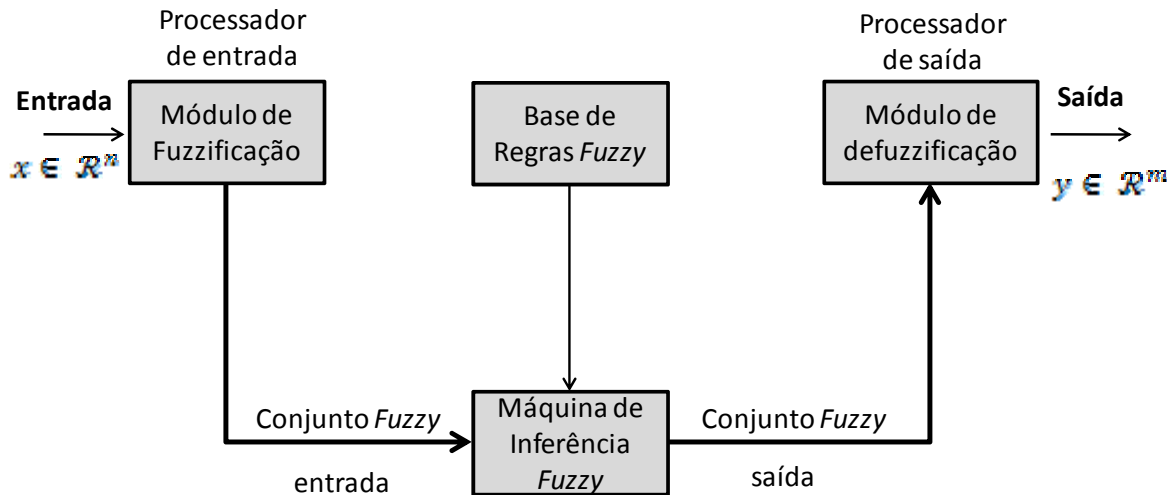


Figura 3.13 Esquema geral de um sistema *fuzzy*
 Fonte: Baseado em Barros e Bassanezi (2006).

As próximas seções visam a detalhar os principais módulos de um sistema *fuzzy* típico.

3.6.1 Fuzzificação

O módulo de *fuzzificação* efetua um mapeamento entre os valores numéricos das variáveis *crisp* de entrada do sistema para graus de compatibilidade com conceitos linguísticos. A atuação de um especialista na área do fenômeno a ser modelado é de fundamental importância para colaborar na construção das funções de pertinências para a descrição das entradas (BARROS; BASSANEZI, 2006; KLIR; YUAN, 1995).

Diferentes abordagens de determinação de regras e funções de pertinência têm sido descritas na literatura. Conhecimentos de especialistas e *brainstorming* são as mais populares e aceitas na prática, enquanto outras técnicas, como metarregras e sistemas de classificação *fuzzy*, que utilizam algoritmos genéticos ou redes neurais artificiais, são aplicáveis quando o

conhecimento de especialistas não está disponível (BASTIAN, 2000; CHEN; KUMARA, 1998).

3.6.2 Base de regras

A base de regras, juntamente com a máquina de inferência, pode ser considerada o núcleo dos sistemas baseados em regras *fuzzy*. Uma base de regras *fuzzy* tem a seguinte forma, como observado no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 Forma geral de uma base de regras *fuzzy*

	R ₁ : “Proposição <i>fuzzy</i> 1”
ou	R ₂ : “Proposição <i>fuzzy</i> 2”

ou	R _r : “Proposição <i>fuzzy</i> r”

Fonte: Baseado em Barros e Bassanezi (2006).

Nos sistemas baseados em regras *fuzzy*, cada proposição tem a forma:

Se “condição” Então “ação”

Em que cada “condição” e cada “ação” são valores assumidos por variáveis linguísticas, e esses, por sua vez, são modelados por conjuntos *fuzzy*.

A base de regras desempenha o papel de relacionar logicamente as informações que formam a base de conhecimentos do sistema *fuzzy*. De maneira geral, pode-se afirmar que quanto mais precisas forem tais informações, menos *fuzzy* (mais *crisp*) serão as relações *fuzzy* que representam a base de conhecimentos (BARROS; BASSANEZI, 2006).

No trabalho de Ohdar e Ray (2004), pode-se observar um caso de modelagem de regras *fuzzy* num ambiente de *supply chain*. Nesse trabalho, os autores propõem um sistema *fuzzy* baseado em regras a fim de mensurar o desempenho dos fornecedores de uma determinada cadeia de suprimentos.

As variáveis linguísticas de entrada que influenciam no desempenho do fornecedor foram definidas como:

- **qualidade** (QR – *Quality Rating*);

- **entrega** (DR – *Delivery Rating*);
- **serviços** (SR – *Service Rating*);
- **preço** (PR – *Price Rating*).

A variável linguística de saída que representa o desempenho do fornecedor, foi estabelecida como Desempenho do Fornecedor (*Supplier Performance*).

A Figura 3.14, a seguir, ilustra as funções de pertinência dessas variáveis e os termos linguísticos utilizados para caracterizar os demais subconjuntos *fuzzy* de cada variável.

Os termos linguísticos definidos para caracterizar cada subconjunto *fuzzy* foram:

- *Very Low* (VL) ou Muito Baixo (MB);
- *Low* (L) ou Baixo (B);
- *Medium* (M) ou Médio (M);
- *High*(H) ou Alto (A);
- *Very High* (VH) ou Muito Alto (MA).

A partir da definição das funções de pertinência tanto das variáveis de entrada quanto das variáveis de saída, é possível mapear a base de regras, geralmente a partir da opinião de especialistas. Dessa maneira, a base de regras resumida do exemplo citado anteriormente pode ser visualizada no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 Amostra da base de regras do sistema *fuzzy* para o exemplo citado

SE	x1 é MB	E	x2 é B	E	x3 é M	E	x4 é B	ENTÃO	y1 é MB
SE	x1 é B	E	x2 é MB	E	x3 é B	E	x4 é M	ENTÃO	y1 é MB
SE	x1 é B	E	x2 é B	E	x3 é A	E	x4 é A	ENTÃO	y1 é B
SE	x1 é MB	E	x2 é M	E	x3 é M	E	x4 é M	ENTÃO	y1 é M
SE	x1 é B	E	x2 é M	E	x3 é M	E	x4 é M	ENTÃO	y1 é M
SE	x1 é M	E	x2 é M	E	x3 é MB	E	x4 é A	ENTÃO	y1 é A
SE	x1 é A	E	x2 é A	E	x3 é B	E	x4 é MA	ENTÃO	y1 é A
SE	x1 é A	E	x2 é A	E	x3 é B	E	x4 é MA	ENTÃO	y1 é MA
SE	x1 é MA	E	x2 é MA	E	x3 é M	E	x4 é MA	ENTÃO	y1 é MA
SE	x1 é A	E	x2 é A	E	x3 é A	E	x4 é MA	ENTÃO	y1 é MA

Fonte: Interpretada a partir de Ohdar e Ray (2004).

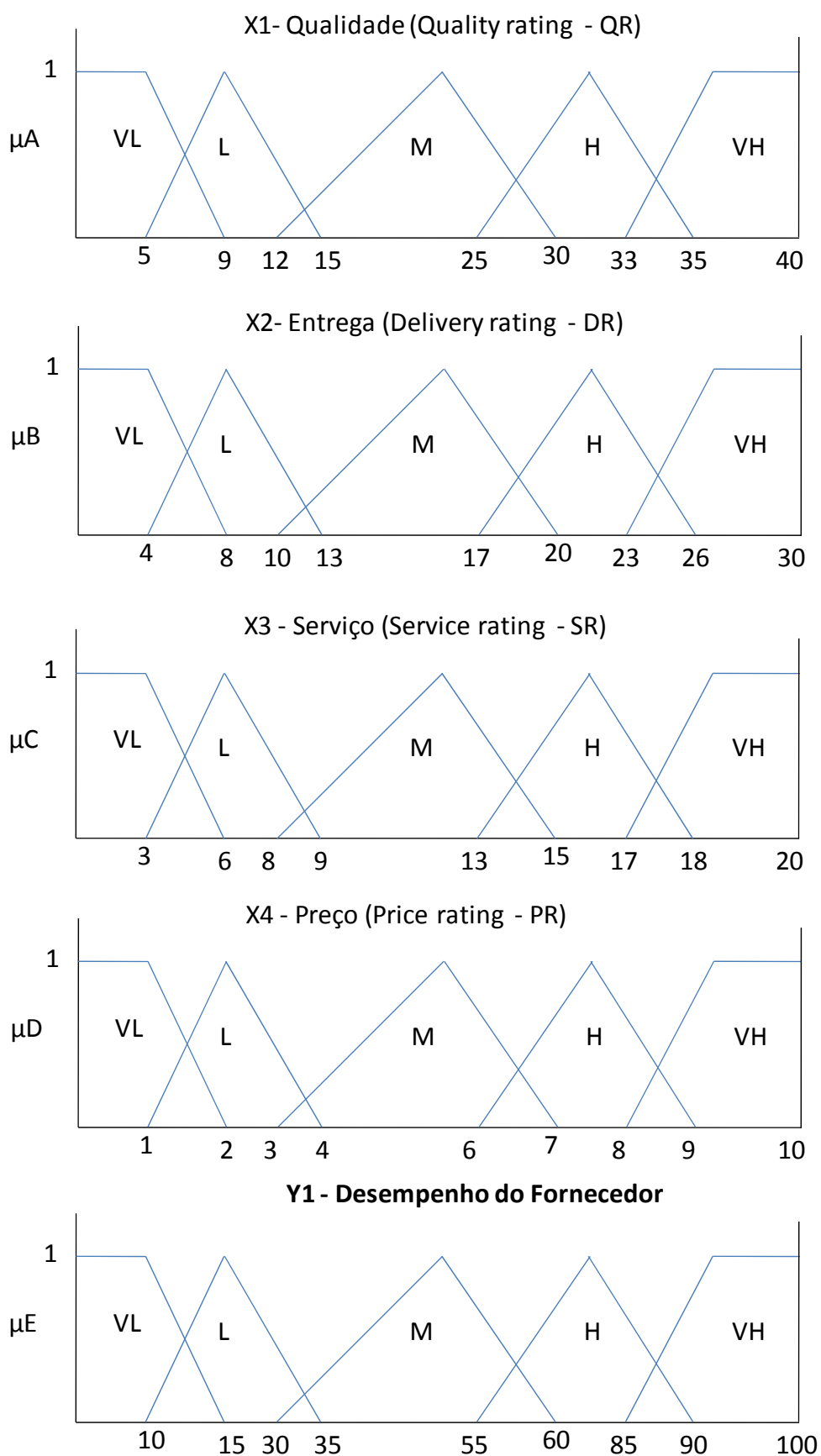


Figura 3.14 Funções de pertinência para as variáveis de entrada e saída
Fonte: Adaptado a partir de Ohdar e Ray (2004).

3.6.3 Máquina de Inferência

A máquina de inferência realiza o processamento *fuzzy* propriamente dito. Nesse bloco, cada proposição *fuzzy* é traduzida matematicamente por meio das técnicas de “raciocínio aproximado”, ou seja, as operações de conjuntos *fuzzy* (BARROS; BASSANEZI, 2006).

Os operadores matemáticos serão selecionados a fim de definir a relação *fuzzy* que modela a base de regras. Desse modo, a máquina de inferência *fuzzy* é de fundamental importância para o sucesso do sistema *fuzzy*, já que fornece a saída a partir de cada entrada *fuzzy* e da relação definida pela base de regras.

A literatura sobre lógica *fuzzy* apresenta basicamente dois métodos de inferência *fuzzy*: o Método de *Mamdani* e o Método de *Kang-Takagi-Sugeno*. A diferença básica entre esses dois métodos recai no tipo de variável de resposta (consequente) e no procedimento de *fuzzificação*.

3.6.3.1 O Método de *Mamdani*

Numa perspectiva teórica, *Mamdani* propôs uma relação binária *fuzzy* \mathcal{M} entre x e μ para modelar matematicamente a base de regras.

Tal método é baseado na regra de composição de inferência *max – min*, seguindo os procedimentos (BARROS; BASSANEZI, 2006):

- Em cada regra R_j , da base de regras *fuzzy*, a condicional “se x é A_j , então μ é B_j ” é modelada pela aplicação \wedge (mínimo);
- Adota-se a *t-norma* \wedge (mínimo) para o conectivo lógico “e”;
- Para o conectivo lógico “ou” adota-se a *t-conorma* \vee (máximo) que conecta as regras *fuzzy* da base de regras.

Desse modo, a relação *fuzzy* \mathcal{M} é o subconjunto *fuzzy* de $X \times U$, cuja função de pertinência é dada pela expressão 3.9.

$$\varphi\mathcal{M}(x, \mu) = \max_{1 \leq i \leq r} (\varphi R_i((x, \mu))) = \max_{1 \leq i \leq r} [\varphi A_j(x) \wedge \varphi B_j(\mu)], \quad (3.9)$$

Em que r é o número de regras que compõem a base de regras e, A_j e B_j são os subconjuntos *fuzzy* da regra j . Cada um dos valores $\varphi A_j(x)$ e $\varphi B_j(\mu)$ são interpretados como os graus com que x e μ estão nos subconjuntos *fuzzy* A_j e B_j , respectivamente.

A Figura 3.15 ilustra uma saída real z de um sistema de inferência do tipo *Mamdani*, sendo gerada a partir das entradas x e y reais e a regra de composição *max – min*.

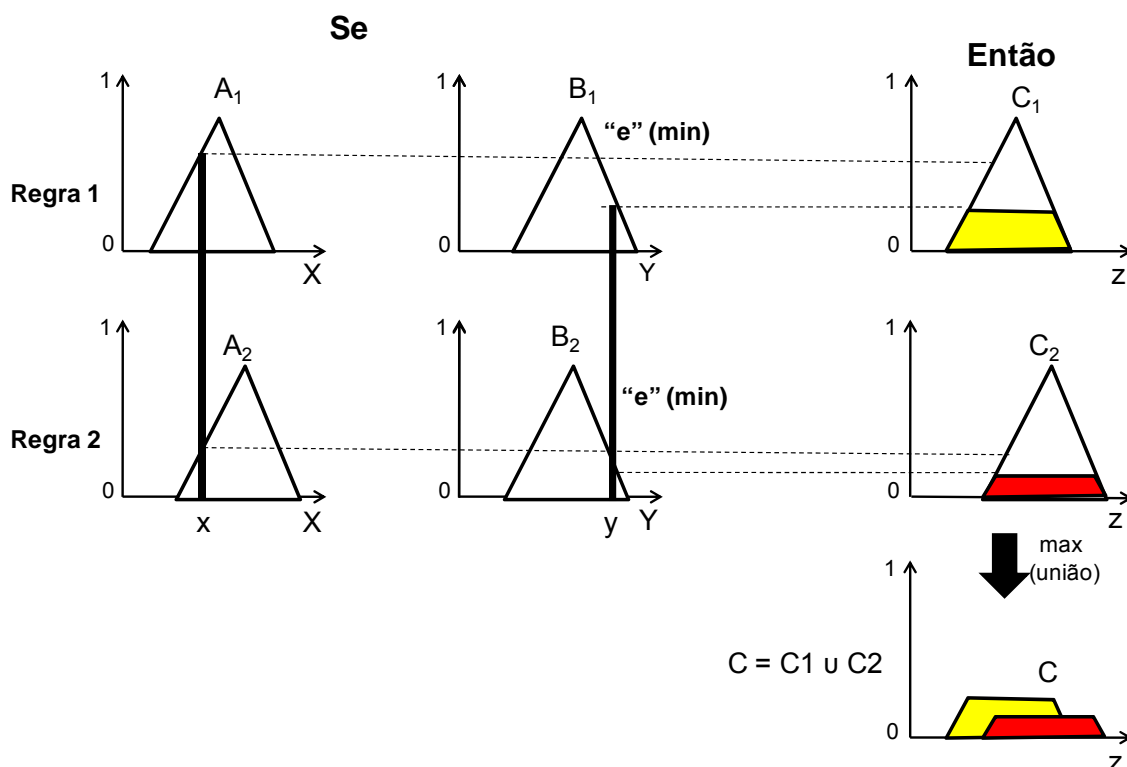


Figura 3.15 Método de *Mamdani* com composição *max – min*
Fonte: Adaptada de Jamshidi e Osery (2001).

3.6.3.2 Método de *Kang-Takagi-Sugeno*

A diferença do método do *Mamdani* para o método de *Kang-Takagi-Sugeno* (KTS) é que a variável de resposta de cada regra é dada explicitamente por uma função dos valores de entradas dessa regra.

Para um caso de duas regras, cada uma com duas variáveis de entrada e uma saída, o método KTS é ilustrado no Quadro 3.4 a seguir.

Quadro 3.4 Base de duas regras para o método KTS

$$R_1: \text{“Se } x_1 \text{ é } A_{11} \text{ e } x_2 \text{ é } A_{12} \text{ então } \mu_1 = g_1(x_1, x_2)\text{”}$$

ou

$$R_2: \text{“Se } x_1 \text{ é } A_{21} \text{ e } x_2 \text{ é } A_{22} \text{ então } \mu_2 = g_2(x_1, x_2)\text{”}$$

Fonte: Baseado em Barros e Bassanezi (2006).

Segundo Barros e Bassanezi (2006), na literatura, o caso que aparece com maior frequência, devido à sua eficiência e aplicabilidade, é aquele em que os consequentes de cada regra são funções lineares. Este caso é chamado de método de *Takagi-Sugeno* (TS).

Em relação à comparação dos dois métodos, Barros e Bassanezi (2006) observam que:

- o método de *Mamdani* é mais simples e mais intuitivo que o de KTS;
- o método de *Mamdani* é mais eficiente que o de KTS quanto à rapidez computacional;
- o método de *Mamdani* tem menos propriedades matemáticas que o de KTS.

3.6.4 Defuzzificação

O módulo de *Defuzzificação* transforma o conceito linguístico, obtido pelo procedimento de inferência, em um valor numérico bem definido (variável *crisp*), o qual é utilizado como a saída efetiva do sistema *fuzzy* (HAJI; ASSAD, 2009; BARROS; BASSANEZI, 2006; SIMÕES; SHAW, 2007).

Os métodos mais conhecidos para a *defuzzificação* são o método do centro de gravidade, centroide ou centro de área (G(B)); o método dos centros máximos (C(B)); e o método da média dos máximos (M(B)).

Centro de gravidade, centroide ou centro de área (G(B)) ou (CoA)

O método do centro de gravidade, centroide ou centro de área (G(B)), é semelhante à média ponderada para a distribuição dos dados, com a diferença de que os pesos são os valores C_{z_i} que indicam o grau de compatibilidade do valor z_i com o conceito modelado pelo conjunto *fuzzy* C. O centro de gravidade dá a média das áreas de todas as figuras que

representam os graus de pertinência de um subconjunto *fuzzy* (BARROS; BASSANEZI, 2006).

As equações 3.10 e 3.11 referem-se ao domínio discreto e domínio contínuo, respectivamente.

$$G(B) = \frac{\sum_{i=0}^n \mu_i C(z_i)}{\sum_{i=0}^n C(z_i)} \quad (3.10)$$

$$G(B) = \frac{\int_{\mathcal{R}} \mu C(\mu) du}{\int_{\mathcal{R}} C(\mu) du} \quad (3.11)$$

Em que \mathcal{R} é a região de integração.

A Figura 3.16 ilustra o gráfico do *defuzzificador* CoA.

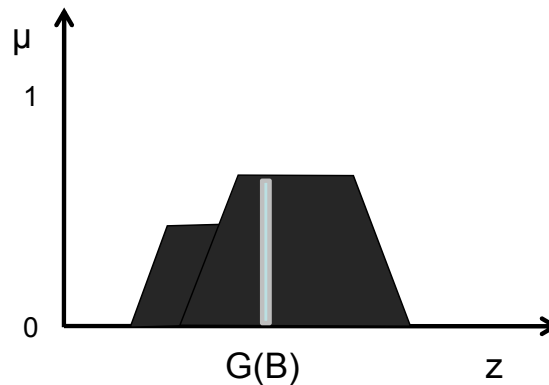


Figura 3.16 Defuzzificador centro de gravidade $G(B)$

Fonte: Adaptado de Barros e Bassanezi (2006).

Centro dos Máximos (C(B)) ou (CoM)

Este método executa um procedimento radical, pois são levadas em consideração apenas as regiões de maior possibilidade entre os possíveis valores da variável que modela o conceito fuzzy em questão. Através da expressão 3.12 tem-se:

$$C(B) = \frac{i + s}{2} \quad (3.12)$$

Em que:

$$i = \inf\{u \in \mathcal{R}: \varphi_B(u) = \max_u \varphi_B(u)\} \text{ e } s = \sup\{u \in \mathcal{R}: \varphi_B(u) = \max_u \varphi_B(u)\}$$

A Figura 3.17 ilustra o gráfico do *defuzzificador* CoM.

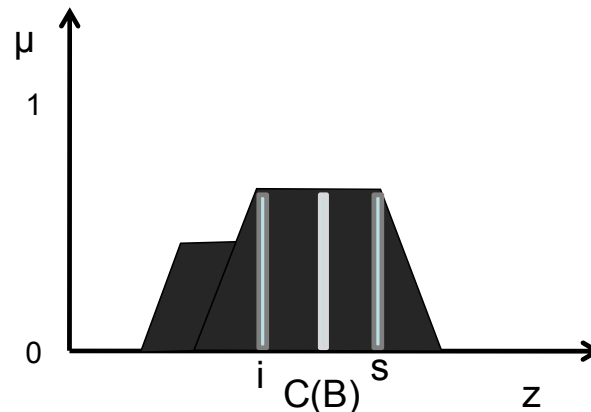


Figura 3.17 *Defuzzificador* Centro do Máximo (CoM)

Fonte: Adaptado de Barros e Bassanezi (2006).

Média dos Máximos (M(B)) ou (MoM)

Para domínio discreto, é comum usar como defuzzificador a média dos máximos cuja definição é dada pela expressão 3.13:

$$M(B) = \frac{\sum \mu_i}{\sum i} \quad (3.13)$$

Em que u_i são os elementos de maior pertinência ao conjunto *fuzzy* B, isto é, para cada i toma-se $\varphi_B(u_i) = \max_u \varphi_B(u)$.

Os conceitos sobre os métodos de defuzzificação não são triviais. Optou-se por uma revisão breve nesta tese apenas para informar ao leitor a existência de tais métodos. Para maior compreensão didática sobre a sistemática de cálculo com exemplos, procurar em Simões e Shaw (2007). Esta referência fornece dicas valiosas sobre qual método de fuzzificação escolher em determinadas circunstâncias de modelagem.

Este trabalho utilizou predominantemente os métodos CoA e CoM por resultar em melhores resultados quanto ao comportamento da variável resposta. Tais detalhes de modelagem estão contidos no capítulo cinco.

C APÍTULO 4

METODOLOGIA

“Por toda a parte, em todos os ramos do conhecimento, há a tendência para o quantitativo, para a medida, de modo tal que pode afirmar-se que o estudo propriamente científico de cada ramo começa quando nele se introduz a medida e o estudo da variação quantitativa como explicação da evolução qualitativa”.

Bento de Jesus Caraça

4.1 OBJETIVO E ESTRUTURA DO CAPÍTULO

Este capítulo tem por objetivo fornecer todos os *inputs* metodológicos para a mensuração do objetivo de pesquisa proposto, definido como:

Apresentar e discutir um modelo de simulação, baseado em lógica *fuzzy* e medidas de desempenho do SCOR 8.0, para prever o desempenho da empresa-foco situada em uma cadeia de suprimentos imediata.

Para tanto, este capítulo abordará conceitos fundamentais na realização de uma pesquisa acadêmica. Será realizada, inicialmente, uma caracterização da pesquisa, quanto à sua natureza, objetivos e orientação aos resultados. Posteriormente, serão definidos as variáveis da pesquisa e o processo geral para a realização deste estudo.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O objetivo principal na condução de uma pesquisa é auxiliar a explicar, compreender, e prever um fenômeno (SEARCY; MENTZER, 2003).

A pesquisa é uma atividade voltada para a solução de problemas por meio do emprego de processos científicos. Ela parte de uma dúvida ou um problema e, pelo método científico, busca uma resposta ou solução para tal (CERVO; BERVIAN, 1996).

A literatura sobre metodologia científica é muito vasta, coexistindo inúmeras e variadas abordagens na discussão de princípios e pressupostos fundamentais.

Existem trabalhos que se dedicam a uma discussão extremamente epistemológica sobre o curso da ciência, bem como enfoques positivistas, dialéticos, fenomenológicos, entre outras abordagens. Apesar desta abordagem ser considerada de fundamental importância, esta pesquisa focou especificamente as abordagens de pesquisas circunscritas à engenharia de produção e gestão de operações.

Serão feitas considerações, análises e definições de tais abordagens para o desenvolvimento desta pesquisa de doutorado.

Uma pesquisa pode ser caracterizada sob diferentes óticas. Dentre essas perspectivas, podem ser apontadas uma orientação quanto aos procedimentos técnicos utilizados, a forma

de abordagem do problema e os propósitos da pesquisa (MIGUEL, 2007; BELHOT, 2004; GIL, 2009).

4.2.1 Procedimentos técnicos

Quanto aos procedimentos técnicos utilizados, existem inúmeras classificações na literatura sobre metodologia de pesquisa. Dependendo da área de conhecimento, podem ser redefinidas ou complementadas.

Miguel (2007) aponta como principais abordagens de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações as seguintes abordagens de pesquisa:

- desenvolvimento teórico conceitual;
- estudo de caso;
- *survey*;
- modelagem e simulação;
- pesquisa-ação;
- pesquisa bibliográfica ou revisão de literatura;
- pesquisas experimentais.

Corroborando a classificação de Miguel (2007), Kotzab et al. (2005) apontam os métodos mais utilizados em pesquisas sobre *Supply Chain Management*:

- construção de teorias;
- *surveys*;
- estudos de caso;
- pesquisa-ação;
- modelagem.

Qual seria a classificação desta pesquisa em relação aos métodos? Para tanto, é interessante estudar algumas definições para os métodos citados anteriormente.

Segundo Cervo e Bervian (1996, p.114), a pesquisa bibliográfica:

[...] procura explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas em documentos. Pode ser realizada independentemente ou como parte da pesquisa descritiva ou experimental. Em ambos os casos, a pesquisa bibliográfica busca conhecer e analisar as contribuições culturais ou científicas do passado existentes sobre um determinado assunto, tema ou problema.

As revisões da literatura apresentam-se como uma atividade importante para identificar, conhecer e acompanhar o desenvolvimento da pesquisa em determinada área do conhecimento, além de permitir a cobertura de uma gama de fenômenos geralmente mais ampla do que aquela que poderia ser pesquisada diretamente. Além disso, as revisões permitem a identificação de perspectivas para pesquisas futuras, contribuindo com sugestões de ideias para o desenvolvimento de novos projetos de pesquisa (MIGUEL, 2007).

Esta pesquisa utilizou como método a pesquisa bibliográfica, enquanto fora realizada a revisão de literatura da mesma. A revisão teórica mostrou-se essencial na fase de estabelecimento da estrutura hierárquica das medidas de desempenho propostas pelo SCOR, além de fornecer todo um cabedal de conhecimento que apoiasse a criação das regras de inferência *fuzzy*.

A revisão de literatura desta pesquisa pode ser caracterizada como não estruturada, porém baseou-se em quatro eixos fundamentais, conforme ilustra a Figura 4.1.

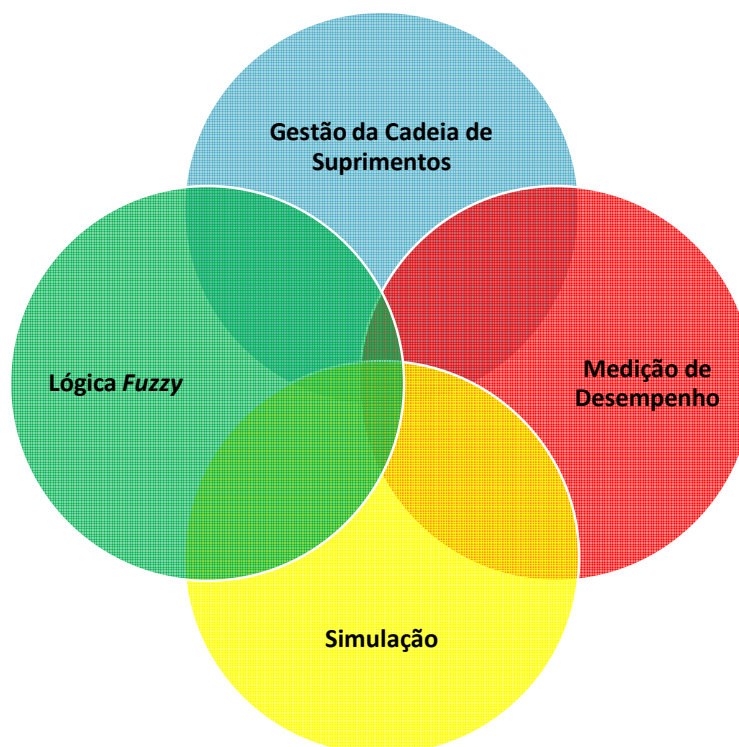


Figura 4.1 Eixos fundamentais do processo de revisão teórica
Fonte: Proposta pelo autor.

As palavras-chave para a pesquisa bibliográfica foram utilizadas, muitas vezes, de maneira simples e única, ou recombinada, a fim de formar expressões mais específicas que pudessem contribuir para uma coleção extensa de trabalhos científicos. A Figura 4.2 ilustra esse contexto, além de esboçar as principais bases de dados científicas utilizadas na pesquisa.

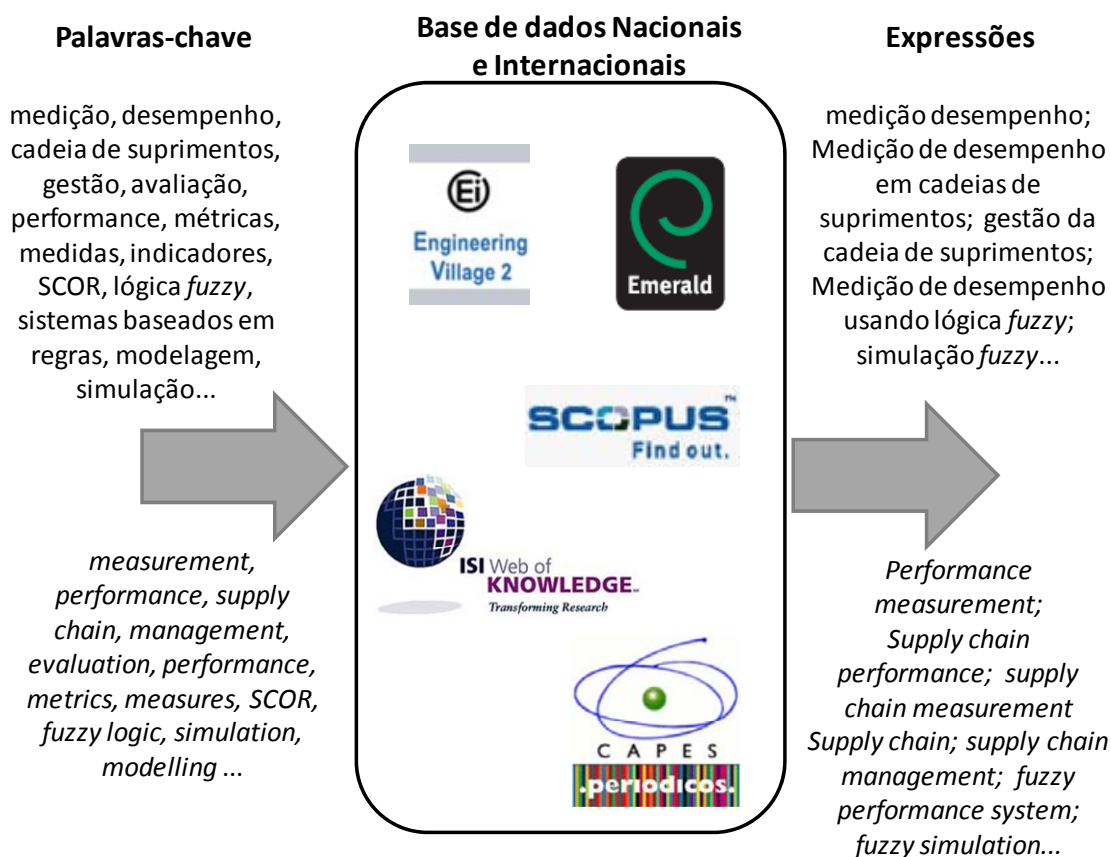


Figura 4.2 Palavras-chave usadas no processo de revisão teórica

Fonte: Proposta pelo autor.

A abordagem de pesquisa **simulação computacional** refere-se ao método de estudo de uma ampla variedade de modelos do mundo real por meio de avaliação numérica, e uso de um *software* projetado para emular as características ou operações dos sistemas. De um ponto de vista prático, simulação é o processo de projetar e criar um modelo computacional, a partir de um sistema real, com o propósito de conduzir um experimento numérico que forneça uma boa compreensão do comportamento de tal sistema para certas condições de operação. Embora possa ser aplicado em situações simples, o maior apelo de tal ferramenta é a aplicação em problemas que envolvam situações complexas (KELTON; SADOWSKI; SADOWSKI, 1998, GRIFO DO AUTOR).

Para Costa (2004), simulação é o processo de modelagem de um sistema real e a experimentação do mesmo. Os resultados das experimentações, após as análises, apresentam uma visão futura do sistema. As informações geradas auxiliam no processo de tomada de decisão, necessárias no momento presente, e contribuem para melhor compreensão do sistema estudado.

Segundo Kelton, Sadowski e Sadowski (1998), existem muitas classificações sobre modelos de simulação, mas geralmente estas envolvem as seguintes dimensões:

- **estática ou dinâmica:** Na simulação estática, o tempo não é considerado um fator de relevância, ao contrário dos modelos dinâmicos;
- **contínua ou discreta:** Em um modelo contínuo, o estado do sistema pode ser mudado continuamente no tempo. Já em um modelo discreto, embora possam ocorrer mudanças no tempo, esses estados são atualizados aos “saltos”, ou de maneira descontínua. Para Costa (2009), a maioria dos modelos utilizados em engenharia de produção são modelos discretos. Segundo o pesquisador, a opção por esses modelos se dá em função da eficiência computacional e da praticamente indiferença dos resultados quando comparados a simulações baseadas em modelos contínuos;
- **determinísticos ou estocásticos:** Modelos cujas entradas não são aleatórias, são ditos determinísticos. Neste caso, as variáveis de entrada são constantes. Modelos estocásticos, por outro lado, operam com entradas aleatorizadas, ou seja, utilizam uma função distribuição de probabilidade para representar tais dados de entrada.

Outra classificação interessante sobre modelagem é se ela é descritiva ou normativa (REINER, 2005). Uma pesquisa empírica descritiva está interessada na criação de um modelo que descreve relacionamentos causais que podem existir na realidade e conduz a melhor compreensão do processo em si. Uma modelagem de natureza normativa está interessada no desenvolvimento de diretrizes, estratégias e ações para melhorar a situação atual.

A modelagem computacional é também caracterizada como uma abordagem de pesquisa quantitativa, como será evidenciado na próxima seção.

Do ponto de vista do método científico “simulação”, esta pesquisa caracteriza-se como uma modelagem descritiva e uma simulação estática, já que o fator tempo, mediante as condições assumidas, não influencia na simulação da avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos.

A abordagem de pesquisa foi baseada na hipótese de que um modelo de simulação quantitativo pode ser construído para explicar o comportamento de processos operacionais e pode auxiliar na explicação de problemas na tomada de decisão nos quais os gerentes de uma cadeia de suprimentos estão envolvidos.

4.2.2 Abordagem do problema

Quanto à forma de abordagem do problema, uma pesquisa pode ser qualitativa ou quantitativa (ROBSON, 2002). A pesquisa quantitativa é uma abordagem de pesquisa científica caracterizada por uma análise de dados numérica. A pesquisa qualitativa é uma abordagem investigativa, que faz uso substancial de dados qualitativos (palavras, observação).

O Quadro 4.1 ilustra uma comparação entre as duas abordagens de pesquisa.

Quadro 4.1 Comparação entre estratégias qualitativa e quantitativa de pesquisa

Características	Abordagem Qualitativa	Abordagem Quantitativa
Hipóteses	Realidade socialmente construída Variáveis complexas e de difícil mensuração	Fatos e dados tem uma realidade objetiva Variáveis podem ser medidas e mensuradas
Propósito	Interpretação Contextualização Compreensão da perspectiva de outras pessoas	Predição Generalização Explicação causal
Método	Coleta de dados utiliza observação ou entrevistas semiestruturadas Descritiva Indutiva Relato parcial	Teste e medição Dedutivo e experimental Análises estatísticas Relato imparcial
Papel do Pesquisador	Pesquisador como um instrumento Envolvimento pessoal Compreensão enfática	Pesquisador aplica instrumentos formais Objetivo Imparcial

Fonte: Baseado em Burns (2000).

Existem pesquisas que combinam tanto métodos quantitativos, quanto métodos qualitativos (ROCCO et al., 2003). Elas são muito utilizadas no campo de ciências sociais e comportamentais, mas podem ser utilizadas perfeitamente em pesquisas da área de operações e *supply chain management*. Existem pesquisas que utilizam, além de modelos quantitativos baseados em dados empíricos, uma abordagem exploratória, por meio de um estudo de caso, para desenvolver as ideias e questões da mesma (REINER, 2005).

O trabalho de Eldab et al. (2002) descreve justamente a importância de se utilizar uma abordagem mista em pesquisas que envolvam simulação. Para os autores, as duas abordagens de pesquisa complementam-se numa pesquisa que envolva simulação.

Esta pesquisa é tanto quantitativa como qualitativa. Quantitativa porque utiliza uma modelagem matemática baseada em lógica *fuzzy* e no modelo SCOR que visa a avaliar e prever quantitativamente o desempenho da empresa-foco situada em uma cadeia de suprimentos. Qualitativa pela característica exploratória de entrevistar um especialista em

gestão da cadeia de suprimentos para a modelagem das regras relativas à atribuição dos relacionamentos de causa e efeito entre as métricas e os atributos de desempenho do SCOR. O especialista em questão foi o próprio autor deste trabalho.

4.2.3 Propósitos da pesquisa

Quanto aos propósitos, pode-se caracterizar uma pesquisa como exploratória, descritiva ou explicativa.

A pesquisa exploratória visa a proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão (GIL, 2009).

Já a pesquisa descritiva visa a descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Algumas pesquisas descritivas vão além da simples identificação da existência de relações entre variáveis e pretendem determinar a natureza dessa relação. Nesse caso, tem-se uma pesquisa descritiva que se aproxima da explicativa (GIL, 2009).

A pesquisa explicativa visa a examinar relações de causa e efeito entre dois ou mais fenômenos. Preocupa-se em determinar se uma explicação (uma relação de causa e efeito) é válida ou não (BELHOT, 2004).

As pesquisas explicativas nas ciências naturais utilizam em sua maioria o método experimental. Nas ciências sociais, em função das dificuldades de aplicação de uma abordagem puramente experimental, recorre-se a outros métodos, como, por exemplo, o observacional. No entanto, em algumas áreas, como a psicologia, por exemplo, em que as pesquisas se revestem de elevado grau de controle, uma pesquisa explicativa é denominada quase-experimental (GIL, 2008).

Como a questão é propor um modelo de simulação que avalie e predize o desempenho da empresa-foco situada em uma cadeia de suprimentos, baseando-se em lógica *fuzzy e no modelo SCOR*, e sabendo que não há modo de se controlar nenhuma variável, o estudo deve ser encarado como um quase-experimento (BRYMAN, 1989).

Belhot (2004) cita ainda a pesquisa causal-comparativa, quando o objetivo de estudo for compreender as relações de causa e efeito entre variáveis, sem, no entanto, poder manipular as variáveis independentes.

Esta pesquisa tem caráter exploratório, descritivo-explicativo. Pode ser considerada exploratória quando da elaboração da revisão bibliográfica, conforme abordado na Figura 4.1, e descritiva-explicativa quando do propósito de se realizar uma avaliação do desempenho da empresa-foco de uma cadeia de suprimentos a partir de uma perspectiva hierárquica e causal entre as medidas de desempenho.

4.3 VARIÁVEIS DA PESQUISA

Segundo Lakatos e Marconi (1991, p.137):

Uma variável pode ser considerada como uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional, que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração. Os valores que são adicionados ao conceito operacional, para transformá-lo em variável, podem ser quantidades, qualidades, características, magnitudes, traços, etc., que se alteram em cada caso particular e são totalmente abrangentes e mutuamente exclusivos. Por sua vez, o conceito operacional pode ser um objeto, processo, agente, fenômeno, problema, etc.

A determinação das variáveis de uma pesquisa é uma tarefa vital na tentativa de se avaliar corretamente o objeto de estudo proposto. Ela pode ser obtida tanto em campo como por meio de levantamento bibliográfico.

O processo de medição e avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos envolve variáveis de naturezas distintas, tais como:

- qualitativas ou quantitativas;
- financeiras ou não financeiras;
- estratégicas, táticas ou operacionais;
- relacionadas à confiabilidade, flexibilidade, responsividade, custos ou gestão de recursos, entre outras mais.

Neste trabalho, a base para a determinação das variáveis de pesquisa foi o modelo de SCOR 8.0, referência para as medidas de desempenho utilizadas pela empresa-foco para avaliar sua cadeia de suprimentos.

Assim como os demais níveis do SCOR são desdobrados em categorias de processos, atividades e tarefas, as medidas de desempenho também o são. Nesse sentido, para cada métrica estabelecida no nível 1, de acordo com os critérios de medição, existe uma hierarquia de métricas inter-relacionadas. O desdobramento de tais medidas, por meio de relações de causa e efeito, torna possível analisar o desempenho de uma cadeia de suprimentos por várias óticas, desde uma visão mais operacional até uma perspectiva mais estratégica.

A Figura 4.3 ilustra esse comportamento para a medida de desempenho *upside supply chain flexibility* (incremento de flexibilidade na cadeia de suprimentos), relativa ao atributo de desempenho flexibilidade. O *Upside Flexibility Supply Chain* é uma medida discreta que define a quantidade de tempo, geralmente em dias, que uma cadeia demoraria para responder a uma variação de demanda não planejada em torno de 20%, sem custo ou penalidade de serviço. Ele pode ser desdobrado em três medidas de nível 2 do SCOR: *Upside Source Flexibility* (incremento de flexibilidade no processo de suprimentos); *Upside Make Flexibility* (incremento de flexibilidade no processo de fabricação), e *Upside Deliver Flexibility* (incremento de flexibilidade no processo de distribuição) (SCC, 2009). Tais medidas representam a capacidade de resposta (em dias) dos processos suprimentos (*source*), fabricação (*make*) e entrega (*deliver*) em se adequar à variação de demanda, sem custos e penalidades de atendimento do serviço ao cliente. Cada indicador, respectivo ao seu processo, possuirá diferentes características de decisão e restrição para se readequar a tal índice de incremento de demanda.

Por exemplo, a medida *Upside Source Flexibility* (Figura 4.3) poderia ser composta por: (a) quantidade de tempo necessário para obtenção de capital para ajustar o *gap* entre a disponibilidade atual de capital e o capital necessário para sustentar o aumento de 20% nas quantidades pedidas; (b) quantidade de tempo necessário para obter e entregar o estoque (matéria-prima ou produtos finais) para processamento do pedido, incluindo estoque de segurança para sustentar os 20% de aumento nas quantidades a serem supridas, e (c) quantidade de tempo necessário para recrutar, contratar e treinar um *staff* adicional para ajustar o *gap* entre a atual força de trabalho e o *staff* necessário para sustentar os 20% de aumento nas quantidades a serem entregues.

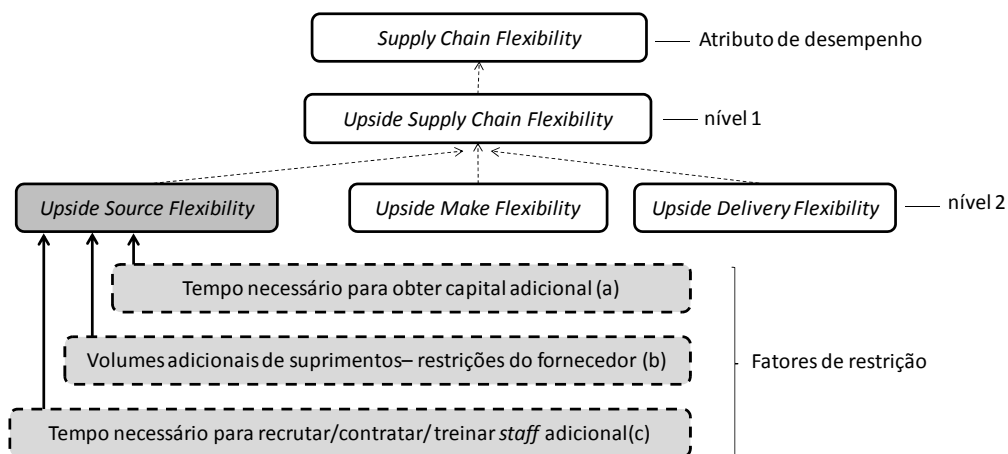


Figura 4.3 Upside Source Flexibility: estrutura hierárquica da métrica

Fonte: Adaptado de *Supply Chain Council* (2009).

Assim, baseado nos relacionamentos de causa e efeito propostos pelo SCOR 8.0, através do documento *SCORCard* (vide Anexo), este trabalho propôs a arquitetura do modelo de predição de desempenho da cadeia de suprimentos apresentado na seção subsequente (Capítulo 5).

Uma síntese da caracterização da pesquisa desenvolvida neste trabalho pode ser ilustrada pelo Quadro 4.2.

Quadro 4.2 Caracterização da pesquisa

Características da metodologia de pesquisa	Abordagens utilizadas na pesquisa
	Pesquisa bibliográfica não estruturada
Procedimentos técnicos	Modelagem Descritiva Simulação Estática
Abordagem do Problema	Quantitativa Qualitativa
Quanto ao Propósito	Exploratória Descritiva-Explicativa Quase-experimental Causal-Comparativa
Atores da pesquisa	Pesquisador da área de SCM
Natureza das variáveis da pesquisa	Quantitativas ou qualitativas Financeiras e Não financeiras Estratégicas, táticas ou operacionais, etc.
Instrumentos de coleta de dados	Fontes Primárias e Secundárias de documentos sobre o SCOR e <i>scorcard</i> de <i>benchmarking</i>

Fonte: Proposto pelo autor.

4.4 PROCESSO DE PESQUISA

Gil (2009) define pesquisa como o procedimento sistemático e racional que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos.

Uma pesquisa realiza-se por meio da execução de um conjunto de ações e estratégias planejadas e organizadas que vão desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados finais.

Assim, a pesquisa foi realizada conforme o processo (Figura 4.4) a seguir:

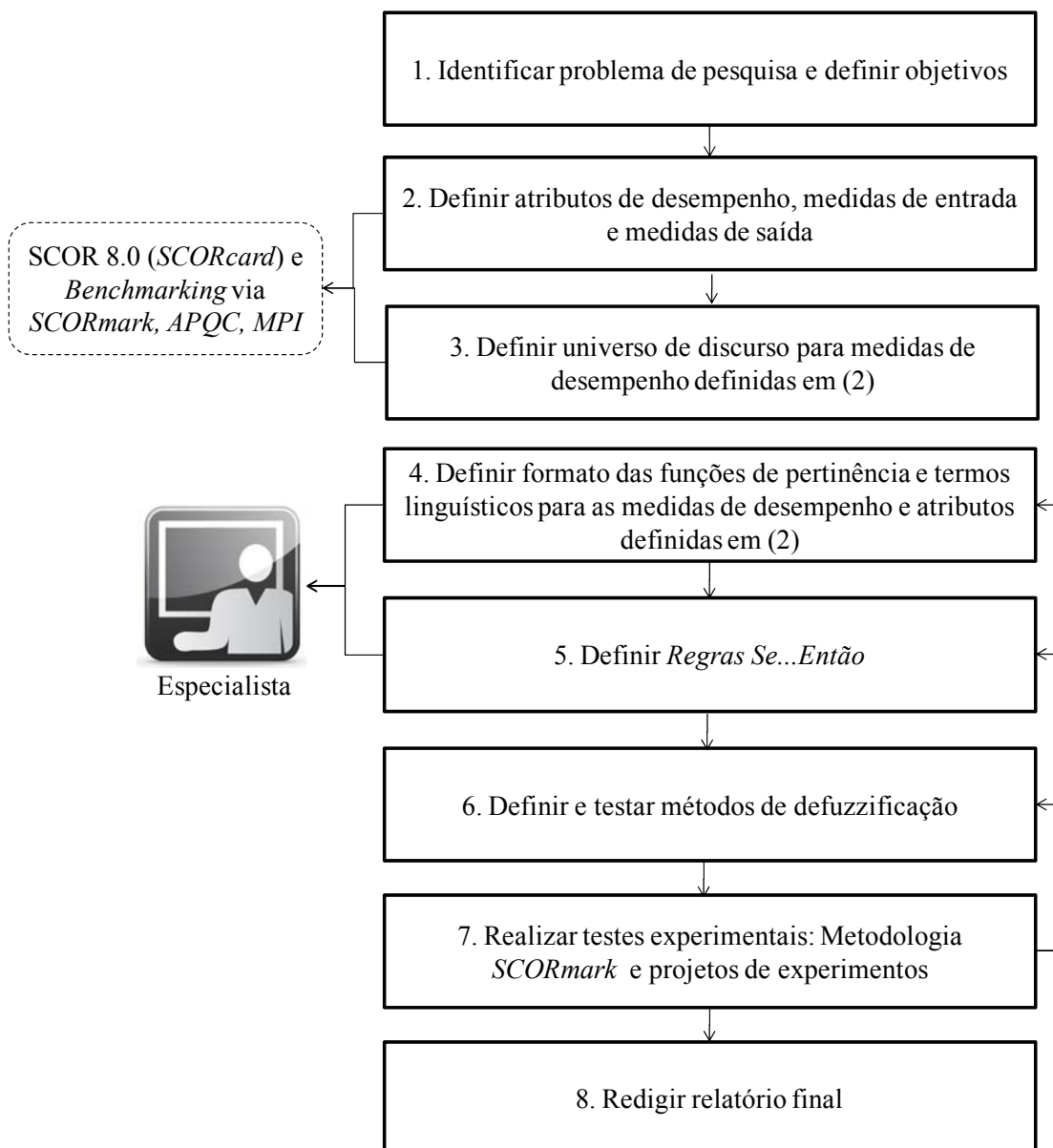


Figura 4.4 Processo da Pesquisa

Fonte: Proposto pelo autor.

CAPÍTULO 5

PROPOSTA DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADO EM LÓGICA *FUZZY* E NO SCOR PARA PREDIZER O DESEMPENHO DA EMPRESA-FOCO EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS

“Não existe alto nem baixo!... A cultura é o laço humano entre a natureza e a beleza suprema concebida pelo espírito perfeito”

Pitágoras

5.1 OBJETIVO DO CAPÍTULO E CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O MODELO

Este capítulo objetiva descrever a estrutura do modelo de simulação proposto. A arquitetura do modelo foi baseada no Modelo SCOR 8.0. O *Supply Chain Council* (SCC, 2009), por meio do documento *Supply Chain SCORcard*¹¹ fornece uma descrição detalhada das medidas de desempenho baseadas nos macroprocessos do SCOR, ou seja, *Plan*, *Source*, *Make*, *Deliver* e *Return*.

Pelo *Supply Chain SCORcard*, é possível compreender o desdobramento das medidas de desempenho em função dos diferentes atributos de desempenho de uma *Supply Chain*, a saber, *Reliability* (Confiabilidade), *Responsiveness* (Responsividade), *Cost* (Custos), *Flexibility* (Flexibilidade) e *Assets* (Ativos).

Desse modo, os indicadores de desempenho são classificados de acordo com cada atributo e podem ser desdobrados em três níveis, formando uma relação de causa e efeito.

Por exemplo, o atributo de desempenho *Reliability* pode ser mensurado pela métrica de nível 1, *Perfect Order Fulfillment*, o qual pode ser desdobrado nas métricas de nível 2, *Percentage of Orders Delivered in Full*, *Delivery Performance to Customer Commit Date*, *Accurate Documentation*, e *Perfect Condition*. Por sua vez, a medida *Percentage of Orders Delivered in Full* pode ser desdobrada nas métricas de nível 3, *Delivery Item Accuracy* e *Delivery Quantity Accuracy*.

Uma dificuldade no projeto de um sistema de medição de desempenho é definir poucas e vitais métricas que representem todos os processos envolvidos na SCM.

Para o modelo proposto nesta tese, foram utilizadas, como critério de escolha das métricas, as informações de *benchmark* disponíveis tanto na literatura quanto em entidades de pesquisas coligadas ao *Supply Chain Council*.

A incorporação das métricas no modelo obedeceu a dois critérios fundamentais:

- medidas mais utilizadas em fontes primárias e secundárias de *benchmark* do SCOR;
- estatísticas disponíveis sobre as medidas, tais como: média; mediana; valor máximo; valor mínimo; valores de referência *Best in Class* e *Worst in Class*;

¹¹ Para maior detalhamento das métricas, respectivas relações de causa e efeito e expressões de cálculo utilizados neste trabalho, consultar o ANEXO, o qual contém parcialmente o documento *SCORcard* do SCOR 8.0. A seção GLOSSÁRIO fornece ainda uma descrição dos termos em inglês utilizados para a proposição do modelo.

valores de referência adotados pelo *Supply Chain SCORmark*¹² (*Superior, Advantage e Parity*).

O Quadro 5.1 fornece as principais fontes de *benchmark* utilizadas neste trabalho para a confecção e parametrização das funções de pertinência utilizadas nos sistemas *fuzzy* desenvolvidos.

Quadro 5.1 Fontes de *Benchmark* de métricas de desempenho do SCOR

Fonte	Link
<i>APQC – Supply Chain Surveys</i>	www.apqc.org
<i>AMR</i>	www.amrresearch.com
<i>CAPS Research</i>	www.capsresearch.com
<i>Hoovers</i>	www.hoovers.com
<i>Manufacturing Performance Institute</i>	www.mpi-group.net
<i>Performance Measurement Group (PMG)</i>	pmgbenchmarking.com
<i>Supply Chain Council</i>	www.supply-chain.org
<i>eSCM</i>	www.escm.org.sg
<i>Warehouse Education Research Council (WERC)</i>	www.werc.org

Fonte: Dados da Pesquisa.

Com relação a bibliografias (livros) específicas sobre o SCOR, pouco foi encontrado. No entanto, os trabalhos de Bolstorff e Rosebaum (2007) e Poluha (2007) mostraram-se extremamente importantes na busca por *scorcards* de indicadores do SCOR e os respectivos valores de referência.

Dentre as fontes pesquisadas, não foram encontrados valores de referência para medidas de desempenho relacionadas às métricas de nível 3 do SCOR. Dessa maneira, o modelo restringiu-se a medidas dos níveis 1 e 2 do SCOR, respectivamente.

O estado da arte efetuado na revisão de literatura não identificou trabalho algum de avaliação de desempenho de SCs que propusesse a utilização do modelo SCOR, com indicadores de nível 2 e a aplicação da lógica *fuzzy* nesse processo.

A Figura 5.1 ilustra a arquitetura do modelo baseado em lógica *fuzzy* proposto para avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos.

¹² O *Supply Chain SCORmark* é um serviço *on line*, exclusivo aos membros do *Supply Chain Council*, para enviarem os dados de desempenho de sua SC e comparar com as melhores práticas do mercado.

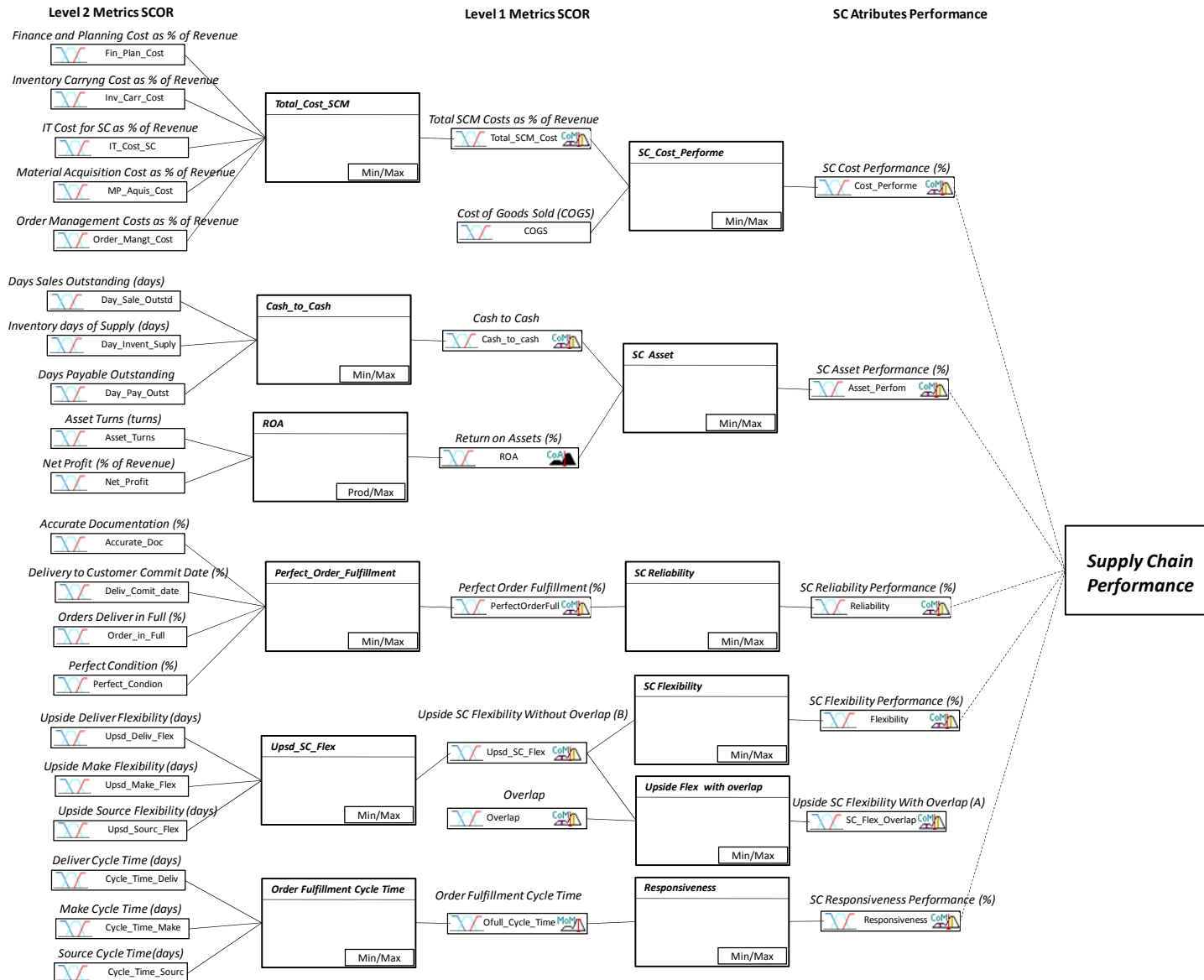


Figura 5.1 Arqitetura geral do modelo proposto

A Figura 5.2 ilustra o modelo segundo uma visão hierárquica do SCOR:

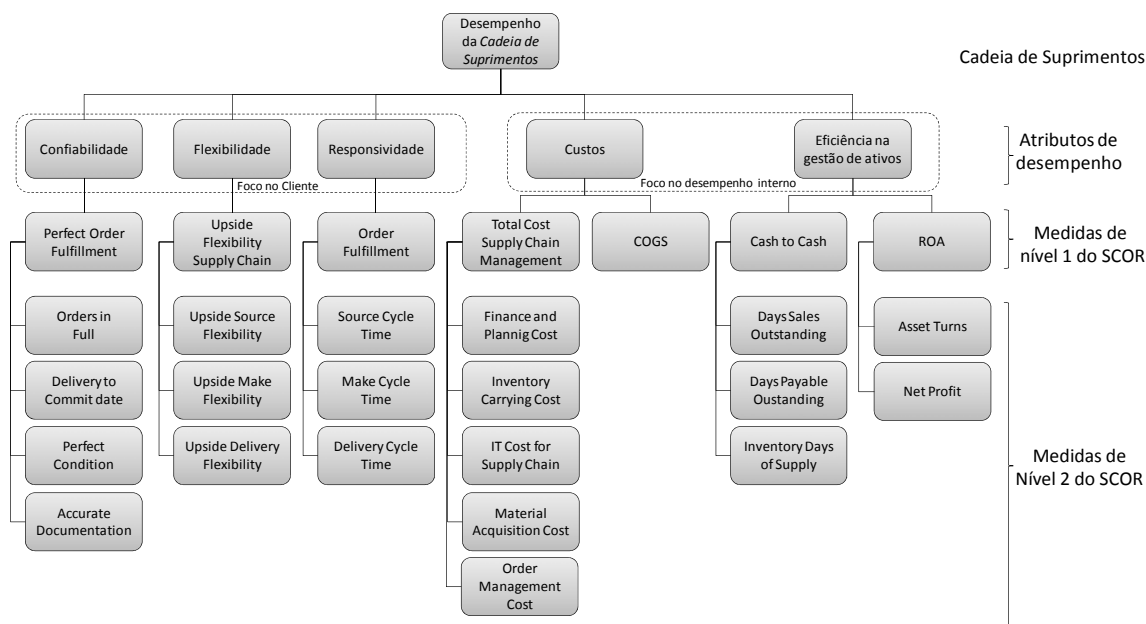


Figura 5.2 Visão hierárquica do modelo proposto

Fonte: Proposto pelo Autor.

A seção a seguir descreve toda a estrutura técnica do modelo de simulação baseado em lógica *fuzzy*.

5.2 ESTRUTURA DO MODELO

O modelo proposto foi desenvolvido no ambiente *FuzzyTECH 5.54d Professional Edition*. Segundo Simões e Shaw (2007), o *FuzzyTECH* é uma das ferramentas mais adequadas ao desenvolvimento de sistemas *fuzzy* por possibilitar:

- uma manipulação gráfica em vez de programação: a ferramenta permite alterações rápidas nos valores de referência das funções de pertinência, regras, processo de inferência, bem como nos métodos de defuzzificação e demais variantes de um sistema *fuzzy*;
- uma visualização interativa: o projetista pode imediatamente visualizar o relacionamento dinâmico entre diferentes variáveis, com dados de entrada manualmente inseridos na base de regras.

A vantagem desta ferramenta é a possibilidade de geração de regras automáticas para as variáveis de entrada. O sistema gera uma listagem completa das possíveis combinações entre as funções de pertinência das variáveis de entrada. Essa funcionalidade auxilia muito na geração das regras de inferência.

Outra ferramenta muito utilizada para o desenvolvimento de sistemas *fuzzy* é o *Matlab*, por meio do *Toolbox Fuzzy Logic*. No entanto, nesse ambiente, não é possível criar as regras de maneira automática. Outra desvantagem está no desenvolvimento de um modelo de simulação por meio do ambiente *Simulink* do próprio *Matlab*, o qual não apresenta a mesma facilidade apresentada no ambiente *FuzzyTECH*. No entanto, o *Matlab* permite utilizar o método de defuzzificação Takagi-Sugeno.

O primeiro passo na construção de um sistema *fuzzy* é decidir quais variáveis comporão o modelo. Essa fase foi suplantada quando adotadas as métricas mais utilizadas nos *scorcards* do modelo SCOR, conforme mencionado na seção anterior.

A fase seguinte consistiu em definir, para cada submodelo¹, a quantidade de funções de pertinência para cada variável de entrada e de saída.

Segundo Von Altrock (1996), em projetos com muitos níveis de máquinas de inferência, como é o caso desta tese, sugere-se utilizar, para cada variável de entrada, três funções de pertinência, e para a variável de saída, cinco funções de pertinência.

Vários trabalhos mencionam ainda que, em projetos iniciais de sistemas *fuzzy*, é recomendável utilizar funções de pertinência triangulares, pela facilidade de parametrização das mesmas. Por outro lado, à medida que o conhecimento sobre o comportamento das variáveis aumenta, o modelador pode utilizar funções de pertinência mais complexas, como a sigmoide, por exemplo.

Esta tese utilizou, predominantemente, funções de pertinência triangulares. Em relação à quantidade de funções por variável de entrada, foram utilizadas na maioria de 3 a 5 funções, e em alguns casos 7 ou 9, em função do número de métricas e seus relacionamentos de causa e efeito.

Quanto aos métodos de *fuzzificação*, a pesquisa utilizou, predominantemente, o método do Centro dos Máximos (CoM) e, em alguns casos, o método do Centro de Área (CoA). A determinação por esses métodos deu-se de maneira empírica, ou seja, escolhia-se o método pelo resultado mais lógico e provável do relacionamento entre variáveis de entrada e a variável resposta.

¹ Este autor denomina *submodelo* os modelos *fuzzy* desenvolvidos para cada atributo de desempenho da SC.

Revedo a estrutura proposta na Figura 5.1, observa-se a existência de praticamente dois níveis de máquinas de inferência: (a) o relacionamento entre métricas de nível 2, que influenciarão as métricas de nível 1; (b) o relacionamento entre métricas de nível 1, que influenciarão os atributos de desempenho da SC.

O Quadro 5.2 resume a totalidade das métricas utilizadas, bem como a abreviação utilizada no modelo. Pela lógica do sistema *fuzzy* proposto, todos os indicadores e atributos de desempenho da SC, a jusante das medidas de nível 2, têm seu comportamento influenciado por estas métricas.

Quadro 5.2 Métricas utilizadas no modelo: abreviação e unidades

Variável (medida ou atributo)	Nível	Abreviação	Unidade
<i>Accurate Documentation</i>	2	<i>Accurate_Doc</i>	%
<i>Delivery Performance to Customer Commit Date</i>	2	<i>Deliv_comit_date</i>	%
<i>Orders Delivered in Full Perfect Condition</i>	2	<i>Orders_in_Full Perfect_condion</i>	%
Perfect Order Fulfillment	1	<i>PerfectOrderFull</i>	%
Reliability Supply Chain Performance	Atributo	<i>Reliability</i>	%
<i>Assets Turns</i>	2	<i>Asset_Turns</i>	Turns
<i>Net Profit</i>	2	<i>Net_Profit</i>	% of Revenue
Return Over Assets (ROA)	1	<i>ROA</i>	% of Revenue
<i>Inventory Days of Supply</i>	2	<i>Day_Invent_Suply</i>	days
<i>Days Payable Outstanding</i>	2	<i>Day_Pay_Outst</i>	days
<i>Days Sales Outstanding</i>	2	<i>Day_Sale_Outstd</i>	days
Cash to Cash	1	<i>Cash_to_Cash</i>	days
Assets Supply Chain Performance	Atributo	<i>Asset_Perform</i>	%
<i>Delivery Cycle Time</i>	2	<i>Cycle_Time_Deliv</i>	days
<i>Make Cycle Time</i>	2	<i>Cycle_Time_Make</i>	days
<i>Source Cycle Time</i>	2	<i>Cycle_Time_Sourc</i>	days
Order Fulfillment Cycle Time	1	<i>OFull_Cycle_Time</i>	days
Responsiveness Supply Chain Performance	Atributo	<i>Responsiveness</i>	%
<i>Finance and Planning Cost</i>	2	<i>Fin_Plan_Cost</i>	% of Revenue
<i>Inventory Carrying Cost</i>	2	<i>Inv_Carr_Cost</i>	% of Revenue
<i>Information Technology Supply Chain Cost</i>	2	<i>IT_Cost_SC</i>	% of Revenue
<i>Material Acquisition Cost</i>	2	<i>MP_Aquis_Cost</i>	% of Revenue
<i>Order Management Cost</i>	2	<i>Order_Mangt_Cost</i>	% of Revenue
Total Supply Chain Management Cost	1	<i>Total_SCM_Cost</i>	% of Revenue
Cost of Goods Sold¹	1	<i>COGS</i>	% of Revenue
Cost Supply Chain Performance	Atributo	<i>Cost_Performance</i>	%
<i>Upside Deliver Flexibility</i>	2	<i>Upsd_Deliv_Flex</i>	days
<i>Upside Make Flexibility</i>	2	<i>Upsd_Make_Flex</i>	days
<i>Upside Source Flexibility</i>	2	<i>Upsd_Sourc_Flex</i>	days
Upside SC Flexibility (A)	1	<i>Upsd_SC_Flex_A</i>	days
Upside Supply Chain Flexibility (B)	1	<i>Upsd_SC_Flex_B</i>	days
Flexibility Supply Chain Performance	Atributo	<i>SC_Flex</i>	%

Fonte: Dados da pesquisa.

¹ O COGS (Custo de mercadorias vendidas) é a única métrica de nível 1 que foi considerada como variável independente, pois não foram encontrados valores referenciais do desdobramento desta no nível 2 do modelo SCOR.

O Quadro 5.3 resume os principais termos técnicos utilizados no projeto do sistema *fuzzy*.

Quadro 5.3 Termos utilizados no projeto do sistema *fuzzy*

Termo	Abreviação
Método de Defuzzificação Centro do Máximo	CoM
Método de Defuzzificação Média do Máximo	MoM
Método de Defuzzificação Centro de Área	CoA
Operador <i>Fuzzy</i> para agregação AND	MIN
Operador <i>Fuzzy</i> para agregação OR	MAX
Variável Linguística	LV
Função de Pertinência	MBF
Bloco de Regras	RB

Fonte: Manual *FuzzyTECH*.

O detalhamento técnico do projeto do simulador *fuzzy* proposto seguirá a estrutura esboçada na Figura 5.1. Desta maneira, cada sistema *fuzzy* será detalhado com o objetivo de representar o processo de medidas de nível 2, que resultam no comportamento das medidas de nível 1 do SCOR. Posteriormente, o nível de análise será em função de como o comportamento dos atributos de desempenho da SC é afetado pelo conjunto de indicadores do nível 1 do SCOR.

As próximas seções descreverão o modelo de simulação baseado em lógica *fuzzy* a partir dos atributos de desempenho da SCM.

5.2.1 Reliability

A Figura 5.3 ilustra os níveis do submodelo “*Reliability*”.

Atributo	Métrica (nível 1)	Métrica (Level 2)
Reliability	Perfect Order Fulfillment	Orders Delivered in Full
		Delivery Performance to Customer Commit Date
		Accurate Documentation
		Perfect Condition

Figura 5.3 Submodelo *Reliability*

Fonte: Dados da pesquisa.

A Confiabilidade de Entrega de uma Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Delivery Reliability*) significa o desempenho de uma cadeia de suprimentos na entrega, ou seja, o produto correto, no lugar correto, na quantidade correta, no tempo correto, na integridade correta (qualidade do produto e embalagem), com a documentação correta e o cliente certo (SCC, 2009).

Um indicador muito utilizado para mensurar a confiabilidade de uma SC é o chamado Pedido Perfeito ou *Perfect Order Fulfillment*. Um pedido, para ser considerado perfeito, deve:

- ser entregue no prazo (*delivery to commit date*): comprometimento quanto à data de entrega;
- ser completo (*orders in full*): significa entregar os itens e as quantidades requeridas pelo cliente;
- ter a documentação correta (*accurate documentation*): significa entregar o pedido com a documentação livre de erros na fatura, no recibo de entrega e em outras comunicações com o cliente (CHRISTOPHER, 2007);
- entregar o produto em perfeitas condições quanto a possíveis avarias no próprio produto ou embalagem (*perfect condition*).

Outra métrica muito utilizada para avaliar a confiabilidade de uma SC é o *On Time In Full*, mais conhecido como OTIF (SEHGAL; SAHAY; GOYAL, 2006; GODSELL; VAN HOEK, 2009; GODSELL; BIRTWISTLE; VAN HOEK, 2010). Tal métrica representa a confiabilidade quanto à data de entrega (*On Time*) e a confiabilidade quanto à quantidade solicitada pelo cliente (*In Full*).

Comparado-se a métrica Pedido Perfeito com o indicador OTIF, percebe-se que o primeiro se configura como uma medida mais completa, por envolver, além das entregas no prazo e na quantidade certa, a documentação correta e o produto livre de avarias físicas.

De acordo com o modelo SCOR, as variáveis de nível 2 citadas anteriormente influenciam diretamente sobre o indicador de nível 1 *Perfect Order Fulfillment*.

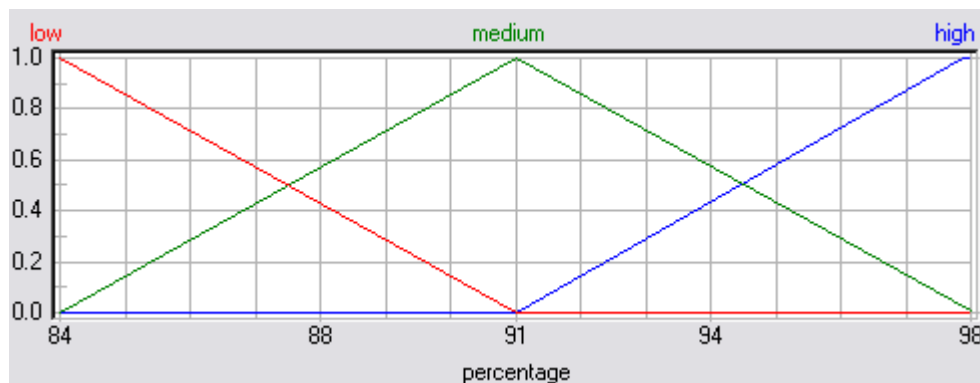
O Quadro 5.4 resume as variáveis de entrada (métricas do nível 2) utilizadas no submodelo proposto, bem como os valores de referência utilizados para constituir as funções de pertinência.

Quadro 5.4 Características das variáveis de entrada do modelo *Reliability*

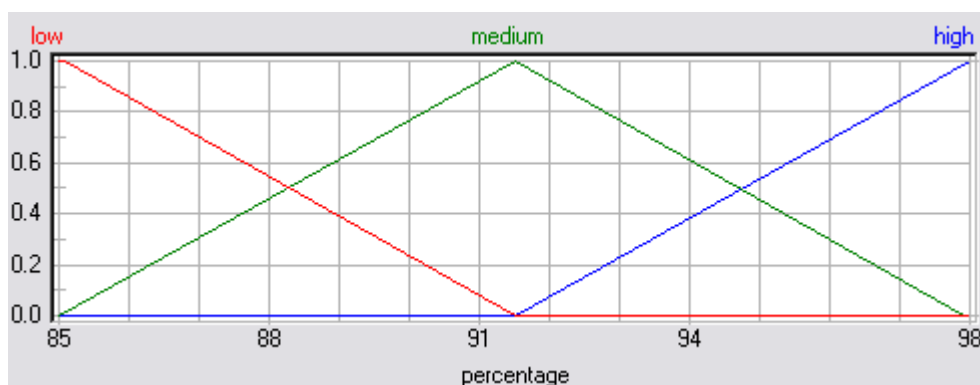
Nome da variável	Unidade	Min	Max	Termos linguísticos
<i>Accurate_Doc</i>	<i>percentage</i>	84	98	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>
<i>Orders_in_Full</i>	<i>percentage</i>	85	98	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>
<i>Perfect_condion</i>	<i>percentage</i>	85	98	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>
<i>Deliv_comit_date</i>	<i>percentage</i>	85	98	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>

Fonte: Dados da Pesquisa.

As Figuras 5.4; 5.5; 5.6 e 5.7 ilustram as funções de pertinência das variáveis de entrada listadas no Quadro 5.4.

**Figura 5.4** Funções de pertinência para *Accurate Documentation*.

Fonte: Dados da Pesquisa.

**Figura 5.5** Funções de pertinência para *Delivery Commit Date*

Fonte: Dados da Pesquisa.

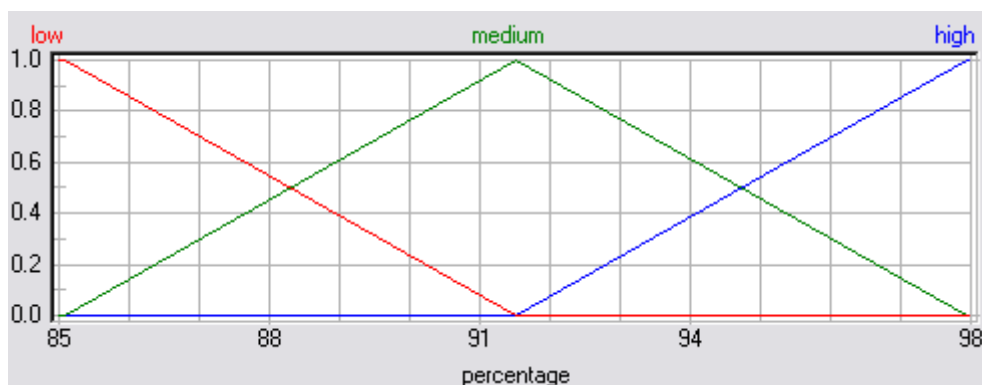


Figura 5.6 Funções de pertinência para *Orders in Full*

Fonte: Dados da Pesquisa.

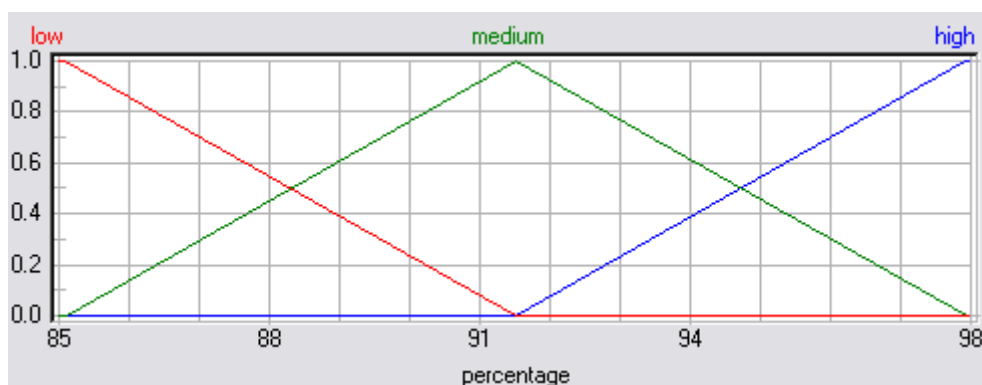




Figura 5.7 Funções de pertinência para *Perfect Condition*

Fonte: Dados da Pesquisa.

O Quadro 5.5 resume as variáveis de saída (métricas do nível 1 e atributos de desempenho da SC) utilizadas no submodelo proposto, bem como os valores de referência utilizados para constituir as funções de pertinência.

Quadro 5.5 Características das variáveis de saída do modelo *Reliability*

Nome da variável de saída	Método de Defuzzificação	Unidade	Min	Max	Termos Linguísticos
<i>PerfectOrderFull</i>		percentage	85	98	very_low low medium high very_high
<i>Reliability</i>		percentage	0	100	very_low low medium high very_high

Fonte: Dados da Pesquisa.

As Figuras 5.8 e 5.9 ilustram as funções de pertinência das variáveis de saída listadas no Quadro 5.5.

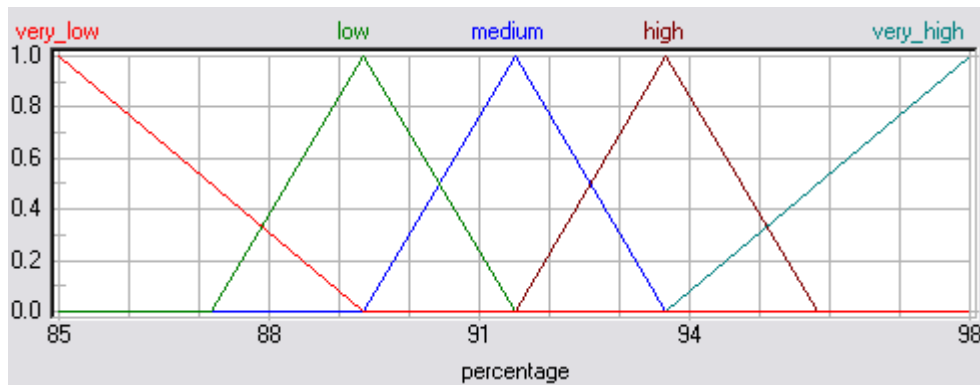


Figura 5.8 Funções de pertinência para *Perfect Order Fulfillment*

Fonte: Dados da Pesquisa.

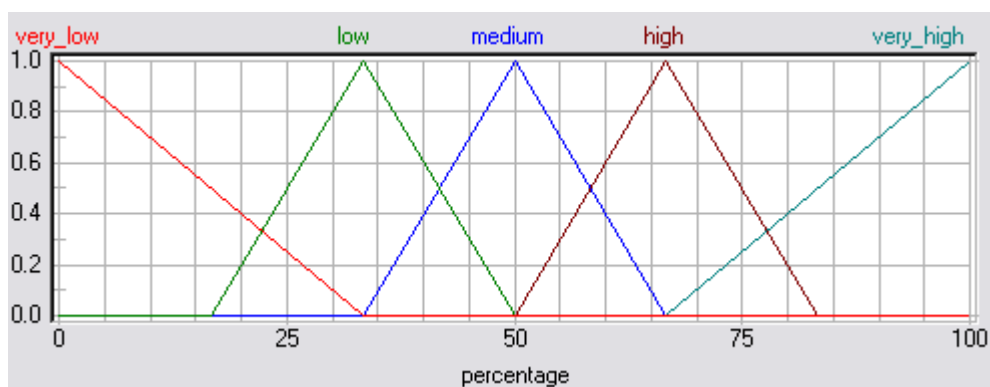


Figura 5.9 Funções de pertinência para *Reliability*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 5.1, percebe-se que, num primeiro momento, a variável *perfect order fulfillment* é uma variável de saída. No entanto, passa a ser considerada uma variável de entrada quando o objeto de análise for o atributo de desempenho *Reliability*. Isso ocorrerá em todos os submodelos apresentados.

Tal característica do modelo proposto é extremamente interessante por, justamente, desencadear uma relação de causa e efeito desde os indicadores do nível 2, até o nível dos atributos de desempenho da SC. Tal comportamento do sistema procura atender aos questionamentos de Holmberg (2000) em relação ao desenvolvimento de sistemas de medição de desempenho para cadeias de suprimentos com uma característica mais sistêmica e balanceada.

O bloco de regras que relaciona as variáveis de entrada *perfect condition*, *accurate documentation*, *deliver commit date* e *orders in full* à variável de saída *perfect order fulfillment*, tem parâmetro de agregação min-max, totalizando 81 regras, podendo ser visualizada no Quadro 5.6.

Quadro 5.6 Bloco de regras para *Perfect Order Fulfillment*

Se				Então
Accurate_Doc	Deliv_comit_date	Orders_in_Full	Perfect_condion	PerfectOrderFull
low	low	low	low	very_low
low	low	low	medium	very_low
low	low	low	high	low
low	low	medium	low	very_low
low	low	medium	medium	low
low	low	medium	high	medium
low	low	high	low	low
low	low	high	medium	medium
low	low	high	high	medium
low	medium	low	low	very_low
low	medium	low	medium	low
low	medium	low	high	medium
low	medium	medium	low	low
low	medium	medium	medium	low
low	medium	medium	high	medium
low	medium	high	low	medium
low	medium	high	medium	medium
low	medium	high	high	high
low	high	low	low	low
low	high	low	medium	medium
low	high	low	high	medium
low	high	medium	low	medium
low	high	medium	medium	medium
low	high	medium	high	high
low	high	high	low	medium
low	high	high	medium	high
low	high	high	high	high
medium	low	low	low	very_low
medium	low	low	medium	low
medium	low	low	high	medium
medium	low	medium	low	low
medium	low	medium	medium	low
medium	low	medium	high	medium
medium	low	high	low	medium
medium	low	high	medium	medium
medium	low	high	high	high
medium	medium	low	low	low
medium	medium	low	medium	low
medium	medium	low	high	medium
medium	medium	medium	low	low
medium	medium	medium	medium	medium
medium	medium	medium	high	medium
medium	medium	high	low	medium
medium	medium	high	medium	medium
medium	medium	high	high	high
medium	high	low	low	medium
medium	high	low	medium	medium
medium	high	low	high	high
medium	high	medium	low	medium
medium	high	medium	medium	medium
medium	high	medium	high	high
medium	high	high	low	high
medium	high	high	medium	high
medium	high	high	high	very_high
high	low	low	low	low

Se		Então		
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>

Fonte: Dados da Pesquisa

O bloco de regras que relaciona, a agora, variável de entrada *perfect order fulfillment* à variável de saída *Reliability*, tem como parâmetro de agregação min-max, totalizando 5 regras, e pode ser visualizado no Quadro 5.7.

Quadro 5.7 Bloco de regras para *Reliability*

Se	Então
PerfectOrderFull	Reliability
<i>very_low</i>	<i>very_low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>
<i>very_high</i>	<i>very_high</i>

Fonte: Dados da Pesquisa.

5.2.2 Flexibility

A Figura 5.10 ilustra os níveis do submodelo “*Flexibility*”.

Atributo	Métrica (nível 1)	Métrica (Level 2)
SC Flexibility	Upside Supply Chain Flexibility	Upside Source Flexibility
		Upside Make Flexibility
		Upside Deliver Flexibility

Figura 5.10 Submodelo *Flexibility*

Fonte: Dados da pesquisa.

A Flexibilidade de uma Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Flexibility*) significa a agilidade de uma cadeia de suprimentos em responder às mudanças de mercado para ganhar ou manter uma vantagem competitiva. Um dos indicadores mais utilizados para se avaliar a flexibilidade de uma cadeia é o *Upside Supply Chain Flexibility* (SCC, 2009).

O Incremento de Flexibilidade da SC ou *Upside Flexibility Supply Chain* é uma medida discreta que define a quantidade de tempo, geralmente em dias, que uma cadeia demoraria para responder a uma variação de demanda não planejada em torno de 20%, sem custo ou penalidade de serviço.

No fórum de discussão *SCORtalk* disponibilizado no portal do *Supply Chain Council*, alguns analistas do SCOR tecem algumas considerações interessantes sobre essa medida.

Primeiramente, alertam que a taxa de variação de demanda rotulada em 20% não é um valor fixo, podendo ajustar-se mediante o ambiente de operação de cada cadeia de suprimentos. A escolha dos “20%” foi devido a uma pesquisa junto a maior parte das SCs pesquisadas que situaram a variação de demanda em torno de 20%. Outra consideração clássica é que a medida representa somente variações positivas de demanda. No entanto, alguns analistas e usuários do SCOR advogam para a possibilidade de a capacidade de resposta da empresa tornar-se mais “enxuta” quando houver variação negativa de demanda, ou seja, uma diminuição em relação ao valor médio de referência da demanda considerada naquele período.

O *Upside Supply Chain Flexibility* pode ser desdobrado em três medidas de nível 2 do SCOR:

- *Upside Source Flexibility;*
- *Upside Make Flexibility;*
- *Upside Deliver Flexibility.*

As medidas de nível 2, citadas anteriormente, representam a capacidade de resposta (em dias) dos processos *source*, *make* e *deliver* em se adequar à variação de demanda, sem custos e penalidades de atendimento do serviço ao cliente.

Cada medida, respectiva ao seu processo, possuirá diferentes características de decisão para se readequar a tal índice de variação de demanda. A Figura 5.10 ilustra, por exemplo, as diferentes naturezas de decisões em relação a um possível aumento de demanda.

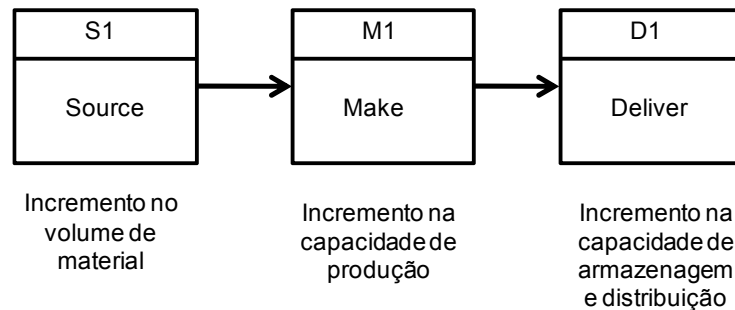


Figura 5.11 *Upside SC Flexibility*: incremento de demanda
Fonte: SCORtalk/SCC (2009).

Por exemplo, a medida *Upside Source Flexibility* poderia ser composta pela inércia necessária a uma renegociação com a base de fornecedores para suportar o incremento de demanda, discutir novas estratégias de entrega e custos de transporte *inbound*, entre outras.

A medida *Upside Make Flexibility* poderia ser decomposta na capacidade de resposta em aumentar sua capacidade fabril. Isso necessitaria rediscutir as estratégias trabalhistas da empresa, a obtenção de recursos financeiros para possíveis pagamentos de horas extras, turnos extras, compra de máquinas. A compra de novos equipamentos resultaria na necessidade de capacitação e treinamento de trabalhadores, incluindo a curva de experiência dos mesmos nessa nova tecnologia, etc.

A medida *Upside Deliver Flexibility* incorreria na mesma natureza de decisões das medidas citadas anteriormente, no entanto focadas nos processos *outbounds*. Por exemplo, estaria relacionada à capacidade de resposta em ampliar a capacidade do armazém, rediscutir e reprojeter estratégias de distribuição, transportes colaborativos, etc.

Dessa maneira, a expressão matemática da medida *Upside SC Flexibility* ficaria:

$$\begin{aligned}
 \text{Upside SC Flexibility} = & \text{Upside Source Flexibility} \\
 & + \\
 & \text{Upside Make Flexibility} \\
 & + \\
 & \text{Upside Deliver Flexibility}
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

No entanto, uma possibilidade de sobreposição de tempos de resposta pode ocorrer nos três processos simultaneamente. Por exemplo, a decisão de renegociar volumes de ressuprimentos e taxas de entregas com o fornecedor, ocorrida entre o gerente de suprimentos e o representante do fornecedor, pode ocorrer ao mesmo tempo da decisão de compra de

novos equipamentos entre o diretor industrial e o diretor financeiro da empresa. Desse modo, a real taxa de capacidade de resposta da SC não se daria pela simples soma aritmética dos indicadores *upside source flex* e *upside make flex*, mas, sim, pelo maior tempo da atividade mais longa. A Figura 5.12 representa esse comportamento para os três processos:

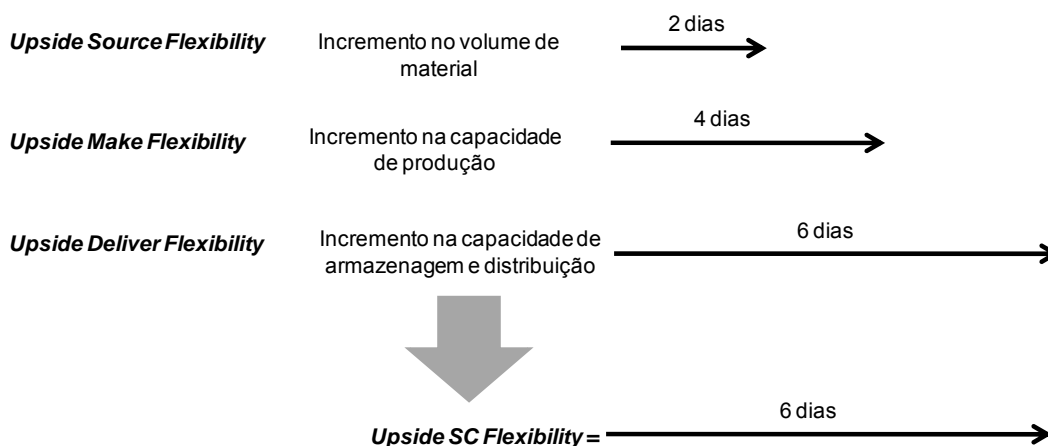


Figura 5.12 Tempos de resposta simultâneos

Fonte: Proposto pelo autor com base em SCORtalk/SCC (2009).

As situações evidenciadas anteriormente, na determinação da capacidade de resposta da SC, foram suplantadas com a proposição de dois submodelos *fuzzy*. O primeiro, denominado *Upside SC Flexibility* (B), entende que as taxas da capacidade de resposta dos processos *source*, *make* e *deliver* são de naturezas diferentes e, desse modo, a capacidade de resposta total resulta na soma *fuzzy* dos processos mencionados; e o segundo modelo, denominado *Upside SC Flexibility* (A), o qual entende que existe a possibilidade de sobreposição dos tempos de resposta entre os três processos. No modelo B, fora introduzida a variável “*Overlap*” para indicar o grau de sobreposição entre os três processos.

O Quadro 5.8 resume as variáveis de entrada (métricas do nível 2) utilizadas no submodelo proposto, bem como os valores de referência utilizados para constituir as funções de pertinência.

Quadro 5.8 Características das variáveis de entrada do submodelo *Flexibility*

Nome da variável	Unidade	Min	Max	Termos linguísticos
<i>overlap</i>	<i>percentage</i>	0	1	<i>low</i> <i>high</i>
<i>Upsd_Deliv_Flex</i>	<i>days</i>	10	80	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>
<i>Upsd_Make_Flex</i>	<i>days</i>	10	80	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>
<i>Upsd_Sourc_Flex</i>	<i>days</i>	10	80	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>

Fonte: Dados da Pesquisa.

As Figuras 5.13; 5.14; 5.15 e 5.16 ilustram as funções de pertinência das variáveis de entrada listadas no Quadro 5.8.

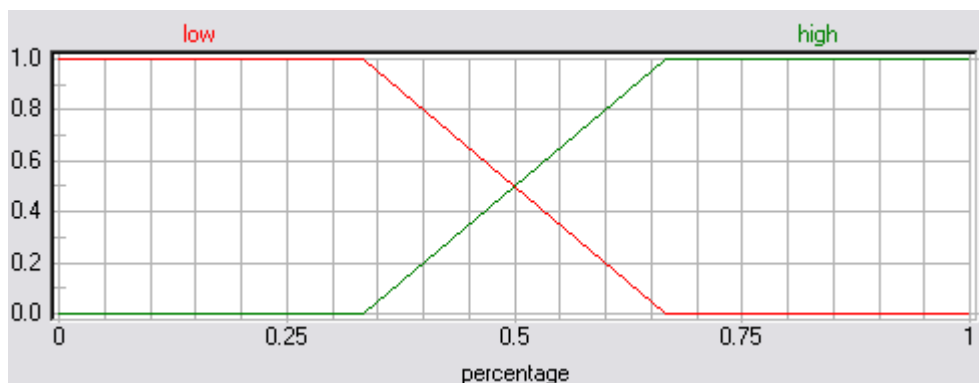


Figura 5.13 Funções de pertinência para *Overlap*

Fonte: Dados da Pesquisa.

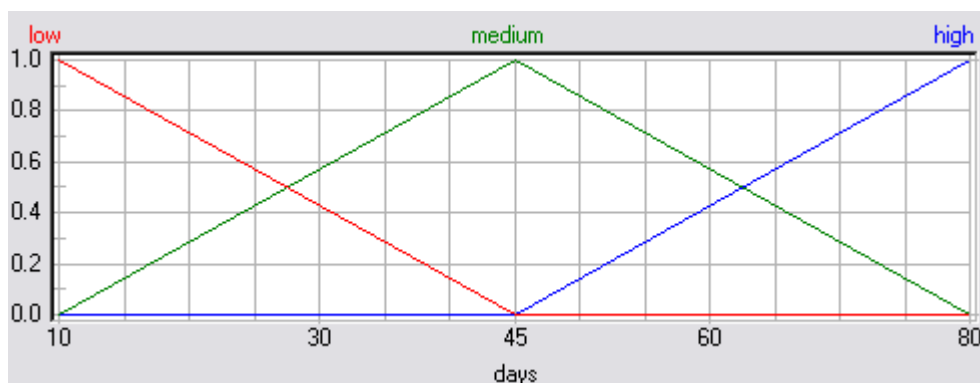


Figura 5.14 Funções de pertinência para *Upside Deliver Flexibility*

Fonte: Dados da Pesquisa.

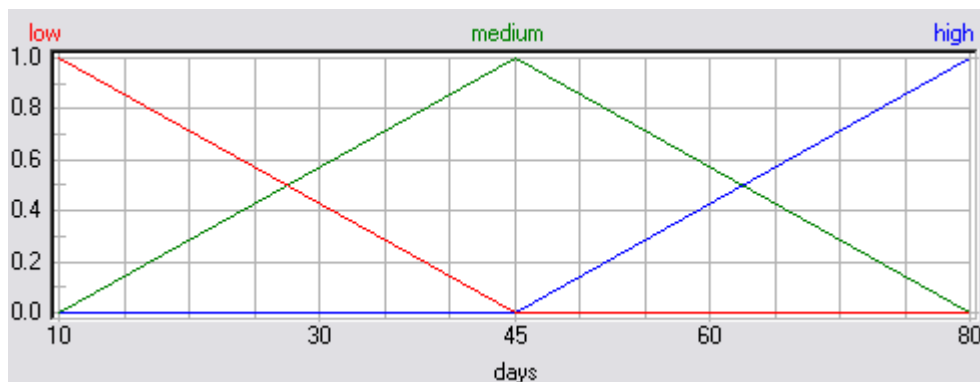


Figura 5.15 Funções de pertinência para *Upside Make Flexibility*

Fonte: Dados da Pesquisa.

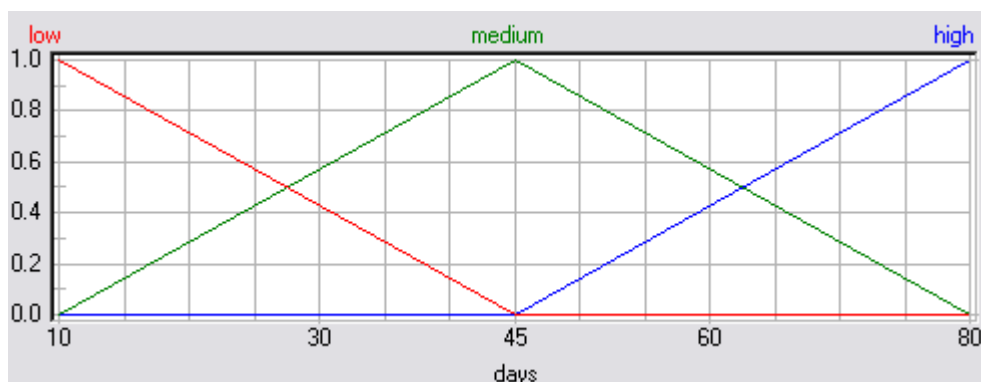


Figura 5.16 Funções de pertinência para *Upside Source Flexibility*

Fonte: Dados da Pesquisa.

O Quadro 5.9 resume as variáveis de saída (métricas do nível 1 e atributos de desempenho da SC) utilizadas no submodelo proposto, bem como os valores de referência utilizados para constituir as funções de pertinência.

Quadro 5.9 Características das variáveis de saída do submodelo *Flexibility*

Nome da variável de saída	Método de Defuzzificação	Unidade	Min	Max	Termos Linguísticos
<i>SC_Flex</i>		Percentage	0	100	very_low low medium high very_high
<i>Upsd_SC_Flex_A</i>		days	10	240	strongest_high very_high high medium_high medium medium_low low very_low
<i>Upsd_SC_Flex_B</i>		Days	30	240	strongest_low very_good good medium bad very_bad

Fonte: Dados da Pesquisa.

As Figuras 5.17; 5.18 e 5.19 ilustram as funções de pertinência das variáveis de saída listadas no Quadro 5.9.

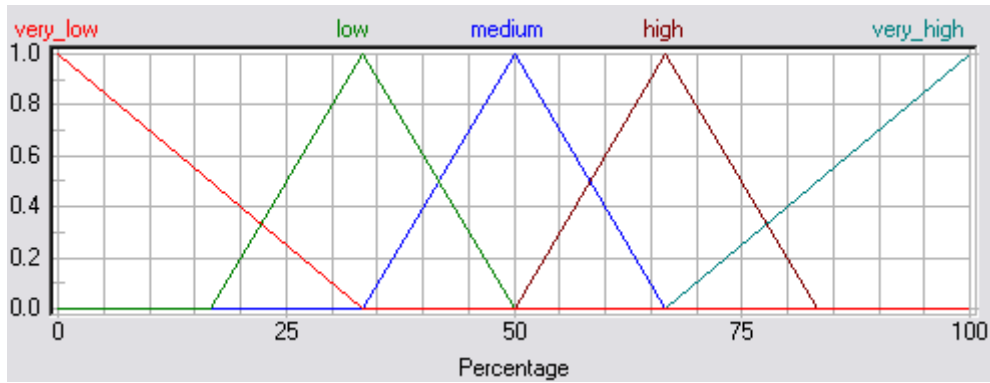


Figura 5.17 Funções de pertinência para *Supply Chain Flexibility*

Fonte: Dados da Pesquisa.

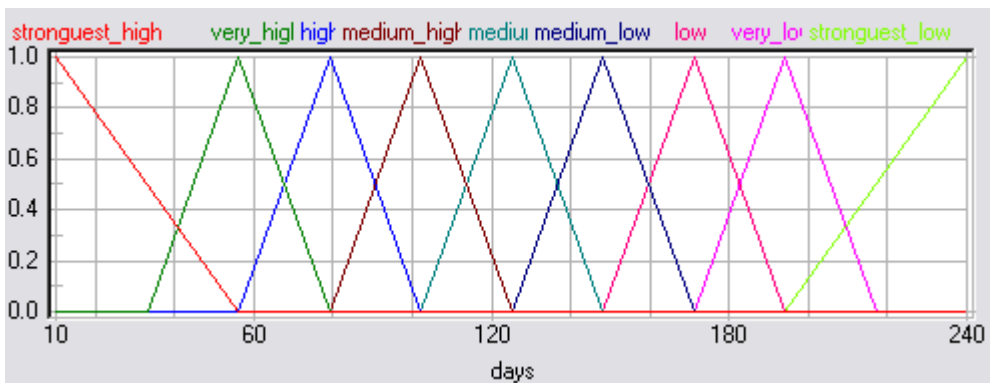


Figura 5.18 Funções de pertinência para *Upside SC Flexibility (A)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

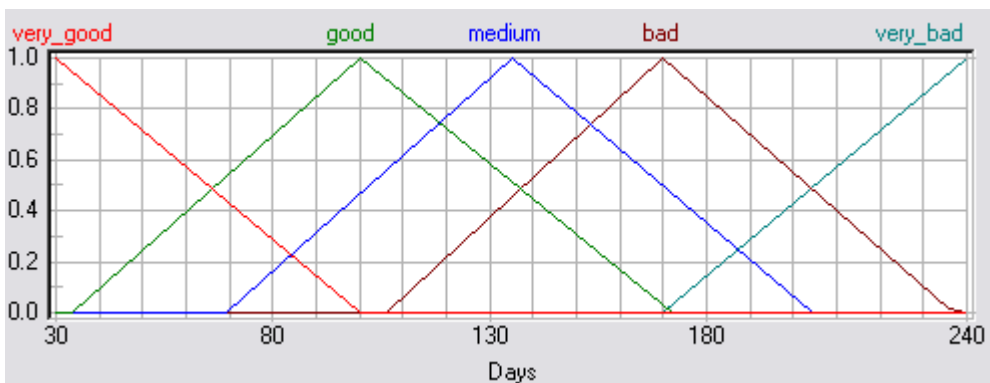


Figura 5.19 Funções de pertinência para *Upside SC Flexibility (B)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 5.1, percebe-se que, num primeiro momento, a variável *Upside Supply Chain Flexibility* é uma variável de saída. No entanto, passa a ser considerada uma variável de entrada quando o objeto de análise for o atributo de desempenho *Flexibility*.

O bloco de regras (Quadro 5.10), que relaciona as variáveis de entrada *upside source flexibility*, *upside make flexibility*, *upside deliver flexibility* à variável de saída *Upside Supply Chain Flexibility (B)*, tem como parâmetro de agregação min-max, totalizando 27 regras.

Quadro 5.10 Bloco de regras para *Upside Supply Chain Flexibility (B)*

Se			Então
Upsd_Deliv_Flex	Upsd_Make_Flex	Upsd_Sourc_Flex	Upsd_SC_Flex_B
low	low	low	very_good
low	low	medium	good
low	low	high	medium
low	medium	low	good
low	medium	medium	medium
low	medium	high	medium
low	high	low	medium
low	high	medium	medium
low	high	high	medium
medium	low	low	good
medium	low	medium	medium
medium	low	high	medium
medium	medium	low	medium
medium	medium	medium	medium
medium	medium	high	medium
medium	high	low	medium
medium	high	medium	medium
medium	high	high	bad
high	low	low	medium
high	low	medium	medium
high	low	high	medium
high	medium	low	medium
high	medium	medium	medium
high	medium	high	bad
high	high	low	medium
high	high	medium	bad
high	high	high	very_bad

Fonte: Dados da Pesquisa.

O bloco de regras (Quadro 5.11) refere-se à conversão do índice de flexibilidade sem sobreposição dos tempos de resposta para o índice de flexibilidade da SC com *overlap*. Dessa maneira, a variável de entrada é o indicador *Upside Supply Chain Flexibility (A)*, e a variável de saída é o indicador *Upside Supply Chain Flexibility (B)*. Neste bloco de regras, foi utilizado o parâmetro de agregação min-max, totalizando 10 regras.

Quadro 5.11 Bloco de regras para *Upside Supply Chain Flexibility (B)*

	Se	Então
overlap	Upsd_SC_Flex_B	Upsd_SC_Flex_A
low	very_good	medium
low	good	medium_low
low	medium	low
low	bad	very_low
low	very_bad	strongest_low
high	very_good	strongest_high
high	good	very_high
high	medium	high
high	bad	medium_high
high	very_bad	medium

Fonte: Dados da Pesquisa.

Finalmente, o bloco de regras, que relaciona, a agora, variável de entrada *Upside Supply Chain Flexibility (A)* à variável de saída, *Supply Chain Flexibility*, tem como parâmetro de agregação min-max, totalizando 5 regras, pode ser visualizada no Quadro 5.12.

Quadro 5.12 Bloco de regras para *Supply Chain Flexibility*

Se	Então
Upsd_SC_Flex_B	SC_Flex
very_good	very_high
good	high
medium	medium
bad	low
very_bad	very_low

Fonte: Dados da Pesquisa.

5.2.3 Cost

A Figura 5.20 ilustra os níveis do submodelo “Cost Supply Chain”.

Atributo	Métrica (nível 1)	Métrica (Level 2)
Supply Chain Cost	Supply Chain Management Cost	Order Management Cost
		Material Acquisition Cost
		Finance and Planning Cost
		Inventory Carrying Cost
		IT Cost for Supply Chain
	Cost of Goods Sold (COGS)	

Figura 5.20 Submodelo *Cost Supply Chain*

Fonte: Dados da pesquisa.

O custo da SC pode ser mensurado por dois indicadores de nível 1, ou seja, o custo total da gestão da cadeia de suprimentos (*Supply Chain Management Cost*) e o custo de mercadoria vendida (*Cost of Goods Sold – COGS*).

O *Supply Chain Management Cost* está relacionado à ideia da análise do custo total logístico (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007). A eficiência em termos de custos de uma cadeia de suprimentos está relacionada a uma análise sistêmica do custo de todos os processos que compõem a mesma, ou seja, processo de planejamento, suprimentos, fabricação, entrega e retorno, os mesmos adotados no modelo SCOR.

O *Supply Chain Management Cost* é composto pelas seguintes métricas de nível 2:

- **custo de gerenciamento do pedido** (*order management cost*): composto por custos de serviço ao cliente; custo de armazenamento de produtos acabados nos armazéns; custo de transporte *outbound*; custo de gerenciamento de contratos; custos de execução e planejamento de instalações e custos de contas a receber;
- **custo de aquisição de material** (*material acquisition cost*): composto por custo de compras; custo de armazenagem de matéria-prima; custo de qualidade do fornecedor; custo de transporte *inbound*, custo de contas a pagar entre outros;
- **custos de finanças e planejamento** (*finance and planning cost*): composto por custos de previsão de demanda; custo de planejamento de suprimentos e custos de controle financeiro da cadeia de suprimentos;
- **custo de carregamento de estoques** (*inventory carrying cost*): composto por custo de oportunidade; custo de obsolescência; custo de perdas¹ e custos e taxas de seguros;
- **custo de tecnologia de informação para SC** (*IT cost for supply chain*): composto por custos de aplicação e custos operacionais de TI para SC.

O custo de mercadorias vendidas (*Cost of Goods Sold – COGS*) está relacionado diretamente aos custos variáveis de materiais; custos variáveis de trabalho, e custos indiretos relacionados à fabricação do produto.

¹ A porcentagem de perda de produtos entre a manufatura e o ponto de venda é chamada de *shrinkage* ou *shrink*.

O Quadro 5.13 resume as variáveis de entrada (métricas do nível 2) utilizadas no submodelo proposto, bem como os valores de referência utilizados para constituir as funções de pertinência.

Quadro 5.13 Características das variáveis de entrada do modelo *Cost SC*

Nome da variável	Unidade	Min	Max	Termos linguísticos
<i>COGS</i>	<i>Percent_revenue</i>	49	70	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>
<i>Fin_Plan_Cost</i>	<i>Percent_revenue</i>	0.8	1.8	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>
<i>Inv_Carr_Cost</i>	<i>Percent_revenue</i>	2.6	5.7	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>
<i>IT_Cost_SC</i>	<i>percent_revenue</i>	1.7	3.7	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>
<i>MP_Aquis_Cost</i>	<i>Percent_revenue</i>	5.2	11.4	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>
<i>Order_Mangt_Cost</i>	<i>Percent_revenue</i>	8.2	18	<i>low</i> <i>medium</i> <i>high</i>

Fonte: Dados da Pesquisa.

As Figuras 5.21; 5.22; 5.23; 5.24; 5.25 e 5.26 ilustram as funções de pertinência das variáveis de entrada listadas no Quadro 5.13.

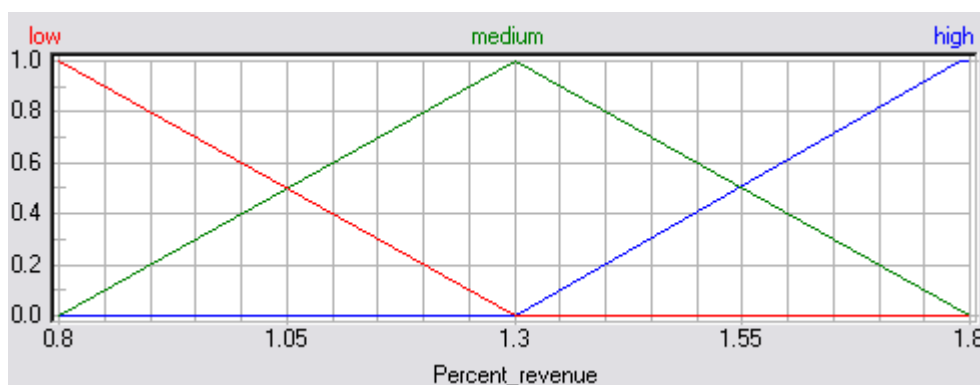


Figura 5.21 Funções de pertinência para *Finance and Planning Cost*

Fonte: Dados da Pesquisa.

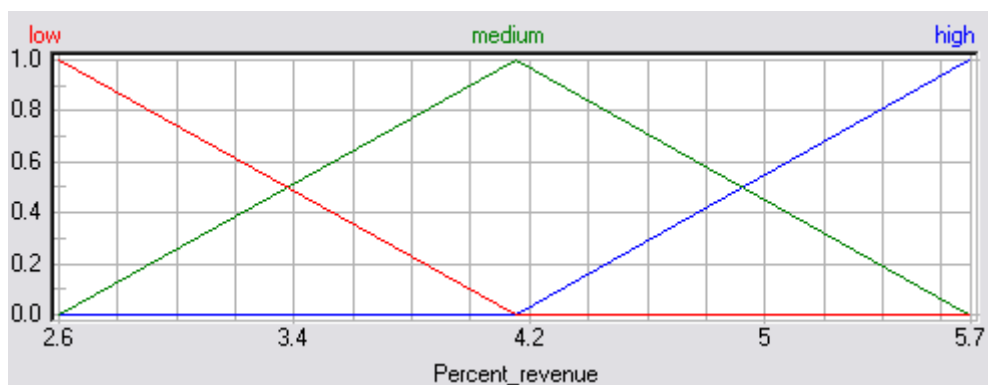


Figura 5.22 Funções de pertinência para *Inventory Carrying Cost*

Fonte: Dados da Pesquisa.

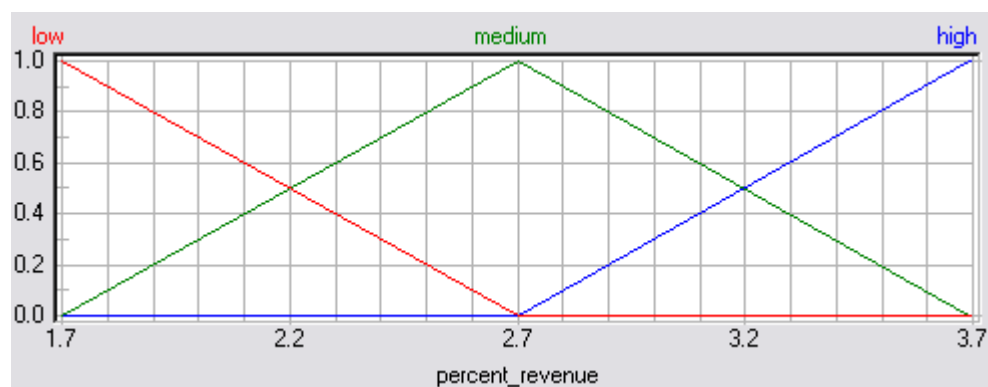


Figura 5.23 Funções de pertinência para *IT Cost for Supply Chain*

Fonte: Dados da Pesquisa.

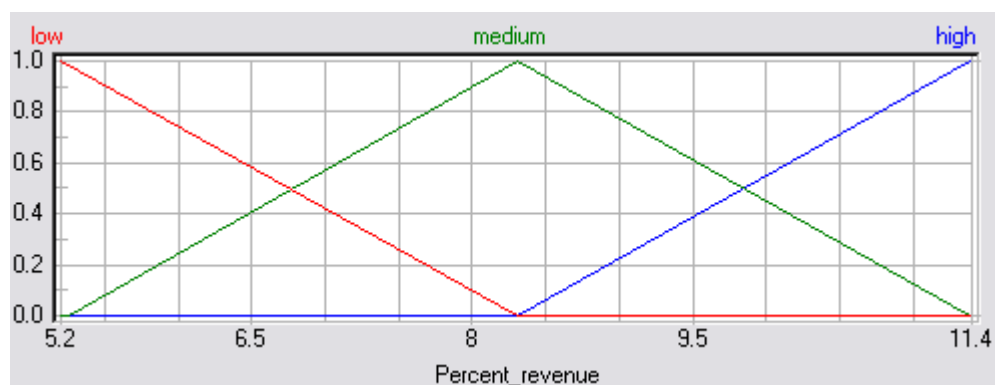


Figura 5.24 Funções de pertinência para *Material Acquisition Cost*

Fonte: Dados da Pesquisa.

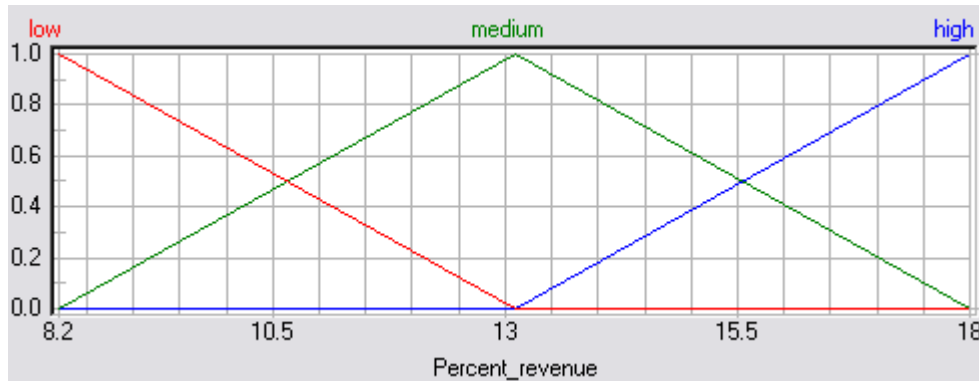


Figura 5.25 Funções de pertinência para *Order Management Cost*

Fonte: Dados da Pesquisa.

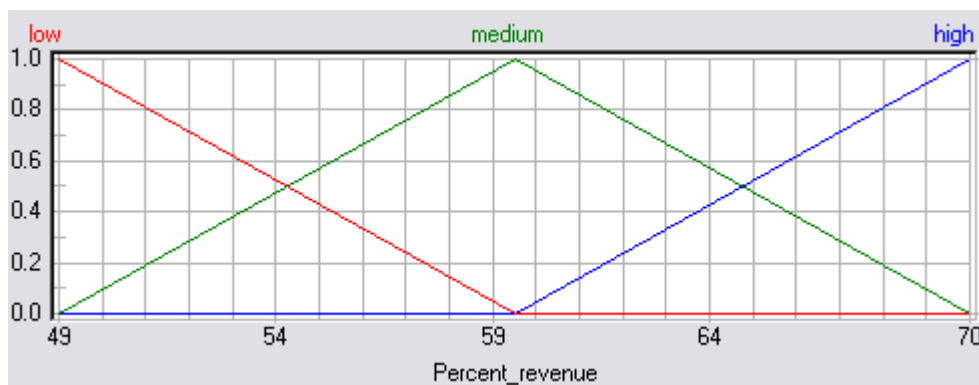


Figura 5.26 Funções de pertinência para *Cost of Goods Sold (COGS)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

O Quadro 5.14 resume as variáveis de saída (métricas do nível 1 e atributos de desempenho da SC) utilizadas no modelo proposto, bem como os valores de referência utilizados para constituir as funções de pertinência.

Quadro 5.14 Características das variáveis de saída do modelo *Cost SC*

Nome da variável de saída	Método de Defuzzificação	Unidade	Min	Max	Termos Linguísticos
<i>Cost_Performance</i>		Percentage	0	100	very_high high medium low
<i>Total_SCM_Cost</i>		Percent_revenue	24	35.1	very_low very_low low medium high very_high

Fonte: Dados da Pesquisa.

As Figuras 5.27 e 5.28 ilustram as funções de pertinência das variáveis de saída listadas no Quadro 5.14.

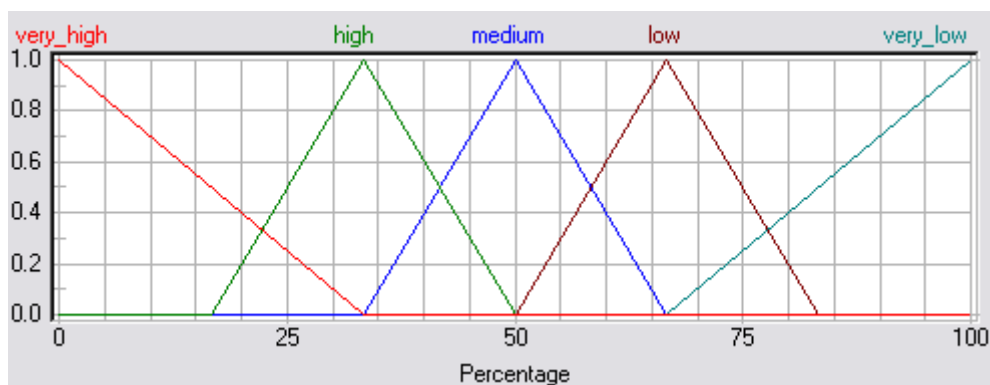


Figura 5.27 Funções de pertinência para *Supply Chain Cost*

Fonte: Dados da Pesquisa.

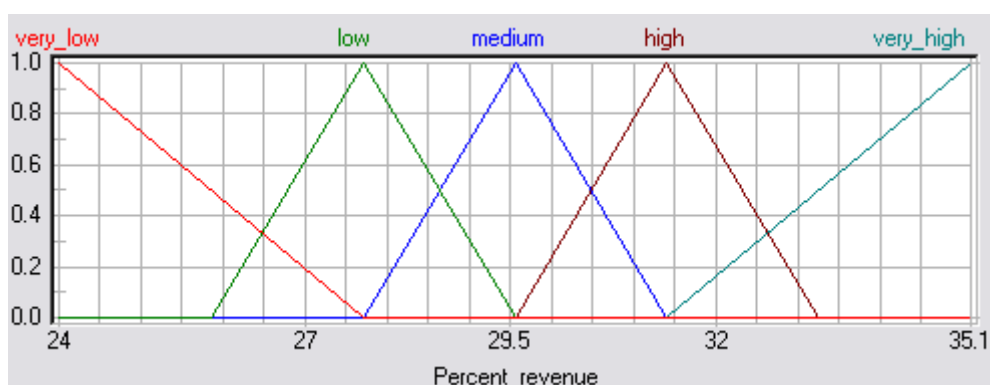


Figura 5.28 Funções de pertinência para *Total SCM Cost*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 5.1, percebe-se que, num primeiro momento, a variável *Total Supply Chain Management Cost* é uma variável de saída. No entanto, passa a ser considerada uma variável de entrada quando o objeto de análise for o atributo de desempenho *Cost*.

O bloco de regras (Quadro 5.15), que relaciona as variáveis de entrada *Order Management Cost*, *Material Acquisition Cost*, *Finance and Planning Cost*, *Inventory Carrying Cost* e *IT Cost for Supply Chain* à variável de saída *perfect order fulfillment*, tem parâmetro de agregação min-max, totalizando 243 regras.

Quadro 5.15 Bloco de regras para *Total SCM Cost*

Se					Então
Fin_Plan_Cost	Inv_Carr_Cost	IT_Cost_SC	MP_Aquis_Cost	Order_Mangt_Cost	Total_SCM_Cost
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>

Se			Então		
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>

		Se		Então	
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>

		Se		Então	
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>

		Se		Então	
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>

Fonte: Dados da Pesquisa

O bloco de regras (Quadro 5.16), que relaciona, a agora, variável de entrada *Total*

SCM Cost e COGS à variável de saída, Cost, tem parâmetro de agregação min-max, totalizando 15 regras.

Quadro 5.16 Bloco de regras para Cost

Se		Então
COGS	Total_SCM_Cost	Cost_Performance
low	very_low	very_low
low	low	low
low	medium	medium
low	high	medium
low	very_high	high
medium	very_low	low
medium	low	medium
medium	medium	medium
medium	high	high
medium	very_high	high
high	very_low	medium
high	low	medium
high	medium	high
high	high	high
high	very_high	very_high

Fonte: Dados da Pesquisa.

5.2.4 Asset

A Figura 5.29 ilustra os níveis do submodelo “Asset Supply Chain”.

Atributo	Métrica (nível 1)	Métrica (Level 2)
Supply Chain Asset	Return Over Assets (ROA)	Net Profit
		Asset Turns
	Cash to Cash	Days Inventory of Supply
		Days Sales Outstanding
		Days Payable Outstanding

Figura 5.29 Submodelo Asset Supply Chain

Fonte: Dados da pesquisa.

A utilização de investimentos de capital em instalações e equipamentos, bem como o capital de giro investido em estoques, é uma grande preocupação na SCM, por meio do seu gerenciamento de ativos.

O modelo SCOR sugere algumas medidas para a mensuração do gerenciamento de ativos em uma SC. Dentre as medidas mais utilizadas, encontram-se o Tempo de Conversão de Caixa (*Cash to Cash*) e o Retorno sobre Ativos (*Return Over Assets - ROA*).

O conceito de conversão de caixa (*cash to cash*) representa uma medida do uso eficaz do caixa de uma organização. Embora o estoque geralmente seja registrado como um ativo circulante no balanço patrimonial, o valor monetário pode não ser um indicador válido da distribuição real de ativos da organização. Uma parte do estoque pode ter sido entregue a clientes que, devido às condições de crédito da venda, ainda não pagaram as faturas correspondentes. Por outro lado, uma empresa pode dever aos seus fornecedores por produtos e componentes que não estão em sua propriedade. Portanto, a duração do ciclo de conversão de caixa é o tempo necessário para se converter, por exemplo, R\$1,00 gasto em estoque em R\$1,00 recebido de receita de vendas (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007).

O *cash to cash* pode ser mensurado pela soma entre os dias de suprimento de estoque de uma empresa (*inventory days of supply*) e os dias de contas a receber pendentes (*days sales outstanding*), subtraindo-se os dias de contas a pagar pendentes (*days payable outstanding*).

A Figura 5.30 ilustra o cálculo do *Cash to Cash*.

$$\text{Cash to Cash} = \left(\begin{array}{c} \text{Inventory days of Supply} \\ + \\ \text{Days Sales Outstanding} \end{array} \right) - \left(\text{Days Payable Outstanding} \right)$$

Figura 5.30 Expressão de cálculo do *Cash to Cash*

Fonte: SCC (2009).

A duração do ciclo de conversão de caixa não é influenciada apenas pela logística, ainda que a mesma seja um aspecto importante. Ele é uma medida dos processos internos porque inclui um componente de *marketing* (preço para cliente e condições de venda), bem como um componente de compras (preço e condições do fornecedor). Ela oferece uma perspectiva integrada do real comprometimento de recursos financeiros da organização, em estoque (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007).

O Retorno sobre Ativos (*Return over Assets* - ROA) mede a lucratividade gerada pelo gerenciamento dos ativos operacionais de uma empresa.

Uma ferramenta utilizada com frequência para analisar o ROA, é o chamado Modelo do Lucro Estratégico (*Strategic Profit Model* – SPM). Tal modelo incorpora tanto os dados de demonstrações de resultados quanto os de balanços patrimoniais e demonstra como esses dados se relacionam entre si para resultar o ROA.

O modelo do lucro estratégico demonstra que existem duas maneiras fundamentais pelas quais uma empresa pode aumentar o ROA: administrando a margem de lucro líquido

e/ou aumentando o giro de ativos. As operações logísticas têm impacto significativo sobre ambas (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007).

A Figura 5.31 ilustra a lógica de cálculo do ROA por meio do modelo de lucro estratégico e relaciona, ainda, os direcionadores logísticos que impactam diretamente o retorno sobre ativos.

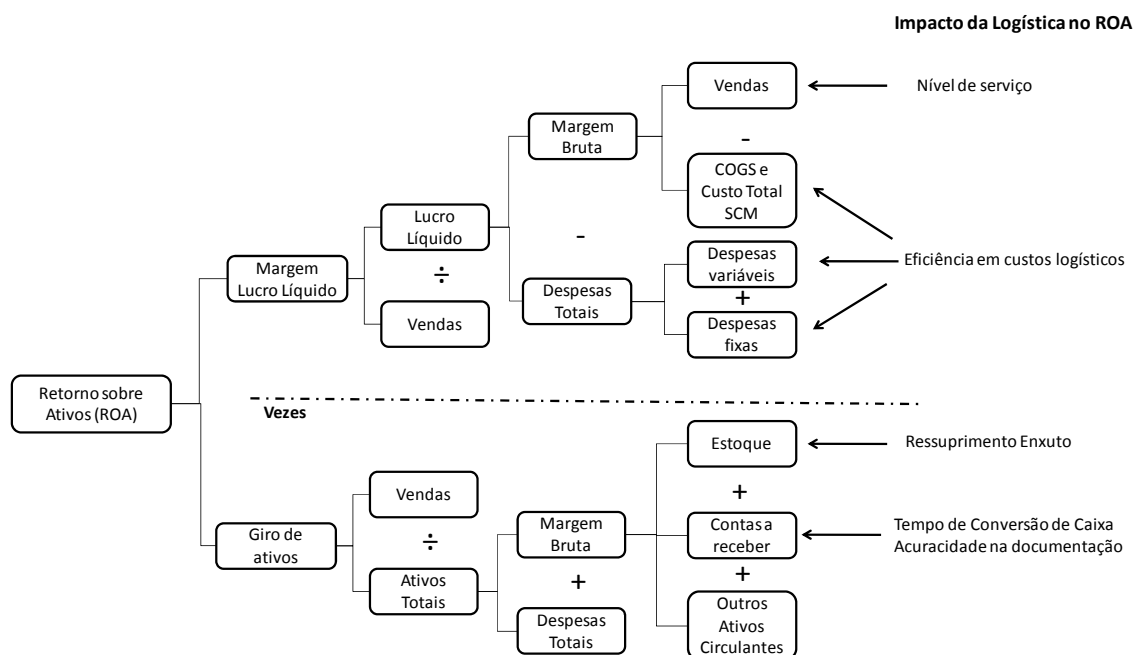


Figura 5.31 Impacto da Logística no ROA em relação ao modelo do lucro estratégico

Fonte: Proposta pelo autor com base em Bowersox, Closs e Cooper (2007); Christopher (2007).

O Quadro 5.17 resume as variáveis de entrada (métricas do nível 2) utilizadas no submodelo proposto, bem como os valores de referência utilizados para constituir as funções de pertinência.

Quadro 5.17 Características das variáveis de entrada do submodelo *Asset*

Nome da variável	Unidade	Mín	Max	Termos linguísticos
<i>Asset_Turns</i>	<i>turns</i>	0.1	3	<i>low</i>
				<i>medium</i>
				<i>high</i>
<i>Day_Invent_Suply</i>	<i>days</i>	27.6	80	<i>low</i>
				<i>medium</i>
				<i>high</i>
<i>Day_Pay_Outst</i>	<i>days</i>	30	72	<i>low</i>
				<i>medium</i>
				<i>high</i>
<i>Day_Sale_Outstd</i>	<i>days</i>	25	70	<i>low</i>
				<i>medium</i>
				<i>high</i>
<i>Net_Profit</i>	<i>Percentage</i>	0.1	7.3	<i>low</i>
				<i>medium</i>
				<i>high</i>

Fonte: Dados da Pesquisa.

As Figuras 5.32; 5.33; 5.34; 5.35 e 5.36 ilustram as funções de pertinência das variáveis de entrada listadas no Quadro 5.17.

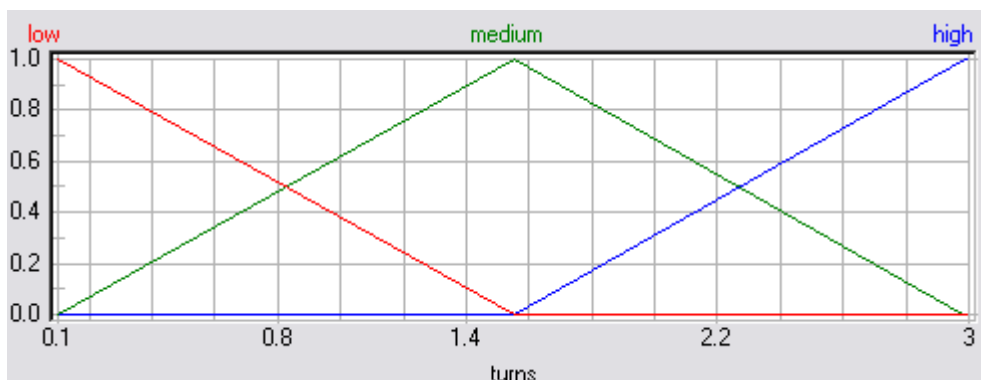


Figura 5.32 Funções de pertinência para *Asset Turns*

Fonte: Dados da Pesquisa.

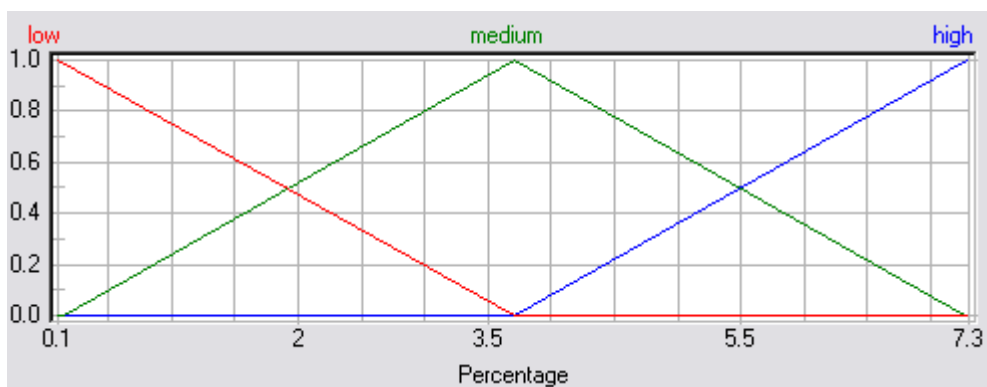


Figura 5.33 Funções de pertinência para *Net Profit*

Fonte: Dados da Pesquisa.

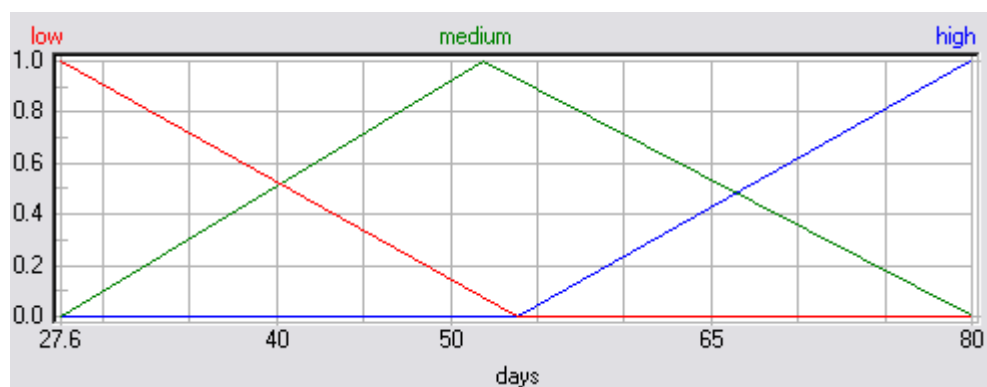


Figura 5.34 Funções de pertinência para *Days Inventory of Supply*

Fonte: Dados da Pesquisa.

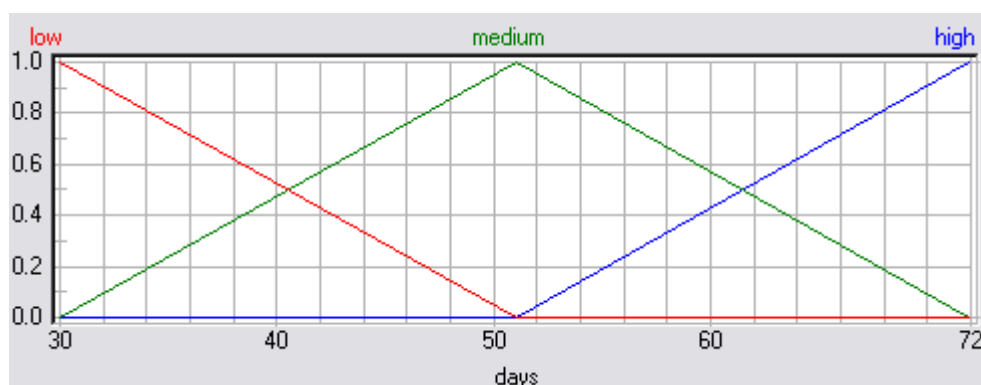


Figura 5.35 Funções de pertinência para *Days Payable Outstanding*

Fonte: Dados da Pesquisa.

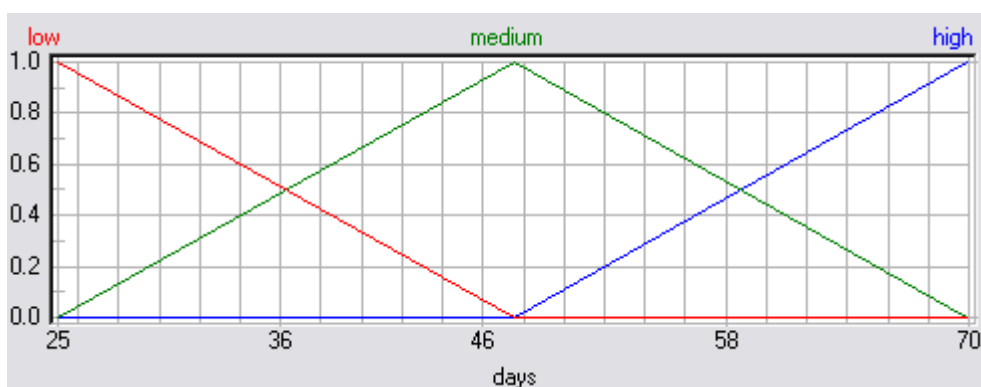


Figura 5.36 Funções de pertinência para *Days Sales Outstanding*

Fonte: Dados da Pesquisa.

O Quadro 5.18 resume as variáveis de saída (métricas do nível 1 e atributos de desempenho da SC) utilizadas no modelo proposto, bem como os valores de referência utilizados para constituir as funções de pertinência.

Quadro 5.18 Características das variáveis de saída do submodelo *Asset*

Nome da variável de saída	Método de Defuzzificação	Unidade	Min	Max	Termos Linguísticos
<i>Asset_Perform</i>		Percentage	0	100	very_low low medium high
<i>Cash_to_Cash</i>		days	22.6	78	very_high best good medium bad worst
<i>ROA</i>		percentage	0.01	22	very_low low medium high very_high

Fonte: Dados da Pesquisa.

As Figuras 5.37; 5.38 e 5.39 ilustram as funções de pertinência das variáveis de saída listadas no Quadro 5.18.

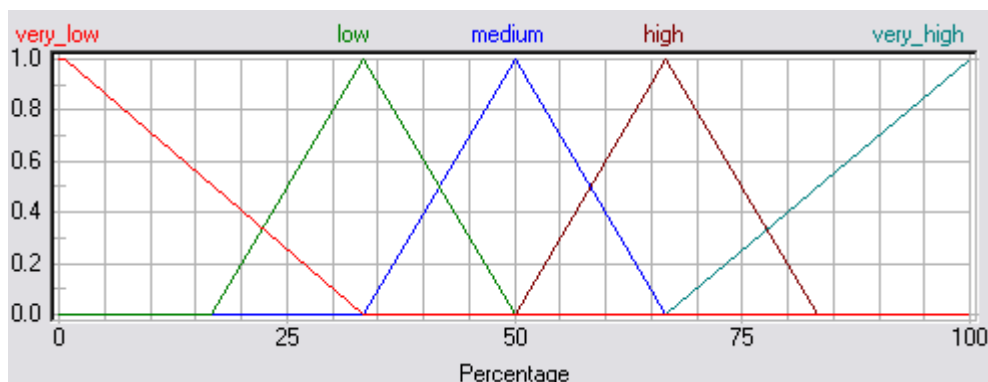


Figura 5.37 Funções de pertinência para *SC Asset Performance*

Fonte: Dados da Pesquisa.



Figura 5.38 Funções de pertinência para *Cash to Cash*

Fonte: Dados da Pesquisa.

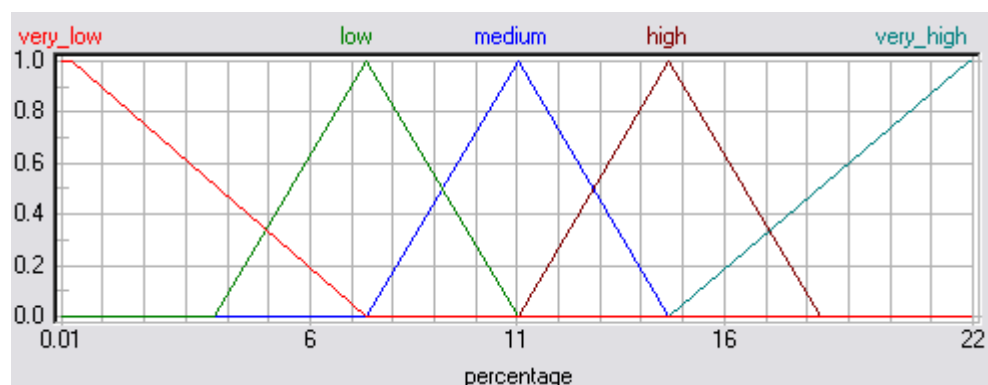


Figura 5.39 Funções de pertinência para *Return over Assets (ROA)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 5.1, percebe-se que, num primeiro momento, as variáveis *ROA* e *Cash to Cash* são variáveis de saída. No entanto, passam a ser consideradas variáveis de entrada quando o objeto de análise for o atributo de desempenho *SC Asset*.

O bloco de regras (Quadro 5.19), que relaciona as variáveis de entrada *days inventory of supply*, *days sales outstanding* e *days payable outstanding* à variável de saída *cash to cash*, tem parâmetro de agregação min-max, totalizando 27 regras).

Quadro 5.19 Bloco de regras para *Cash to Cash*

Se			Então
Day_Invent_Supply	Day_Pay_Outst	Day_Sale_Outstd	Cash_to_Cash
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>best</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>bad</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>best</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>good</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>best</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>best</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>good</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>worst</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>worst</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>good</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>bad</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>best</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>bad</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>worst</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>worst</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>good</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>bad</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>worst</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>good</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>bad</i>

Fonte: Dados da Pesquisa.

O bloco de regras (Quadro 5.20), que relaciona as variáveis de entrada *Asset Turns* e *Net Profit* à variável de saída *Return over Assets (ROA)*, tem parâmetro de agregação prod-max, totalizando 9 regras).

Quadro 5.20 Bloco de regras para *ROA*

Se		Então
Asset_Turns	Net_Profit	ROA
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>

Fonte: Dados da Pesquisa.

O bloco de regras (Quadro 5.21), que relaciona, as agora, variáveis de entrada *ROA* e *Cash to Cash* à variável de saída, *SC Asset*, tem parâmetro de agregação min-max, totalizando 25 regras.

Quadro 5.21 Bloco de regras para *SC Asset*

Se		Então
<i>Cash_to_Cash</i>	<i>ROA</i>	<i>Asset_Perform</i>
<i>best</i>	<i>very_low</i>	<i>low</i>
<i>best</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>best</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>best</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>
<i>best</i>	<i>very_high</i>	<i>very_high</i>
<i>good</i>	<i>very_low</i>	<i>medium</i>
<i>good</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>good</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>good</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>good</i>	<i>very_high</i>	<i>very_high</i>
<i>medium</i>	<i>very_low</i>	<i>very_low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>very_high</i>	<i>high</i>
<i>bad</i>	<i>very_low</i>	<i>very_low</i>
<i>bad</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>bad</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>bad</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>bad</i>	<i>very_high</i>	<i>medium</i>
<i>worst</i>	<i>very_low</i>	<i>very_low</i>
<i>worst</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>worst</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>worst</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>worst</i>	<i>very_high</i>	<i>high</i>

Fonte: Dados da Pesquisa.

5.2.5 Responsiveness

A Figura 5.40 ilustra os níveis do submodelo “*Responsiveness Supply Chain*”.

Atributo	Métrica (nível 1)	Métrica (Level 2)
SC Responsiveness	Order Fulfillment Cycle Time	Source Cycle Time
		Make Cycle time
		Deliver Cycle Time

Figura 5.40 Submodelo *Responsiveness Supply Chain*

Fonte: Dados da pesquisa.

A Responsividade de uma Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Responsiveness*) está relacionada à velocidade com que uma cadeia de suprimentos fornece os produtos aos clientes.

Uma métrica recomendada pelo Modelo SCOR para mensurar a responsividade de uma cadeia de suprimentos é o indicador Tempo de Ciclo Total no atendimento de pedidos (*Order Fulfillment Cycle Time*).

O *Order Fulfillment Cycle Time* é definido como o tempo decorrido desde a requisição do pedido de vendas pelo cliente até o recebimento físico do produto pelo mesmo. As atividades que representam a composição do tempo total do ciclo do pedido estão relacionadas aos processos de processamento de pedidos, manufatura, distribuição e transporte (SCC, 2009).

O tempo de ciclo total do pedido pode ser desdobrado nos tempos de ciclo dos processos de abastecimento, produção e distribuição, respectivamente, como ilustra a Figura 5.41.

$$\text{Order Fulfillment Cycle Time} = \begin{matrix} \text{Source Cycle Time} \\ + \\ \text{Make Cycle Time} \\ + \\ \text{Deliver Cycle Time} \end{matrix} \quad (5.2)$$

Figura 5.41 Expressão de cálculo de Order Fulfillment Cycle Time
Fonte: SCC (2009).

O tempo total do ciclo do pedido pode ser entendido como o somatório (no tempo) de todas as atividades envolvidas desde a requisição do pedido pelo cliente, até o recebimento pelo mesmo. Nesse *continuum*, existem três classes de atividades: as atividades que agregam valor, as atividades que não agregam valor, mas são necessárias à execução do processo, e as atividades que não agregam valor e são desnecessárias, os chamados desperdícios.

Assim como na manufatura enxuta, as atividades mais dispendiosas para a SC são as atividades que não agregam valor e são desnecessárias à consecução do processo, resultando em até 90% do tempo de ciclo total (CHRISTOPHER, 2007). Eis alguns desperdícios clássicos no contexto de SCs:

- altos tempos de filas para carregamento e descarregamento de caminhões;
- movimentação desnecessária de produtos no armazém;
- altos tempos de aprovação de crédito do cliente;
- altos tempos de processamento de pedidos do cliente;
- tempo de entrega alto devido a falhas no transporte, etc.

A lista de atividades que geram desperdícios seria gigantesca se o objetivo deste texto fosse detalhar tais tópicos.

No entanto, algumas práticas logísticas na SCM e o apoio de Tecnologias de Informação vêm contribuindo para diminuir e enxugar cada vez mais o tempo de ciclo de atendimento de pedidos (PIRES, 2004). Nesse sentido, destacam-se:

- *cross-docking* e variações;
- *milk run*;
- utilização de etiquetas inteligentes (RFID);
- programas colaborativos na SCM: CR, ECR, VMI; CPFR;
- tecnologias de Informação como WMS, TMS, Roteadores, AGV, etc.;
- *postponement*;
- *lean thinking*.

As práticas¹ listadas acima estão relacionadas às classes de processos de SCs: *plan*, *source*, *make* e *deliver*.

Desta maneira, se adotada uma tipologia MTO, e altamente reativa para uma SC, ter-se-ia o tempo de ciclo total do pedido como um somatório de todas as atividades de recebimento e aprovação do pedido, solicitação de compra de material para fabricação, manufatura e montagem, e finalmente a distribuição.

O Quadro 5.22 resume as variáveis de entrada (métricas do nível 2) utilizadas no submodelo proposto, bem como os valores de referência utilizados para constituir as funções de pertinência.

Quadro 5.22 Características das variáveis de entrada do submodelo *Responsiveness*

Nome da variável	Unidade	Min	Max	Termos linguísticos
<i>Cycle_Time_Deliv</i>	<i>days</i>	1	7	<i>low</i>
				<i>medium</i>
				<i>high</i>
<i>Cycle_Time_Make</i>	<i>days</i>	1	7	<i>low</i>
				<i>medium</i>
				<i>high</i>
<i>Cycle_Time_Sourc</i>	<i>days</i>	1	6	<i>low</i>
				<i>medium</i>
				<i>high</i>

Fonte: Dados da Pesquisa.

¹ O SCOR 8.0 fornece em seu tutorial uma extensa recomendação de melhores práticas para cada processo, subprocesso, níveis e subníveis de sua arquitetura.

As Figuras 5.42; 5.43 e 5.44 ilustram as funções de pertinência das variáveis de entrada listadas no Quadro 5.22.

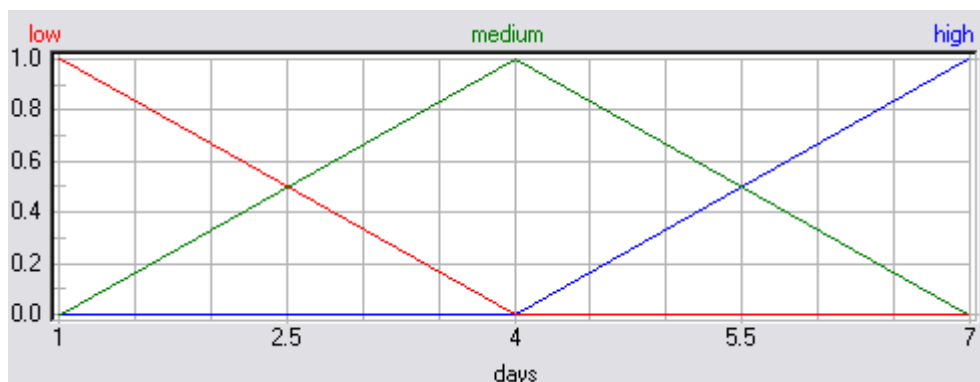


Figura 5.42 Funções de pertinência para *Delivery Cycle Time*
Fonte: Dados da Pesquisa.

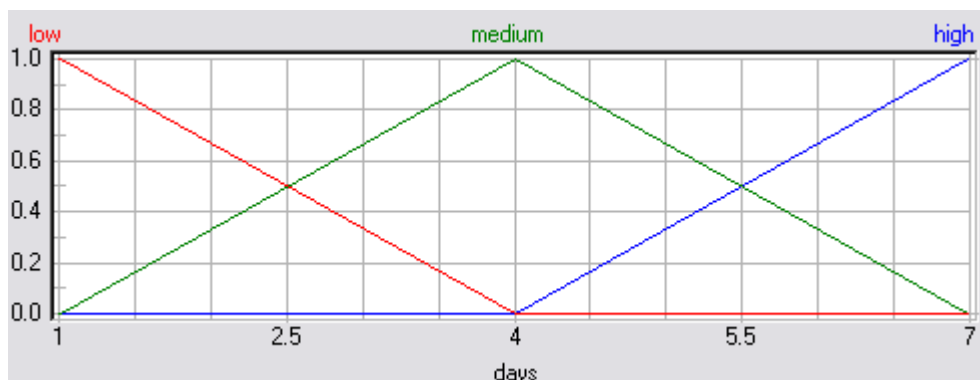


Figura 5.43 Funções de pertinência para *Make Cycle Time*
Fonte: Dados da Pesquisa.

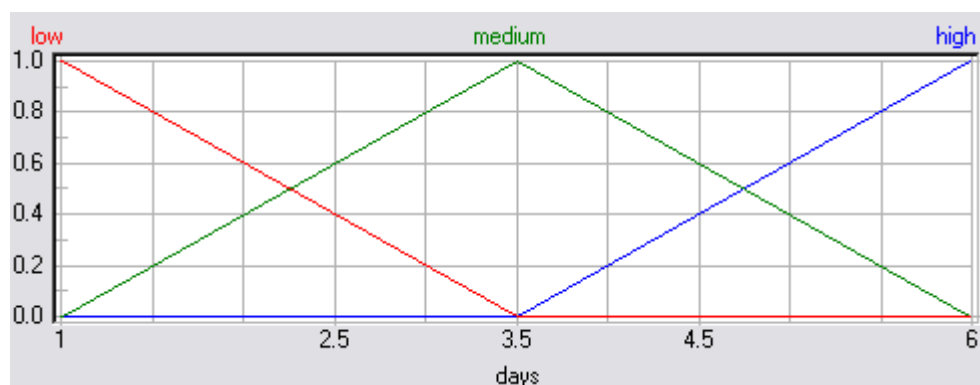




Figura 5.44 Funções de pertinência para *Source Cycle Time*
Fonte: Dados da Pesquisa.

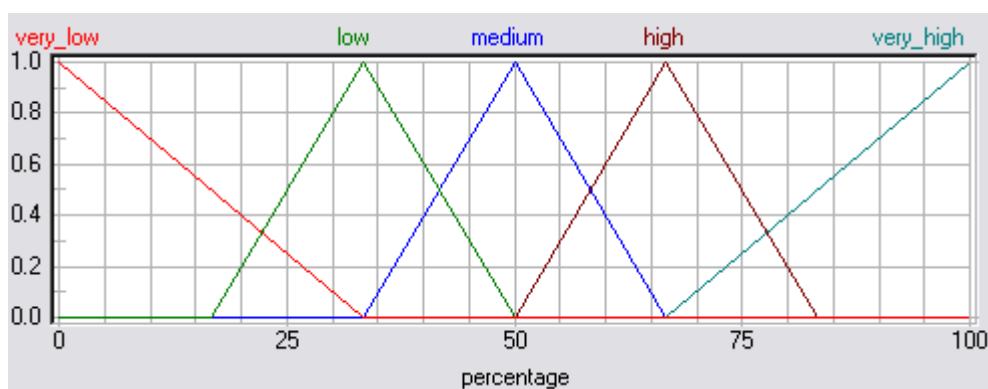
O Quadro 5.23 resume as variáveis de saída (métricas do nível 1 e atributos de desempenho da SC) utilizadas no modelo proposto, bem como os valores de referência utilizados para constituir as funções de pertinência.

Quadro 5.23 Características das variáveis de saída do submodelo *Responsiveness*

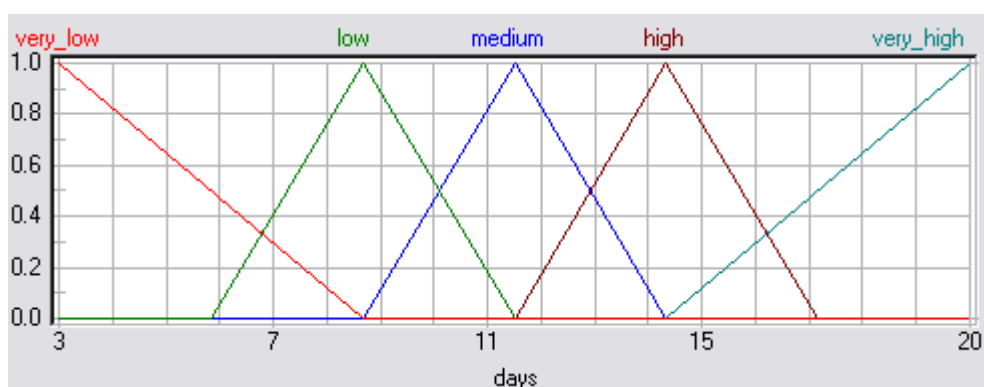
Nome da variável de saída	Método de Defuzzificação	Unidade	Min	Max	Termos Linguísticos
<i>OFull_Cycle_Time</i>		days	3	20	very_low low medium high
<i>Responsiveness</i>		percentage	0	100	very_high very_low low medium high very_high

Fonte: Dados da Pesquisa.

As Figuras 5.45 e 5.46 ilustram as funções de pertinência das variáveis de saída listadas no Quadro 5.23.

**Figura 5.45** Funções de pertinência para *Responsiveness*

Fonte: Dados da Pesquisa.

**Figura 5.46** Funções de pertinência para *Order Fulfillment Cycle Time*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 5.1, percebe-se que, num primeiro momento, a variável *Order Fulfillment Cycle Time* é uma variável de saída. No entanto, passa a ser considerada uma variável de entrada quando o objeto de análise for o atributo de desempenho *Responsiveness*.

O bloco de regras (Quadro 5.24), que relaciona as variáveis de entrada *Source Cycle*

Time, *Make Cycle Time* e *Deliver Cycle Time* à variável de saída *Order Fulfillment Cycle Time*, tem parâmetro de agregação min-max, totalizando 27 regras).

Quadro 5.24 Bloco de regras para o submodelo *Order Fulfillment Cycle Time*

Se			Então
<i>Cycle_Time_Deliv</i>	<i>Cycle_Time_Make</i>	<i>Cycle_Time_Sourc</i>	<i>OFull_Cycle_Time</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>very_low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>very_low</i>
<i>low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>low</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	<i>high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>very_high</i>
<i>high</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	<i>very_high</i>

Fonte: Dados da Pesquisa.

O bloco de regras (Quadro 5.25), que relaciona, a agora, variável de entrada *Order Fulfillment Cycle Time* à variável de saída, *SC Responsiveness*, tem parâmetro de agregação min-max, totalizando 5 regras.

Quadro 5.25 Bloco de regras para *SC Responsiveness*

Se		Então
<i>OFull_Cycle_Time</i>		<i>Responsiveness</i>
<i>very_low</i>		<i>very_high</i>
<i>low</i>		<i>high</i>
<i>medium</i>		<i>medium</i>
<i>high</i>		<i>low</i>
<i>very_high</i>		<i>very_low</i>

Fonte: Dados da Pesquisa.

O próximo capítulo apresenta uma análise estatística dos resultados gerados pelo modelo.

C APÍTULO 6

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

“Quando as leis da matemática se referem à realidade, elas não são certas. E se são certas, não são referentes à realidade.”

Albert Einstein

6.1 OBJETIVO E ESTRUTURA DO CAPÍTULO

Este capítulo tem por objetivo analisar os resultados gerados pelo modelo de simulação proposto. Inicialmente, foi realizada uma análise estatística descritiva com base na metodologia proposta pelo *Supply Chain Council*. Posteriormente, foi realizada uma análise usando técnicas de DoE, mais precisamente análises de composto central por superfícies de resposta.

6.2 ANÁLISE DESCRITIVA: MÉTODO *SCORmark*

Com o propósito de analisar o comportamento de resposta gerado pelo modelo proposto, foram simulados alguns experimentos por meio da geração de números aleatórios das variáveis operacionais, ou seja, as métricas condizentes ao nível 2 do SCOR. Para tanto, os números aleatórios foram gerados no *Excel*, utilizando-se da fórmula (Eq. 6.1) proposta por Perin Filho (1995), pelo método da transformação inversa, para uma distribuição contínua uniforme.

$$X \leftarrow [a + (b - a) \times \text{random}(s)] \quad (6.1)$$

Uma descrição do processo de simulação e os resultados completos encontram-se no Apêndice desta tese.

Para categorizar os dados gerados pelo modelo, foi adotada a mesma classificação proposta pelo *Supply Chain Council* (SCC) no processo de *Benchmarking* em cadeias de suprimentos, ou seja, por meio da ferramenta *Supply Chain SCORmark*. O SCC (2009) estratifica o desempenho no processo de *benchmarking* por meio três posicionamentos:

- **superior (*superior*):** é o desempenho (mediana) de um determinado indicador em relação a um percentual de 10% das SCs mais bem classificadas em relação ao total de SCs pesquisadas;
- **vantagem (*advantage*):** é o desempenho do ponto médio entre as empresas Top 10, e a mediana de todas as SCs estudadas;
- **paridade (*parity*):** é o desempenho (mediana) de todas as SCs estudadas.

A Tabela 6.1 ilustra o comportamento da métrica de nível 1, *Perfect Order Fulfillment*, e do atributo de desempenho Confiabilidade (*Reliability*).

Tabela 6.1 Resultados da Simulação para o desempenho em Confiabilidade

Métricas	Superior (Top 10%)				Advantage	Parity (100%)			
	Mediana	Média	Max	Min		Mediana	Média	Max	Min
<i>Accurate Documentation Delivery to Customer Commit Date</i>	98,00	97,75	98,00	97,00	94,50	91,00	91,14	98,00	84,00
<i>% Orders Delivered in Full</i>	97,00	97,25	98,00	97,00	94,00	91,00	91,20	98,00	85,00
<i>Perfect Condition</i>	97,00	97,25	98,00	97,00	95,00	93,00	91,80	98,00	85,00
<i>Perfect Order Fulfillment</i>	98,00	97,75	98,00	97,00	95,00	92,00	91,60	98,00	85,00
Reliability Supply Chain Performance	95,33	95,26	96,04	94,33	93,30	91,27	91,43	96,04	86,97
	79,46	78,90	84,92	71,77	63,87	48,27	49,52	84,92	15,11

Fonte: Dados da pesquisa.

Analisando o desempenho da medida *Perfect Order Fulfillment*, para a categoria *Superior*, percebeu-se que a mesma não atingiu o mesmo comportamento das melhores práticas de mercado para esta métrica, ou seja, um índice de 98% para o pedido perfeito. No entanto, isso não significa que o modelo estivesse convergindo para um valor subótimo. Logo, decidiu-se verificar a distribuição dos dados aleatórios gerados, e foi constatado que, por um comportamento aleatório de tal distribuição, não havia experimento algum que apresentasse um *status* de desempenho superior para todas as medidas de nível 2, no caso, as variáveis independentes a serem manipuladas.

Isso equivale dizer, por exemplo, que nenhum experimento apresentou os valores máximos das medidas *accurate documentation*, *delivery to commit date*, *orders in full* e *perfect condition*. Daí o fato de a variável de resposta, no caso, o indicador, *Perfect Order Fulfillment*, não convergir para índices próximos às melhores práticas de mercado.

Para compreender melhor o comportamento do modelo nessas situações, foram simuladas duas situações para as categorias *Superior* e *Parity*¹, a fim de se compreender as fronteiras de possíveis resultados gerados pelo modelo:

Situação 1: utilização de valores máximos de cada categoria;

Situação 2: utilização de valores mínimos de cada categoria.

¹ Tal simulação não foi realizada para a categoria *Advantage*, pela própria definição da mesma, ou seja, o ponto médio entre a categoria *Parity* e a categoria *Superior*.

Tal simulação permitiu que fossem estabelecidas as fronteiras, ou os limites das variáveis de resposta, o que, segundo Costa (2009), é uma alternativa muito importante no processo de validação de um modelo de simulação.

A Tabela 6.2 ilustra os resultados destas simulações para as variáveis de resposta *Perfect Order Fulfillment* e *Reliability Supply Chain Performance*.

Tabela 6.2 Resultados da Simulação para o desempenho em Confiabilidade

Métricas ou Atributos de Desempenho	Fronteiras do Modelo de Simulação ¹					
	<i>Superior</i>			<i>Parity</i>		
	Max	Mediana	Min	Max	Mediana	Min
<i>Perfect Order Fulfillment (%)</i>	98	97,32	96,60	98	91,5	85,01
<i>Reliability Supply Chain Performance (%)</i>	99,95	94,75	89,20	99,5	50	0

Fonte: Dados da pesquisa.

Analisando os dados da Tabela 6.2, verificou-se um comportamento mais lógico em relação à resposta do modelo. Em relação à medida *pedido perfeito*, percebeu-se que, para um caso de desempenho *superior*, a fronteira do sistema situou-se entre 96,6% e 98%, respectivamente. No caso de um desempenho *parity*, a fronteira do sistema situou-se entre 85,01% e 98%, respectivamente, dado que a análise descritiva trabalhou com os dados de todas SCs simuladas pelo modelo.

Em relação ao atributo de desempenho Confiabilidade, percebeu-se que, para um caso de desempenho *superior*, a fronteira do sistema situou-se entre 99,95% e 98%, respectivamente. No caso de um desempenho *parity*, a fronteira do sistema situou-se entre 99,5% e zero, respectivamente.

No entanto, a medida principal, segundo a metodologia proposta pelo *Supply Chain Council* (SCC, 2009), é o valor mediano, que norteará as melhores práticas de mercado. Portanto, o valor de referência (mediana) para um desempenho superior, da medida *Perfect Order Fulfillment*, foi um desempenho de 97,32%. Seguindo a mesma lógica, o valor de referência (mediana) para um desempenho superior do atributo *Reliability Supply Chain Performance* foi de 94,75%.

Logo, o valor de referência (mediana) para um desempenho *parity*, da medida *Perfect Order Fulfillment*, foi um desempenho de 91,5%. Seguindo a mesma lógica, o valor de referência (mediana) para um desempenho *parity*, do atributo *Reliability Supply Chain Performance*, foi de 50%.

¹ Em relação à distribuição uniforme gerada por números aleatórios.

A análise “fronteira” mostrou-se mais interessante que o procedimento anterior, pois dificilmente uma empresa que apresente um desempenho de excelência em três de quatro indicadores possíveis, apresentará um desempenho péssimo no quarto indicador. Se isso ocorrer, o sistema retornará uma resposta condizente com esse comportamento, devido às regras de inferências criadas pelo especialista.

Apenas para efeito ilustrativo, o procedimento de cálculo da Tabela 6.1 foi realizado para todos os outros submodelos, conforme pode ser observado na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 Resultados da Simulação do Modelo Proposto

Métricas	Superior (Top 10%)				Advantage	Parity (100%)			
	Mediana	Média	Max	Min		Mediana	Média	Max	Min
<i>Assets Turns</i>	2,60	2,65	2,88	2,52	1,99	1,38	1,43	2,88	0,14
<i>Net Profit</i>	6,87	6,87	7,14	6,61	4,91	2,96	3,48	7,14	0,41
Return Over Assets (ROA)	14,56	15,17	17,98	13,57	12,74	10,93	10,38	17,98	2,91
<i>Inventory Days of Supply</i>	28,50	29,75	34,00	28,00	44,75	61,00	56,94	79,00	28,00
<i>Days Payable Outstanding</i>	35,50	34,75	37,00	31,00	43,75	52,00	52,97	72,00	31,00
<i>Days Sales Outstanding</i>	30,00	29,50	32,00	26,00	40,00	50,00	49,23	69,00	26,00
Cash to Cash Assets Supply Chain Performance	69,14	70,86	79,76	65,39	54,83	40,51	43,92	79,76	14,16
<i>Delivery Cycle Time</i>	1,00	1,00	1,00	1,00	2,50	4,00	3,97	7,00	1,00
<i>Make Cycle Time</i>	1,00	1,25	2,00	1,00	2,00	3,00	3,63	7,00	1,00
<i>Source Cycle Time</i>	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	3,00	3,37	6,00	1,00
Order Fulfillment Cycle Time	5,84	5,84	8,67	3,00	8,67	11,50	11,01	14,33	3,00
Responsiveness SC Performance	83,76	85,00	99,99	72,48	66,88	50,00	53,47	99,99	26,84
<i>Finance and Planning Cost</i>	0,86	0,86	0,90	0,81	1,07	1,27	1,25	1,70	0,81
<i>Inventory Carrying Cost</i>	2,78	2,77	2,88	2,64	3,39	3,99	4,01	5,55	2,64
<i>IT Supply Chain Cost</i>	1,83	1,85	1,93	1,82	2,10	2,37	2,61	3,69	1,82
<i>Material Acquisition Cost</i>	5,49	5,52	5,90	5,22	6,83	8,16	8,17	11,20	5,22
<i>Order Management Costs</i>	8,95	8,95	9,42	8,50	11,26	13,56	13,04	17,83	8,50
Total SCM Costs	26,38	26,10	26,59	25,05	27,98	29,58	29,44	32,35	25,05
<i>COGS</i>	49,98	50,03	50,54	49,62	55,26	60,54	60,06	69,86	49,62
Cost Supply Chain Performance	69,12	71,11	80,13	66,06	56,61	44,09	46,30	80,13	24,19
<i>Upside Deliver Flexibility</i>	14,00	14,25	16,00	13,00	30,50	47,00	44,77	73,00	13,00
<i>Upside Make Flexibility</i>	16,00	15,50	17,00	13,00	32,50	49,00	44,69	76,00	13,00
<i>Upside Source Flexibility</i>	13,50	13,75	18,00	10,00	27,75	42,00	43,34	80,00	10,00
Upside Supply	83,56	88,47	106,13	80,63	109,28	135,00	132,19	168,37	80,63

Métricas	Superior (Top 10%)				Advantage	Parity (100%)			
	Mediana	Média	Max	Min		Mediana	Média	Max	Min
<i>Chain Flexibility (B)</i>									
<i>Flexibility Supply</i>									
<i>Chain Performance</i>	74,49	72,16	75,89	63,75	62,25	50,00	51,34	75,89	34,11

Fonte: Dados da pesquisa.

Desse modo, as apresentações de resultados seguintes seguiram a lógica da análise de fronteira gerada pelos dados simulados no modelo.

A Tabela 6.4 resume o comportamento dos submodelos restantes.

Tabela 6.4 Resultados da simulação para o desempenho das métricas nível 1

Métricas ou Atributos de Desempenho	Fronteiras do Modelo de Simulação					
	Superior			Parity		
	Max	Mediana	Min	Max	Mediana	Min
<i>Perfect Order Fulfillment (%)</i>	98	97,32	96,60	98	91,5	85,01
<i>Return Over Assets (%)</i>	19,18	18,02	17,51	19,18	10,04	2,84
<i>Cash to Cash (days)</i>	41,23	31,97	25,36	59,16	55,59	25,36
<i>Order Fulfillment Cycle Time (days)</i>	3	3	3	20	11,5	3
<i>Total SCM Costs (% of Revenue)</i>	25,74	25,09	24,34	34,65	29,63	24,34
<i>Upside Supply Chain Flexibility (B)(Days)</i>	60,81	51,51	43,78	216,69	137,12	43,78

Fonte: Dados da pesquisa.

Em relação à medida *Return Over Assets*, percebeu-se que, para um caso de desempenho *superior*, a fronteira do sistema situou-se entre 19,18% e 17,51%, respectivamente. No caso de um desempenho *parity*, a fronteira do sistema situou-se entre 19,18% e 2,84%.

O valor de referência (mediana) para um desempenho superior, da medida *Return Over Assets*, foi um desempenho de 18,02%. O valor de referência (mediana) para um desempenho *parity*, da mesma medida, foi um desempenho de 10,04% .

Em relação à medida *Cash to Cash*, percebeu-se que, para um caso de desempenho *superior*, a fronteira do sistema situou-se entre 41 e 25 dias, respectivamente. No caso de um desempenho *parity*, a fronteira do sistema situou-se entre 59 e 25 dias.

O valor de referência (mediana) para um desempenho superior, da medida *Cash to Cash*, foi um desempenho de 32 dias. O valor de referência (mediana) para um desempenho *parity*, da mesma medida, foi um desempenho de 56 dias.

Em relação à medida *Order Fulfillment Cycle Time*, percebeu-se que, para um caso de desempenho *superior*, não existiu uma variação significativa entre o valor máximo e o valor mínimo. Num sistema *fuzzy* baseado em regras, esse é um comportamento previsível, pois

mesmo que as variáveis de entrada sejam diferentes, a variável de resposta só se alterará se for ativada alguma regra diferente. No modelo proposto, quando as variáveis de entradas estão muito próximas do limite inferior, o comportamento apresentado foi um mesmo valor de resposta. Essa análise poderá ser refinada com a análise por superfície de resposta, próxima seção deste capítulo. No caso de um desempenho *parity*, a fronteira do sistema situou-se entre 20 e 3 dias.

O valor de referência (mediana), para um desempenho superior, da medida *Order Fulfillment Cycle Time*, foi de 3 dias . O valor de referência (mediana) para um desempenho *parity*, da mesma medida, foi um desempenho de 12 dias.

Em relação à medida *Total SCM Costs*, percebeu-se que, para um caso de desempenho *superior*, a fronteira do sistema situou-se entre 25,74 e 24,34 como % da receita, respectivamente. No caso de um desempenho *parity*, a fronteira do sistema situou-se entre 34,65 e 24,34 como % da receita.

O valor de referência (mediana) para um desempenho superior, da medida *Total SCM Costs*, foi um desempenho de 25,09 % da receita . O valor de referência (mediana) para um desempenho *parity*, da mesma medida, foi um desempenho de 29,63 como % da receita.

Em relação à medida *Upside Supply Chain Flexibility (B)*, percebeu-se que, para um caso de desempenho *superior*, a fronteira do sistema situou-se entre 61 e 44 dias, respectivamente. No caso de um desempenho *parity*, a fronteira do sistema situou-se entre 217 e 44 dias.

O valor de referência (mediana) para um desempenho superior, da medida *Upside Supply Chain Flexibility (B)*, foi um desempenho de 52 dias . O valor de referência (mediana) para um desempenho *parity*, da mesma medida, foi um desempenho de 137 dias.

A Tabela 6.5 resume o comportamento dos atributos de desempenho em relação às fronteiras do sistema.

Tabela 6.5 Resultados da simulação para os atributos de desempenho

Métricas ou Atributos de Desempenho	Fronteiras do Modelo de Simulação					
	Superior			Parity		
	BIC	Mediana	WIC	BIC	Mediana	WIC
<i>Assets Supply Chain Performance (%)</i>	96,02	82,16	76,66	96,02	40,48	2,91
<i>Responsiveness SC Performance (%)</i>	99,99	99,99	88,96	99,99	55,57	0
<i>Cost Supply Chain Performance (%)</i>	95,02	90,22	84,36	95,02	47,85	3
<i>Flexibility Supply Chain Performance (%)</i>	93,43	89,77	85,33	93,43	48,99	11,10
<i>Reliability Supply Chain Performance (%)</i>	99,95	94,75	89,20	99,5	50	0

Notas: BIC (*Best in Class*) e WIC (*Worst in Class*)

Fonte: Dados da Pesquisa.

Nesta análise, foram introduzidos dois conceitos que podem auxiliar as organizações em seus padrões de *benchmarking*: os padrões de desempenho superior, denominados *Best in Class (BIC)*, e os padrões de nível inferior, denominados *Worst in Class (WIC)*.

Em relação ao atributo de desempenho *Assets Supply Chain Performance*, percebeu-se que, para um caso de desempenho *superior*, a fronteira do sistema situou-se entre 96,02% (BIC) e 76,66% (WIC), respectivamente. No caso de um desempenho *parity*, a fronteira do sistema situou-se entre 96,02% (BIC) e 2,91% (WIC), respectivamente. Os valores de referência (mediana) para um desempenho *superior* e *parity* deste atributo foram, respectivamente, 82,16% e 40,48%.

Para o atributo de desempenho *Responsiveness SC Performance*, percebeu-se que, para um caso de desempenho *superior*, a fronteira do sistema situou-se entre 99,99% (BIC) e 86,96% (WIC), respectivamente. No caso de um desempenho *parity*, a fronteira do sistema situou-se entre 99,9% (BIC) e 0,0% (WIC), respectivamente. Os valores de referência (mediana) para um desempenho *superior* e *parity* deste atributo foram, respectivamente, 99,99% e 55,57%.

Em relação ao atributo de desempenho *Cost Supply Chain Performance*, percebeu-se que, para um caso de desempenho *superior*, a fronteira do sistema situou-se entre 95,02% (BIC) e 84,36% (WIC), respectivamente. No caso de um desempenho *parity*, a fronteira do sistema situou-se entre 95,02% (BIC) e 3% (WIC), respectivamente. Os valores de referência (mediana) para um desempenho *superior* e *parity* deste atributo foram, respectivamente, 90,22% e 47,85%.

Para o atributo de desempenho *Flexibility Supply Chain Performance*, percebeu-se que, para um caso de desempenho *superior*, a fronteira do sistema situou-se entre 93,43% (BIC) e 85,33% (WIC), respectivamente. No caso de um desempenho *parity*, a fronteira do sistema situou-se entre 93,43% (BIC) e 11,10% (WIC), respectivamente. Os valores de referência (mediana) para um desempenho *superior* e *parity* deste atributo foram, respectivamente, 89,77% e 48,99%.

Em relação ao atributo de desempenho *Reliability Supply Chain Performance*, percebeu-se que, para um caso de desempenho *superior*, a fronteira do sistema situou-se entre 99,95% (BIC) e 89,20% (WIC), respectivamente. No caso de um desempenho *parity*, a fronteira do sistema situou-se entre 99,95% (BIC) e 0,0% (WIC), respectivamente. Os valores de referência (mediana) para um desempenho *superior* e *parity* deste atributo foram, respectivamente, 94,75% e 50%.

Análises descritivas como as realizadas anteriormente são simples e altamente recomendadas pelo *Supply Chain Council*, no estabelecimento dos padrões de *benchmarking* em Cadeia de Suprimentos.

A fim de se analisar o efeito das variáveis de entrada sobre o comportamento da variável de resposta, foi utilizada uma técnica de planejamento de experimentos (DoE) denominada análise de composto central por superfícies de resposta.

6.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS RESPOSTAS DO MODELO DE SIMULAÇÃO

A aplicação da técnica de planejamento de experimentos na avaliação de sistemas computacionais é razoavelmente recente. Nessa linha de pensamento, alguns trabalhos (JAIN, 1991; WELCH et al., 1992; MAYER; BENJAMIN; 1992; SHANG; TADIKAMALLA, 1998), mencionam a utilização do planejamento de experimentos como uma das principais ferramentas na avaliação de desempenho de sistemas computacionais.

A metodologia de superfície de resposta (*Response Surface Methodology* - RSM) é uma técnica estatística baseada no emprego de planejamentos fatoriais introduzida na década de 1950, e a partir daí tem sido utilizada com grande sucesso na modelagem de processos industriais (BARROS NETO; SCAMINIO; BRUNS, 2003).

Como um importante instrumento no projeto de experimentos, a RSM pode ser definida como uma coleção de técnicas matemáticas e estatísticas utilizadas para a modelagem e análises de problemas em que uma variável resposta é influenciada por inúmeras variáveis independentes, e o objetivo é otimizar a resposta (MONTGOMERY, 2005).

Uma das vantagens do uso da RSM é a economia de recursos financeiros e tempo, proporcionada pelo delineamento gerando curvas “iso-resposta”, o que possibilita a obtenção do mesmo resultado com diferentes proporções entre as variáveis, sem necessidade de se repetirem exaustivamente os ensaios experimentais (BARROS NETO; SCAMINIO; BRUNS, 2003).

Corroborando o pensamento anterior, Montgomery (1991) reforça algumas propriedades do planejamento de experimentos por superfícies de resposta (MONTGOMERY, 1991):

- Proporcionam uma distribuição adequada dos dados em toda a região de interesse;
- Permitem investigar a falta de ajuste do modelo;
- Proporcionam uma estimativa do erro;
- Não requerem um número muito grande de ensaios;
- Não requerem um número grande de níveis das variáveis independentes;
- Garantem a simplicidade dos cálculos dos coeficientes do modelo.

Nesse sentido, a RSM tem sido usada para responder a questões do tipo (BOX et al., 1978; OEHLERT, 2000):

- Como uma resposta particular é afetada por um conjunto de variáveis de entrada sobre uma região de interesse?
- Quais conjuntos de entradas geram um produto satisfazendo simultaneamente várias especificações desejadas?
- Quais os valores de entradas que produzem o valor máximo para uma resposta específica e como se comporta a resposta em torno deste máximo?

Geralmente, o relacionamento entre as variáveis dependentes e independentes é desconhecido. Procura-se encontrar uma razoável aproximação do relacionamento real entre as respostas (y) e o conjunto de variáveis independentes (x). Usualmente, um polinômio de baixa ordem para qualquer região de interesse é empregado. Entretanto, se existir curvatura no sistema, então a função de aproximação mais usada é um polinômio de ordem superior, como o modelo de segunda ordem. A escolha de planejamento consiste na seleção das combinações dos níveis dos fatores que permitam o uso de um modelo adequado para a ou à detecção da falta de ajuste no modelo utilizado. Isso facilita o ajuste e a análise de superfícies de resposta (PAIVA et al., 2007).

Os arranjos da Metodologia de Superfície de Respostas (RSM), tais como o arranjo do composto central (*Central Composite Design – CCD*), por exemplo, usam uma combinação de arranjos fatoriais (completos ou fracionados), pontos médios dos fatores nivelados (pontos centrais) e pontos axiais (extremos) para ajustar, quando necessário, um modelo polinomial de segunda ordem (BOX; DRAPER, 1987; KHURI; CORNELL, 1987; MONTGOMERY, 2001).

Esta tese utilizou a Metodologia da Superfície de Resposta, bem como o Delineamento de Experimento por Composto Central, pela robustez de tais métodos quanto à análise de modelos lineares e não lineares, e a determinação de uma região ótima para os modelos propostos.

As seções seguintes procuraram analisar os modelos propostos por meio de algumas técnicas estatísticas como Análise de Variância (ANOVA), Análise dos efeitos das variáveis independentes sobre a variável resposta, Análise dos resíduos, e as respectivas Superfícies de Resposta e as curvas de níveis representativas de tais relacionamentos.

6.3.1 Análise do Modelo *Cash to Cash*

Conforme abordado no Capítulo 5, a métrica de nível 1, *Cash to Cash* (variável resposta), é influenciada pelas variáveis independentes *Inventory Days of Supply*, *Days Payable Outstanding*, *Days Sales Outstanding*, respectivamente.

A avaliação do efeito das métricas *Inventory Days of Supply*, *Days Payable Outstanding* e *Days Sales Outstanding* foi realizada segundo um planejamento composto central (2^3), constituído por oito ensaios lineares nos níveis -1 e $+1$, seis ensaios axiais ($\alpha = 1,68179$) e dois ensaios no ponto central, como pode ser observado na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 Planejamento Experimental Composto Central para *Cash to Cash*

Ensaio	Não Codificado			Codificado			Resposta (y)
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁	x ₂	x ₃	
1	42,80	40,00	34,50	-1,00000	-1,00000	-1,00000	47,93
2	42,80	40,00	60,50	-1,00000	-1,00000	1,00000	58,46
3	42,80	62,00	34,50	-1,00000	1,00000	-1,00000	36,97
4	42,80	62,00	60,50	-1,00000	1,00000	1,00000	44,25
5	64,80	40,00	34,50	1,00000	-1,00000	-1,00000	56,36
6	64,80	40,00	60,50	1,00000	-1,00000	1,00000	63,6
7	64,80	62,00	34,50	1,00000	1,00000	-1,00000	42,13
8	64,80	62,00	60,50	1,00000	1,00000	1,00000	61,57
9	35,30	51,00	47,50	-1,68179	0,00000	0,00000	43,93
10	72,30	51,00	47,50	1,68179	0,00000	0,00000	56,93
11	53,80	32,50	47,50	0,00000	-1,68179	0,00000	74,67
12	53,80	69,50	47,50	0,00000	1,68179	0,00000	50,3
13	53,80	51,00	25,64	0,00000	0,00000	-1,68179	41,34
14	53,80	51,00	69,36	0,00000	0,00000	1,68179	59,29
15 (C)	53,80	51,00	47,50	0,00000	0,00000	0,00000	50,3
16 (C)	53,80	51,00	47,50	0,00000	0,00000	0,00000	50,3

Em que: (x₁) *Inventory days of supply (days)*;
 (x₂) *Days payable outstanding (days)*;
 (x₃) *Days sales outstanding (days)*;
 (y) *Cash to Cash (Resposta) (days)*.

Utilizando o programa *Statistica*® versão 9.0, os resultados foram avaliados através da verificação dos efeitos significativos ($p \leq 0,05$), análise de variância (ANOVA) e Metodologia de Superfície de Resposta.

As superfícies de respostas geradas para este modelo podem ser visualizadas nas Figuras 6.1 e 6.2, respectivamente.

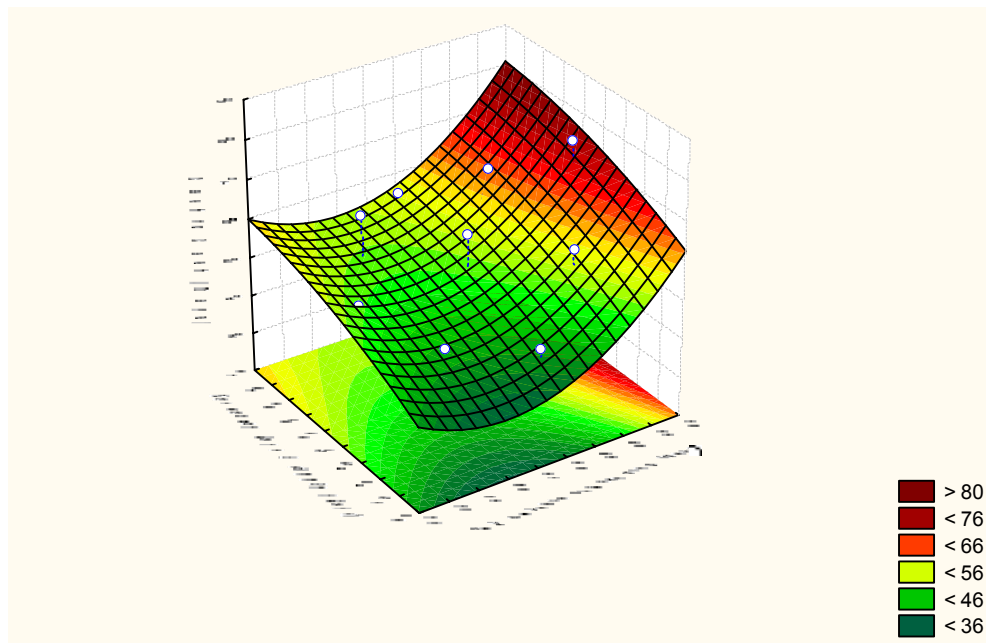


Figura 6.1 Superfície de Resposta para *Cash to Cash* em função de *Inventory Days of Supply* (a) e *Days payable outstanding* (b)

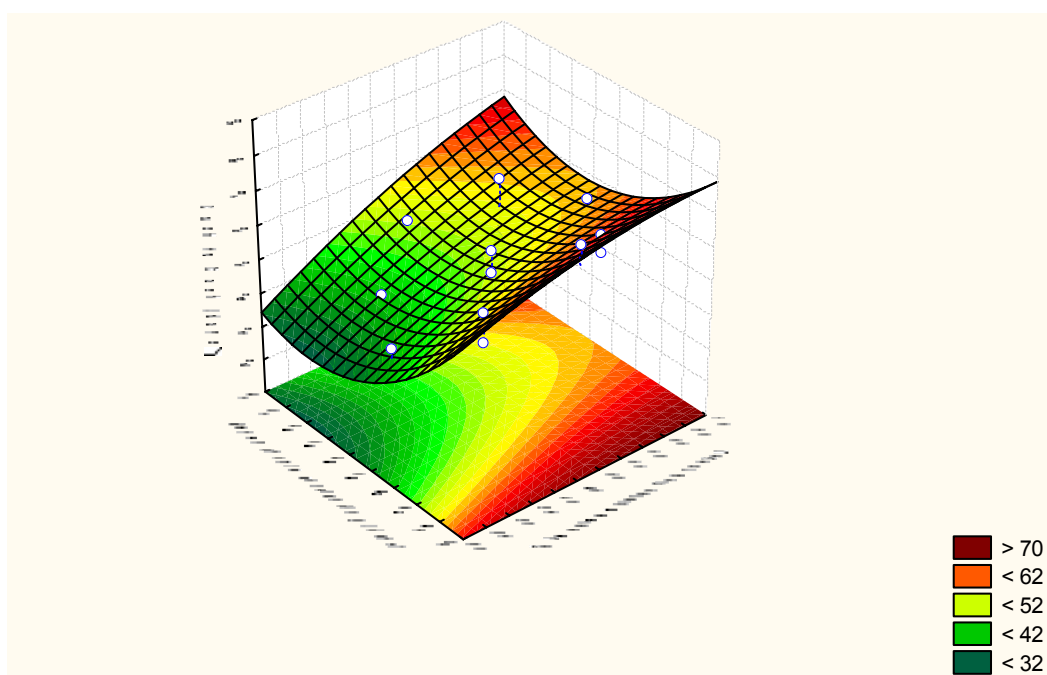


Figura 6.2 Superfície de Resposta para *Cash to Cash* em função de *Days sales outstanding* (a) e *Days payable outstanding* (b)

Para determinar se existia um relacionamento significativo entre as variáveis independentes e a variável resposta, foi realizada uma análise de variância (ANOVA). Tal análise possibilitou identificar se o relacionamento entre os fatores era de natureza linear ou quadrática, além de atestar estatisticamente a significância para os fatores adotados no modelo. A Tabela 6.7 evidencia os resultados da análise de variância.

Tabela 6.7 ANOVA para *Cash to Cash* ($R^2 = 0,92557$; Adj: 0,87596)

Fatores	SS	df	MS	F	p
<i>Inventory days of supply (L)</i>	245,587	1	245,5871	20,29740	0,001478
<i>Inventory days of supply (Q)</i>	4,687	1	4,6868	0,38735	0,549135
<i>Days Payable Outstanding (L)</i>	497,354	1	497,3545	41,10558	0,000124
<i>Days Payable Outstanding (Q)</i>	116,811	1	116,8105	9,65421	0,012577
<i>Days Sales Outstanding (L)</i>	408,355	1	408,3552	33,74993	0,000256
<i>Days Sales Outstanding (Q)</i>	5,241	1	5,2414	0,43319	0,526902
Erro	108,895	9	12,0994		
Total SS	1463,135	15			

Fonte: Dados da pesquisa.

Analisando a Tabela 6.7, percebe-se que as métricas *Inventory days of supply* e *Days Sales Outstanding* apresentaram significância ($p < 0,05$) para um modelo de ajuste linear, enquanto a métrica *Days Payable Outstanding* apresentou significância tanto para um modelo linear quanto para um modelo quadrático.

Para determinar quais variáveis independentes devem ser incluídas ou excluídas do modelo, é necessário testar o efeito destas sobre a variável dependente.

O *efeito* de um fator é a variação da magnitude da resposta em função dos níveis inferior e superior do fator. O *efeito principal* de um fator é, por definição, a média dos efeitos desse fator nos níveis de outro fator. Quando o efeito de um fator depende dos níveis de outro, pode-se dizer que os dois fatores interagem e, então, deve-se calcular o efeito de tal interação (BOX et al., 1978).

O efeito estimado indica o quanto cada fator influi na resposta estudada, pois quanto maior o seu valor em módulo, maior é a sua influência. Um efeito positivo indica que o aumento da variável provoca um aumento na resposta; já o efeito negativo indica que, para um aumento da variável, ocorre uma diminuição na resposta (BOX et al., 1978).

Uma alternativa interessante pode ser efetuada por meio da análise do gráfico de pareto para os efeitos das variáveis. A Figura 6.3 ilustra esse comportamento.

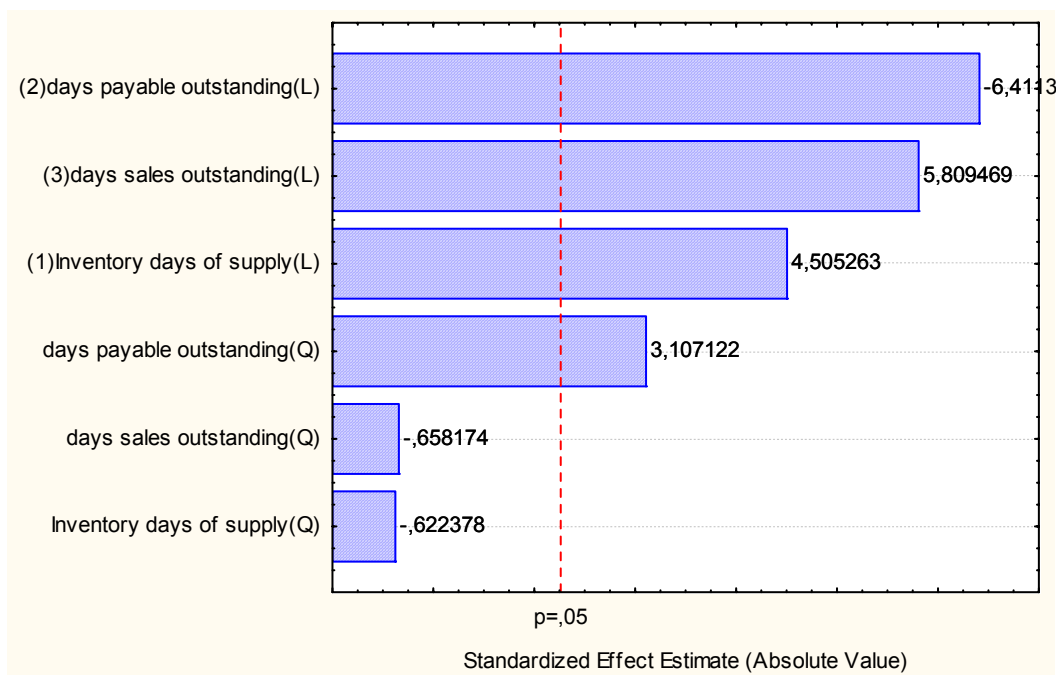


Figura 6.3 Análise de efeitos para *Cash to Cash*

Fonte: Dados da Pesquisa.

A Figura 6.3 representa um gráfico padronizado de Pareto com barras horizontais. O comprimento de cada barra é proporcional ao valor absoluto associado ao efeito estimado.

Observando a Figura, constatou-se que a variável mais impactante no modelo foi a medida de desempenho *Days Payable Outstanding*, de comportamento linear e efeito negativo sobre a variável resposta. Seguindo a mesma lógica, encontram-se com efeitos significativos os fatores *Days Sales Outstanding*, por meio de um modelo linear e efeito positivo e *Inventory Days of Supply*, apresentando um comportamento também linear e efeito positivo. Finalmente o indicador *Days Payable Outstanding* apresentou um efeito significativamente positivo, e comportamento quadrático.

Para um modelo ser adequado, os erros cometidos devem ser mínimos. Estes erros incluem todos os efeitos não contabilizados, como os erros de medida, ruídos, efeitos de outras variáveis não consideradas, etc. Do ponto de vista estatístico, os erros (resíduos) deverão ter uma distribuição normal (aleatória) com média zero e variância constante. A adequação do modelo à resposta verdadeira exige, portanto, a avaliação correta dos resíduos: a representação da probabilidade normal, em função dos resíduos, deve ser aproximadamente linear, e a representação da função resíduos, em função da resposta prevista, deve ser aleatória e razoavelmente simétrica (CORNELL, 2002; MYERS; MONTGOMERY, 2002).

A Figura 6.4 ilustra um gráfico da distribuição normal dos resíduos para o modelo *Cash to Cash*.

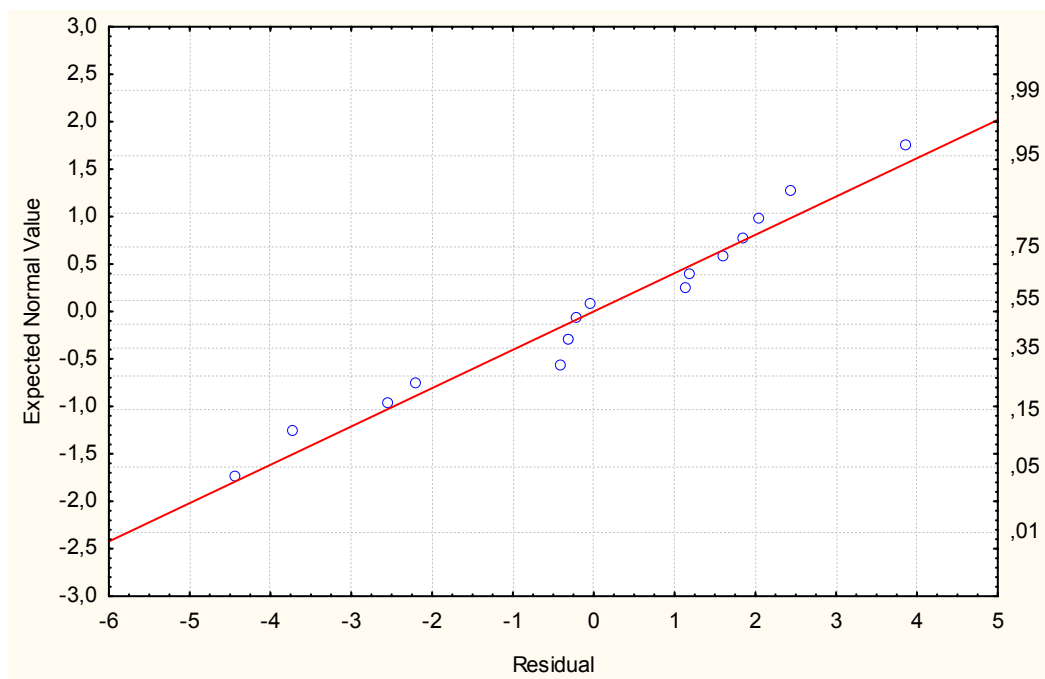


Figura 6.4 Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para *Cash to Cash*
Fonte: Dados da Pesquisa.

Se os resíduos plotados distribuem-se aproximadamente ao longo da linha central, então a hipótese de normalidade está satisfeita. Na Figura 6.4, os resíduos podem ser julgados como normalmente distribuídos, e, portanto, a hipótese de normalidade, a resposta está satisfeita.

Em muitos casos, a análise gráfica (tridimensional) da superfície de resposta é um valioso instrumento para auxiliar na compreensão do comportamento da superfície de resposta (forma de picos, vales, linhas de crista). No entanto, em alguns casos, a visualização do comportamento da superfície de resposta é complexa e limitada. Para tanto, é utilizada uma projeção dessa superfície de resposta, denominada curva de nível. Tais linhas de contorno ilustram o comportamento da variável resposta em função das variáveis de independentes. A análise por meio dessas linhas de contorno possibilita uma leitura gráfica na busca do ponto que dê a resposta ótima, que maximiza os resultados do sistema. As Figura 6.5; 6.6 e 6.7 ilustram as curvas de níveis para o modelo *cash to cash*.

Neste caso, como se trata de três fatores, a análise por meio de curvas de níveis foi realizada aos pares, ou seja, variando-se as variáveis independentes (duas a duas), em função da variável resposta.

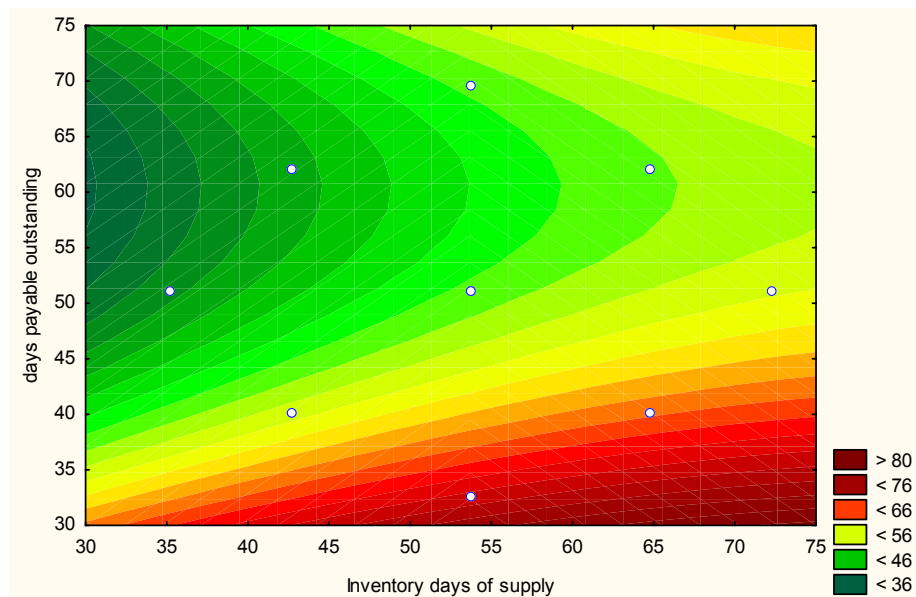


Figura 6.5 *Cash to Cash* (days) em função de *Inventory days of supply* (days) e *Days payable outstanding* (days)

Fonte: Dados da Pesquisa.

A função objetivo para a métrica *cash to cash* é sempre a minimização do tempo de conversão de caixa. Analisando a curva de nível expressa na Figura 6.5, observou-se que os menores valores para o tempo de conversão de caixa (menor que 36 dias) ocorrem quando os indicadores *Inventory days of supply* e *days payable outstanding* desempenham 30 e 60 dias, respectivamente. Analisando o gradiente por cores, percebeu-se que a região ótima da taxa de conversão de caixa é expressa pela zona verde-escura, e os piores rendimentos para o tempo de conversão de caixa estão localizados na zona vermelho-escura.

Analisando o *tempo de conversão de caixa* em função das variáveis *Days payable outstanding* e *Days sales outstanding* (Figura 6.6), percebeu-se um tempo de conversão de caixa melhor (menor que 32 dias) que a análise anterior. O ponto ótimo ocorreu quando as métricas *Days sales outstanding* e *days payable outstanding* desempenharam 20 e 63 dias, respectivamente. Tal desempenho ilustra perfeitamente a influência das duas variáveis com maiores efeitos no modelo, ou seja, *Days sales outstanding* e *days payable outstanding*, conforme discutido na Figura 6.3.

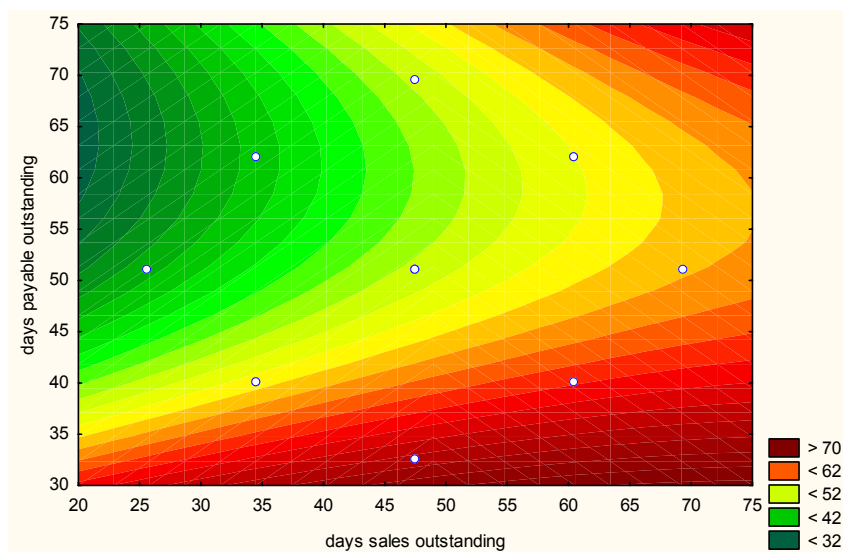


Figura 6.6 *Cash to Cash (days)* em função de *Days sales outstanding (days)* e *Days payable outstanding (days)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando o *tempo de conversão de caixa* em função das variáveis *Inventory days of supply* e *Days sales outstanding*, percebeu-se um tempo de conversão de caixa ótimo (menor que 30 dias) quando as métricas *Inventory days of supply* e *Days sales outstanding* desempenharam 30 e 20 dias, respectivamente, como pode ser observado na Figura 6.7.

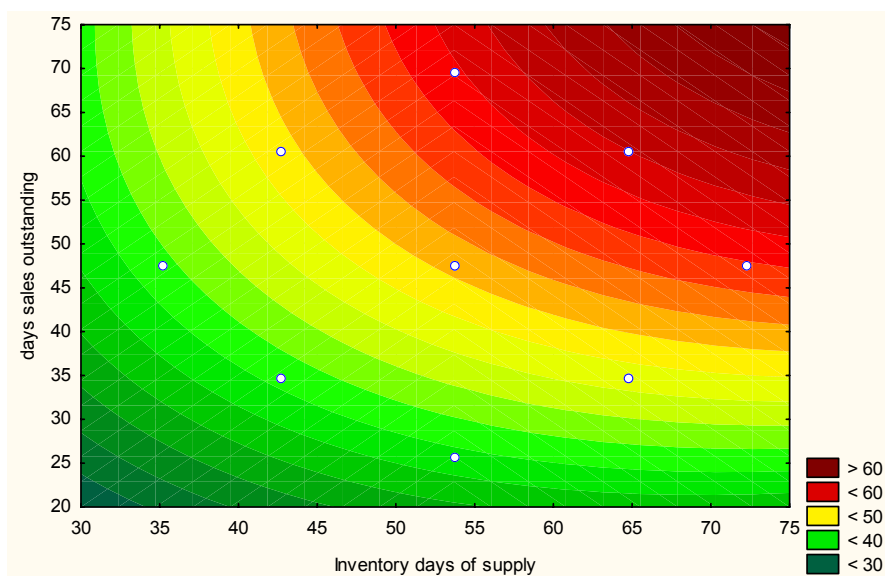


Figura 6.7 *Cash to Cash (days)* em função de *Days sales outstanding (days)* e *Inventory days of supply (days)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

6.3.2 Análise do Modelo *Perfect Order Fulfillment*

Conforme abordado no Capítulo 5, a métrica de nível 1, *Perfect Order Fulfillment* (variável resposta), é influenciada pelas variáveis independentes *Accurate Documentation*, *Delivery to Commit Date*, *Orders in Full* e *Perfect Condition*, respectivamente.

A avaliação do efeito destas métricas foi realizada segundo um planejamento composto central (2^4), constituído por 16 ensaios lineares nos níveis -1 e $+1$, oito ensaios axiais ($\alpha = 2$) e dois ensaios no ponto central, como pode ser observado na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 Planejamento Experimental Composto Central para *Perfect Order Fulfillment*

Ensaio	Não Codificado				Codificado				Resposta (y)
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	
1	88,00	88,50	88,50	88,50	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	88,74
2	88,00	88,50	88,50	94,50	-1,0	-1,0	-1,0	1,0	88,84
3	88,00	88,50	94,50	88,50	-1,0	-1,0	1,0	-1,0	88,84
4	88,00	88,50	94,50	94,50	-1,0	-1,0	1,0	1,0	91,50
5	88,00	94,50	88,50	88,50	-1,0	1,0	-1,0	-1,0	88,84
6	88,00	94,50	88,50	94,50	-1,0	1,0	-1,0	1,0	91,49
7	88,00	94,50	94,50	88,50	-1,0	1,0	1,0	-1,0	91,49
8	88,00	94,50	94,50	94,50	-1,0	1,0	1,0	1,0	93,13
9	94,00	88,50	88,50	88,50	1,0	-1,0	-1,0	-1,0	88,74
10	94,00	88,50	88,50	94,50	1,0	-1,0	-1,0	1,0	91,45
11	94,00	88,50	94,50	88,50	1,0	-1,0	1,0	-1,0	91,45
12	94,00	88,50	94,50	94,50	1,0	-1,0	1,0	1,0	92,98
13	94,00	94,50	88,50	88,50	1,0	1,0	-1,0	-1,0	91,45
14	94,00	94,50	88,50	94,50	1,0	1,0	-1,0	1,0	92,98
15	94,00	94,50	94,50	88,50	1,0	1,0	1,0	-1,0	92,98
16	94,00	94,50	94,50	94,50	1,0	1,0	1,0	1,0	94,25
17	85,00	91,50	91,50	91,50	-2,0	0,0	0,0	0,0	89,64
18	97,00	91,50	91,50	91,50	2,0	0,0	0,0	0,0	91,50
19	91,00	85,50	91,50	91,50	0,0	-2,0	0,0	0,0	90,49
20	91,00	97,50	91,50	91,50	0,0	2,0	0,0	0,0	91,50
21	91,00	91,50	85,50	91,50	0,0	0,0	-2,0	0,0	89,47
22	91,00	91,50	97,50	91,50	0,0	0,0	2,0	0,0	91,50
23	91,00	91,50	91,50	85,50	0,0	0,0	0,0	-2,0	89,46
24	91,00	91,50	91,50	97,50	0,0	0,0	0,0	2,0	91,50
25 (C)	91,00	91,50	91,50	91,50	0,0	0,0	0,0	0,0	91,50
26 (C)	91,00	91,50	91,50	91,50	0,0	0,0	0,0	0,0	91,50

Em que: (x₁): *Accurate Documentation*;

(x₂): *Delivery to Commit Date*;

(x₃): *Orders in Full*;

(x₄): *Perfect Condition*;

(y): *Perfect Order Fulfillment*;

Uma das superfícies de resposta geradas para este modelo pode ser visualizada na Figura 6.8.

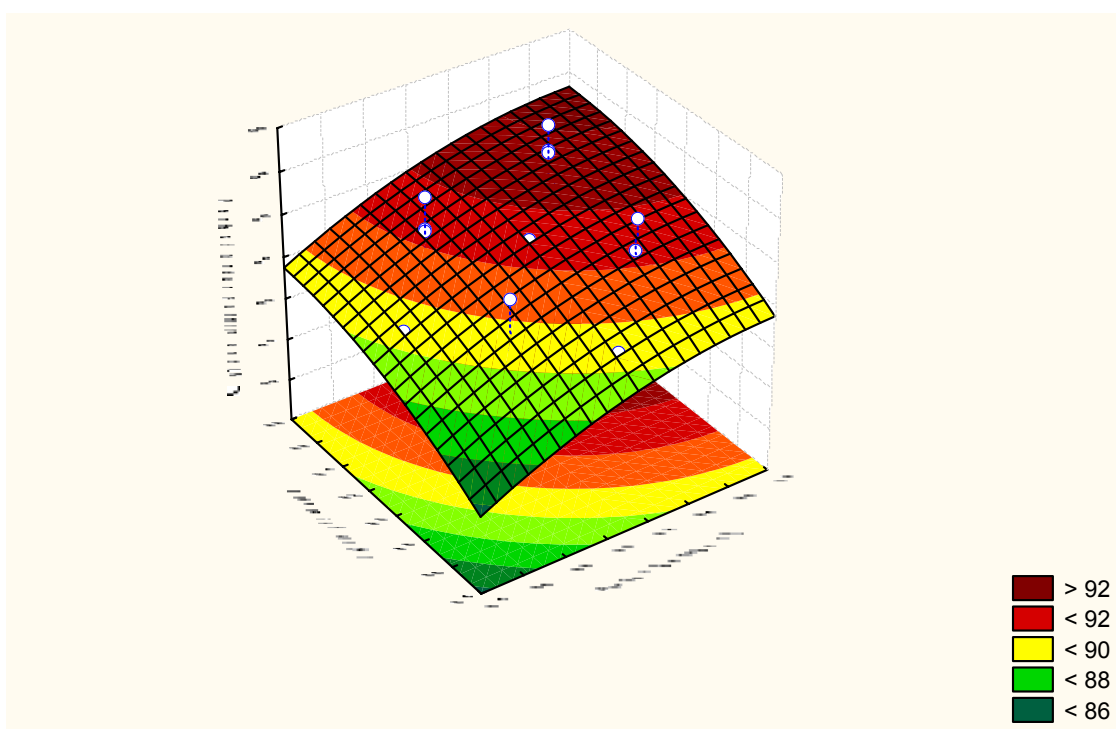


Figura 6.8 Superfície de Resposta para *Perfect Order Fulfillment* em função de *Orders in Full* (a) e *Perfect Condition* (b)

Fonte: Dados da Pesquisa.

Novamente, com o objetivo de verificar se existia um relacionamento significativo entre as variáveis independentes e a variável resposta, foi realizada uma análise de variância (ANOVA). Tal análise possibilitou identificar se o relacionamento entre os fatores era de natureza linear ou quadrática, além de atestar estatisticamente a significância para os fatores adotados no modelo. A Tabela 6.9 evidencia os resultados da análise de variância.

Tabela 6.9 ANOVA para *Perfect Order Fulfillment* ($R^2 = 0,8455$; Adj: $0,7728$)

Fatores	SS	df	MS	F	p
<i>Accurate Documentation</i> (L)	12,22654	1	12,22654	22,17237	0,000202
<i>Accurate Documentation</i> (Q)	0,33452	1	0,33452	0,60663	0,446766
<i>Delivery to Commit Date</i> (L)	10,78700	1	10,78700	19,56183	0,000372
<i>Delivery to Commit Date</i> (Q)	0,01808	1	0,01808	0,03279	0,858438
<i>Orders in Full</i> (L)	13,72594	1	13,72594	24,89148	0,000112
<i>Orders in Full</i> (Q)	0,44509	1	0,44509	0,80716	0,381510
<i>Perfect Condition</i> (L)	13,75620	1	13,75620	24,94637	0,000111
<i>Perfect Condition</i> (Q)	0,45209	1	0,45209	0,81985	0,377880
Erro	9,37433	17	0,55143		
Total SS	60,67619	25			

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Tabela 6.9, verificou-se que todas as variáveis independentes apresentaram significância ($p < 0,05$) para um modelo de ajuste linear.

Para testar o efeito destas sobre a variável dependente, foi gerado um gráfico de pareto, como pode ser observado na Figura 6.9.

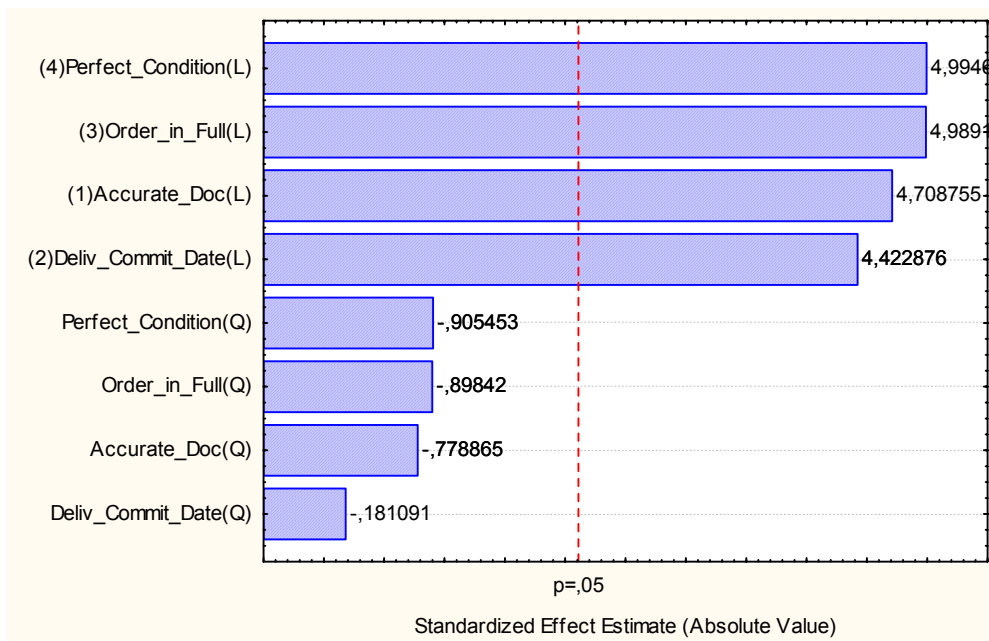


Figura 6.9 Análise de efeitos para *Perfect Order Fulfillment*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Ao analisar a Figura 6.9, percebe-se que o fator de maior efeito foi a medida *Perfect Condition*. Com um efeito muito parecido, apresentou-se o indicador *Orders in Full*. Na sequência seguem-se os fatores *Accurate Documentation* e *Delivery to Commit Date*.

A análise de resíduos pode ser considerada satisfatória por apresentar uma distribuição uniforme dos mesmos em relação à linha central, como pode ser observado na Figura 6.10.

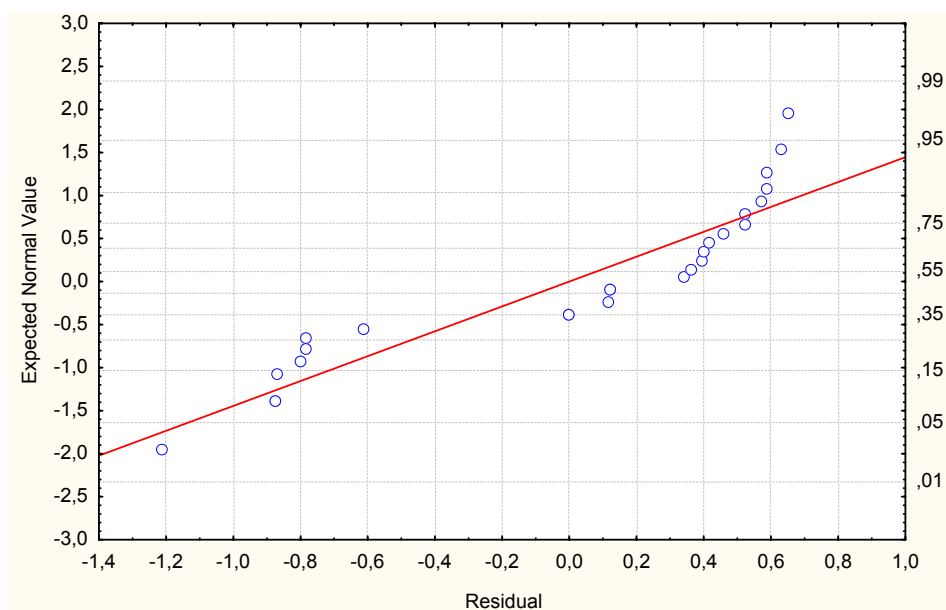


Figura 6.10 Análise de resíduos para *Perfect Order Fulfillment*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Para a análise do ponto ótimo, foi gerada uma curva de nível com as duas métricas de maior efeito, ou seja, *Perfect Condition* e *Orders in Full*. A Figura 6.11 ilustra o comportamento do pedido perfeito em função destas variáveis.

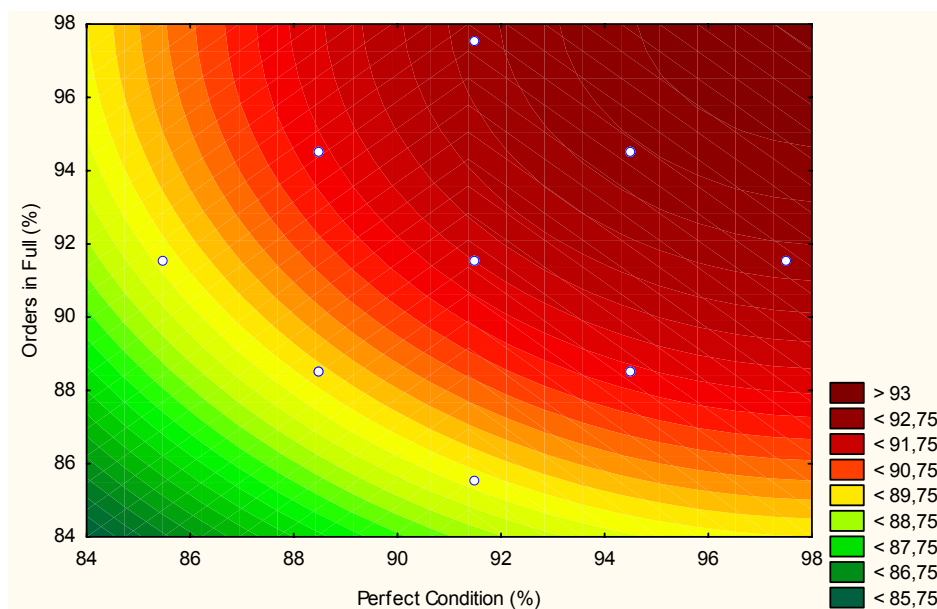


Figura 6.11 *Perfect Order Fulfillment* em função de *Perfect Condition* e *Orders in Full*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 6.11, verifica-se que a região ótima (>93%) se inicia com um percentual superior a 96% para *Perfect Condition* e *Orders In Full*, respectivamente. No entanto, é importante ressaltar que o *pedido perfeito* ótimo é determinado pelos quatro fatores anteriormente citados, o que não é passível de ser representado numa curva de nível ou superfície de resposta.

6.3.3 Análise do Modelo *Order Fulfillment Cycle Time*

Conforme abordado no Capítulo 5, a métrica de nível 1, *Order Cycle Time* (variável resposta), é influenciada pelas variáveis independentes *Source Cycle Time*, *Make Cycle Time*, e *Delivery Cycle Time*, respectivamente.

A avaliação do efeito destas métricas foi realizada segundo um planejamento composto central (2^3), constituído por oito ensaios lineares nos níveis -1 e $+1$, seis ensaios axiais ($\alpha = 1,68$) e dois ensaios no ponto central, como pode ser observado na Tabela 6.10.

Tabela 6.10 Planejamento Experimental Composto Central para *Order Cycle Time*

Ensaio	Não Codificado			Codificado			Resposta (y)
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁	x ₂	x ₃	
1	2,30	2,30	2,05	-1,00	-1,00	-1,00	3
2	2,30	2,30	4,95	-1,00	-1,00	1,00	8,67
3	2,30	5,70	2,05	-1,00	1,00	-1,00	11,5
4	2,30	5,70	4,95	-1,00	1,00	1,00	11,5
5	5,70	2,30	2,05	1,00	-1,00	-1,00	11,5
6	5,70	2,30	4,95	1,00	-1,00	1,00	11,5
7	5,70	5,70	2,05	1,00	1,00	-1,00	14,33
8	5,70	5,70	4,95	1,00	1,00	1,00	20
9	1,14	4,00	3,50	-1,68	0,00	0,00	8,67
10	6,86	4,00	3,50	1,68	0,00	0,00	14,33
11	4,00	1,14	3,50	0,00	-1,68	0,00	8,67
12	4,00	6,86	3,50	0,00	1,68	0,00	14,33
13	4,00	4,00	1,06	0,00	0,00	-1,68	11,5
14	4,00	4,00	5,95	0,00	0,00	1,68	11,5
15 (C)	4,00	4,00	3,50	0,00	0,00	0,00	11,5
16 (C)	4,00	4,00	3,50	0,00	0,00	0,00	11,5

Em que: (x₁): *Delivery Cycle Time*;
(x₂): *Make Cycle Time*;
(x₃): *Source Cycle Time*;
(y): *Order Fulfilment Cycle Time*.

Uma das superfícies de resposta geradas para este modelo pode ser visualizada na Figura 6.12.

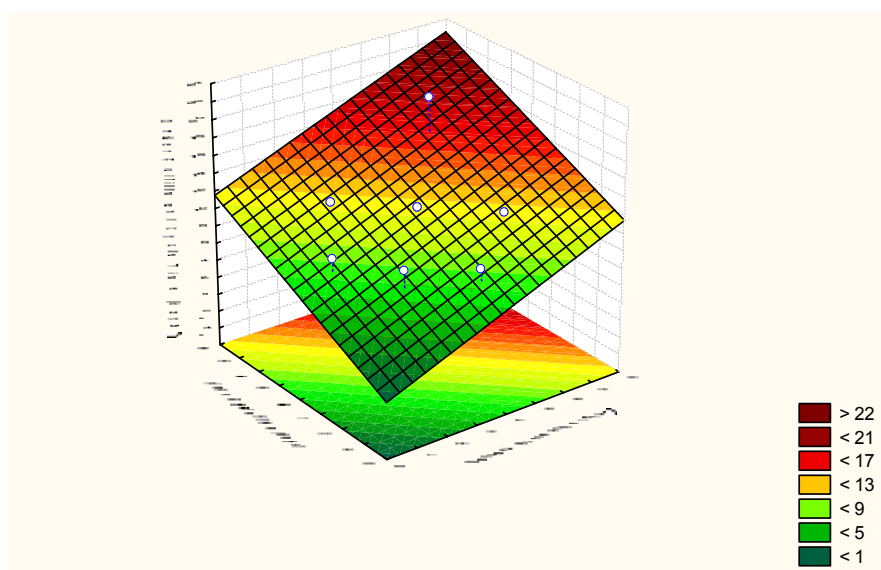


Figura 6.12 Superfície de Resposta para *Order Cycle Time* em função de *Delivery Cycle Time* e *Make Cycle Time*

Fonte: Dados da Pesquisa.

A fim de verificar se existia um relacionamento significativo entre as variáveis independentes e a variável resposta, foi realizada uma análise de variância (ANOVA). Tal análise possibilitou identificar se o relacionamento entre os fatores era de natureza linear ou quadrática, além de atestar estatisticamente a significância para os fatores adotados no modelo. A Tabela 6.11 evidencia os resultados da análise de variância.

Tabela 6.11 ANOVA para *Order Cycle Time* ($R^2 = 0,83627$; Adj: 0,59068)

Fator	SS	df	MS	F	p
<i>Delivery Cycle Time (L)</i>	75,8156	1	75,81563	14,42905	0,008983
<i>Delivery Cycle Time (Q)</i>	0,0000	1	0,00001	0,00000	0,998738
<i>Make Cycle Time (L)</i>	75,8156	1	75,81563	14,42905	0,008983
<i>Make Cycle Time (Q)</i>	0,0000	1	0,00001	0,00000	0,998738
<i>Source Cycle Time (L)</i>	9,3959	1	9,39590	1,78821	0,229607
<i>Source Cycle Time (Q)</i>	0,0002	1	0,00017	0,00003	0,995659
<i>1L by 2L</i>	0,0000	1	0,00000	0,00000	1,000000
<i>1L by 3L</i>	0,0000	1	0,00000	0,00000	1,000000
<i>2L by 3L</i>	0,0000	1	0,00000	0,00000	1,000000
Erro	31,5262	6	5,25437		
Total SS	192,5534	15			

Fonte: Dados da Pesquisa

Analisando a Tabela 6.10, observa-se que apenas os indicadores *Delivery Cycle Time* e *Make Cycle Time* se mostraram significativos ($p < 0,05$), ajustados para um modelo linear. Nenhuma interação significativa foi observada entre as variáveis.

A análise dos efeitos das variáveis mostrou novamente que os fatores *Delivery Cycle Time* e *Make Cycle Time* tiveram um efeito significativo sobre a métrica *Order Cycle Time*, como pode ser observado na Figura 6.13.

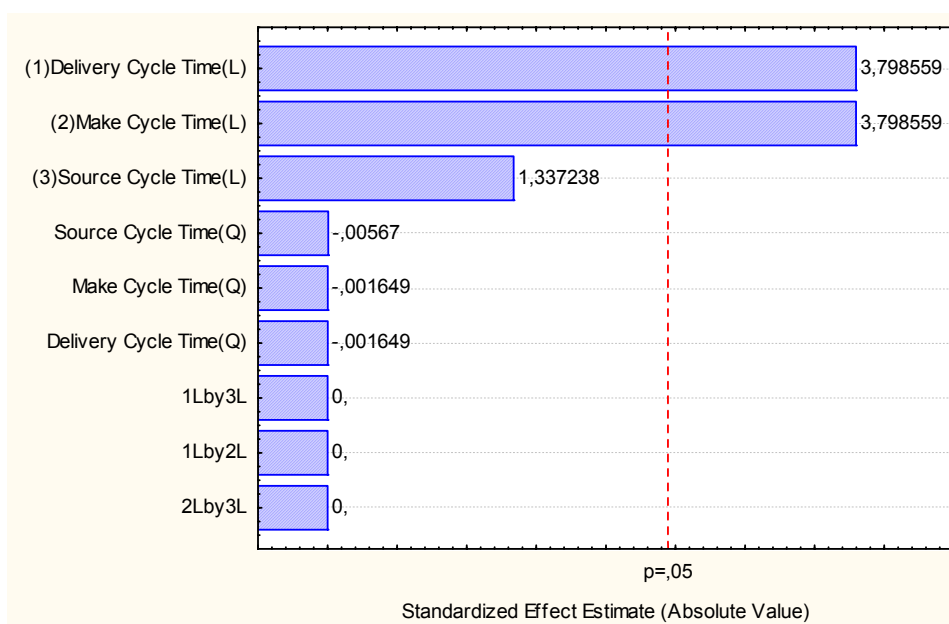


Figura 6.13 Análise de efeitos para *Order Cycle Time*

Fonte: Dados da Pesquisa.

A análise dos resíduos, ilustrada pela Figura 6.14, constata satisfatoriamente a hipótese de distribuição normal dos resíduos do modelo.

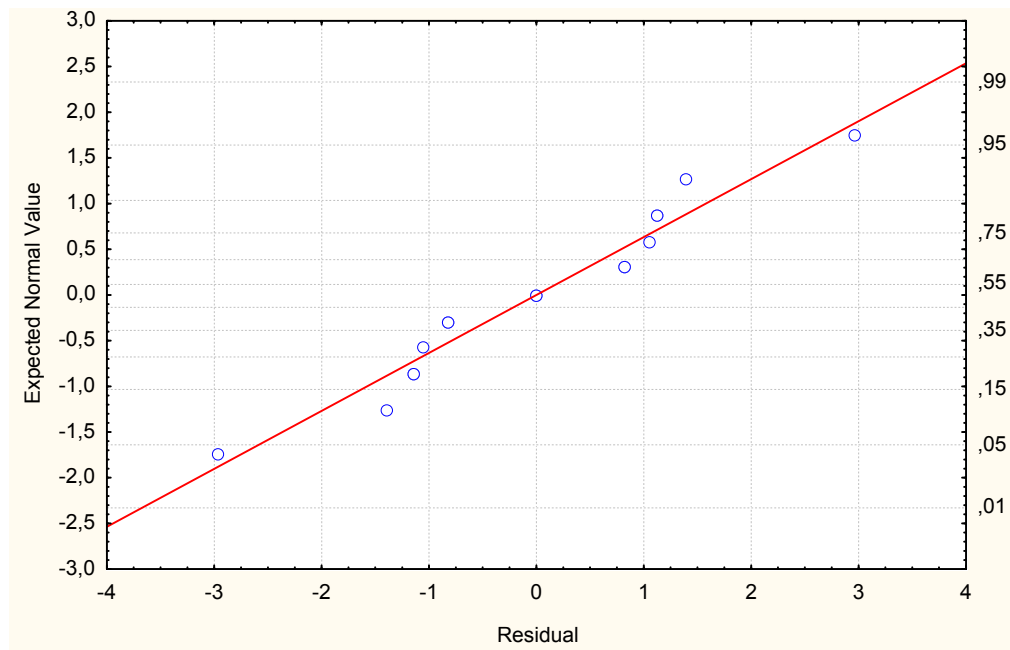


Figura 6.14 Análise de resíduos para *Order Fulfillment Cycle Time*
Fonte: Dados da Pesquisa.

Para a análise do ponto ótimo, foi gerada uma curva de nível com as métricas que apresentaram efeito significativo, ou seja, *Make Cycle Time* e *Delivery Cycle Time*. A Figura 6.15 ilustra o comportamento do *Ciclo do Pedido* em função destas variáveis.

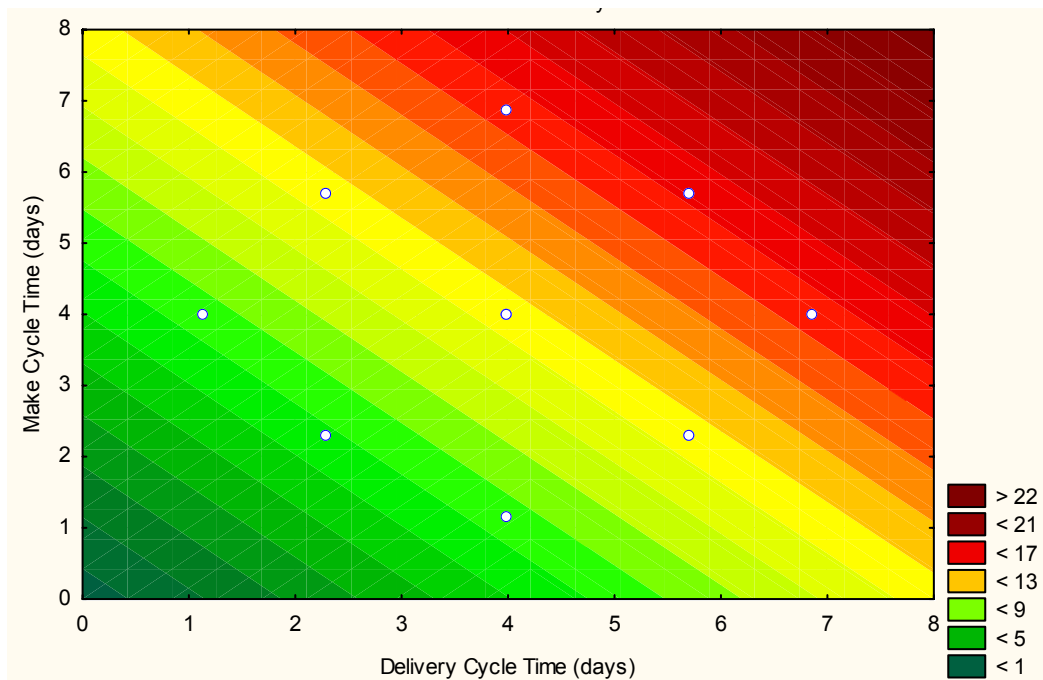


Figura 6.15 *Order Fulfillment Cycle Time* em função de *Make Cycle Time* e *Delivery Cycle Time*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 6.15, verifica-se que a região ótima (<1 dia) para o tempo de ciclo total gira em torno do valor de um dia, tanto para o tempo de ciclo de distribuição quanto para o tempo de ciclo para a produção, respectivamente.

6.3.4 Análise do Modelo *Return Over Assets*

A avaliação do efeito destas métricas foi realizada segundo um planejamento composto central (2^2), constituído por quatro ensaios lineares nos níveis -1 e $+1$, quatro ensaios axiais ($\alpha = 1,14$) e dois ensaios no ponto central, como pode ser observado na Tabela 6.12.

Tabela 6.12 Planejamento Experimental Composto Central para *Return over Assets*

Ensaio	Não Codificado		Codificado		Resposta (y)
	x_1	x_2	x_1	x_2	
1	0,55	1,17	-1	-1	4,72
2	0,55	6,23	-1	1	11,08
3	2,55	1,17	1	-1	10,96
4	2,55	6,23	1	1	17,30
5	0,14	3,70	-1,41421	0	7,44
6	2,96	3,70	1,41421	0	14,60
7	1,55	0,12	0	-1,41421	7,34
8	1,55	7,28	0	1,41421	14,67
9 (C)	1,55	3,70	0	0	11,01
10 (C)	1,55	3,70	0	0	11,01

Em que: (x_1): *Asset Turns (turns)*;
 (x_2): *Net Profit (% of revenue)*;
 (y): *Return Over Assets (% of revenue)*.

A superfície de resposta gerada para este modelo pode ser visualizada na Figura 6.16.

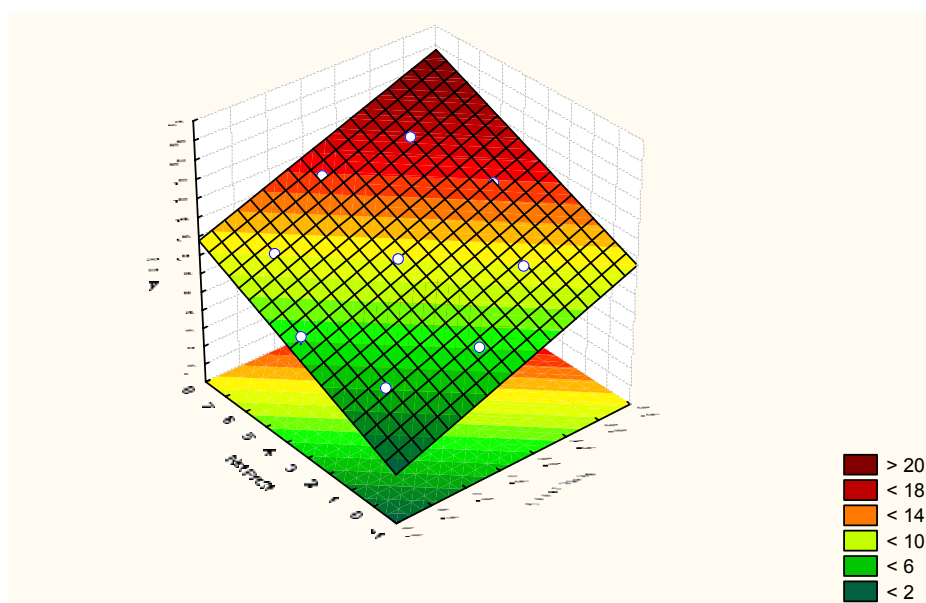


Figura 6.16 Superfície de Resposta para *Return over Assets* em função de *Asset turns* e *Net Profit*

Fonte: Dados da Pesquisa.

A Tabela 6.13 evidencia os resultados da análise de variância para a métrica *Return over Assets* (ROA).

Tabela 6.13 ANOVA para *Return Over Assets* ($R^2 = 0,98977$)

Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Asset Turns(L)	63,7841	1	63,78414	236,8790	0,000021
Asset Turns(Q)	0,0001	1	0,00014	0,0005	0,982391
(2)Net Profit(L)	66,5023	1	66,50227	246,9735	0,000019
Net Profit(Q)	0,0000	1	0,00002	0,0001	0,994109
Erro	1,3463	5	0,26927		
Total SS	131,6330	9			

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Tabela 6.13, verificou-se que as variáveis *Assets Turns* e *Net Profit* apresentaram significância ($p < 0,05$) para um modelo de ajuste linear.

Para testar o efeito das variáveis *Assets Turns* e *Net Profit* sobre a variável dependente *Return over Assets*, foi gerado um gráfico de pareto, como pode ser observado na Figura 6.17.

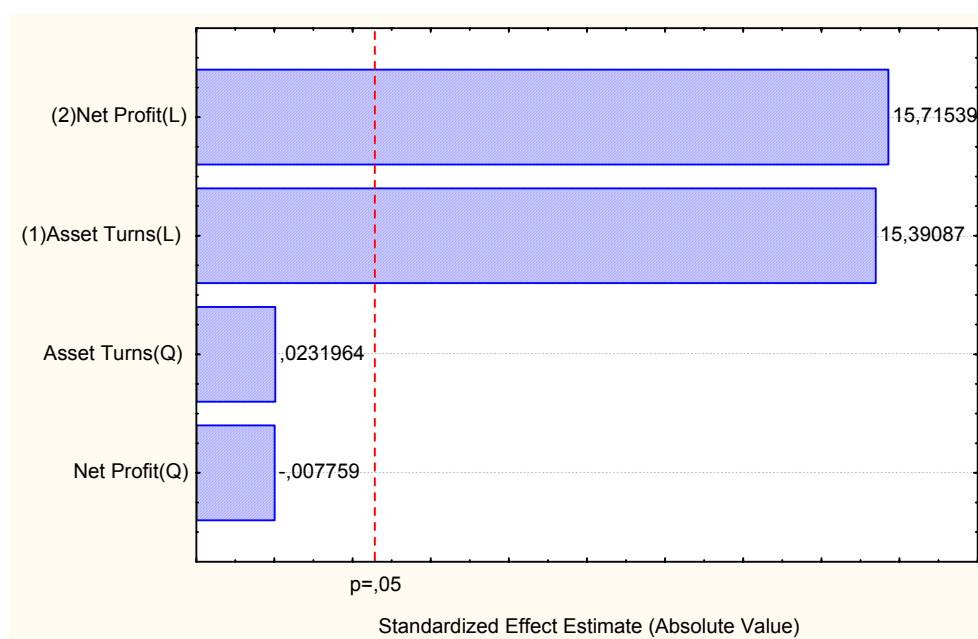


Figura 6.17 Análise de efeitos para *Return over Assets*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Ao analisar a Figura 6.17, percebe-se que praticamente as duas variáveis de entrada apresentaram efeito equitativo sobre a medida *Return over Assets*.

A análise de resíduos pode ser considerada satisfatória para este modelo por apresentar uma distribuição uniforme dos mesmos em relação à linha central, como pode ser observado na Figura 6.18.

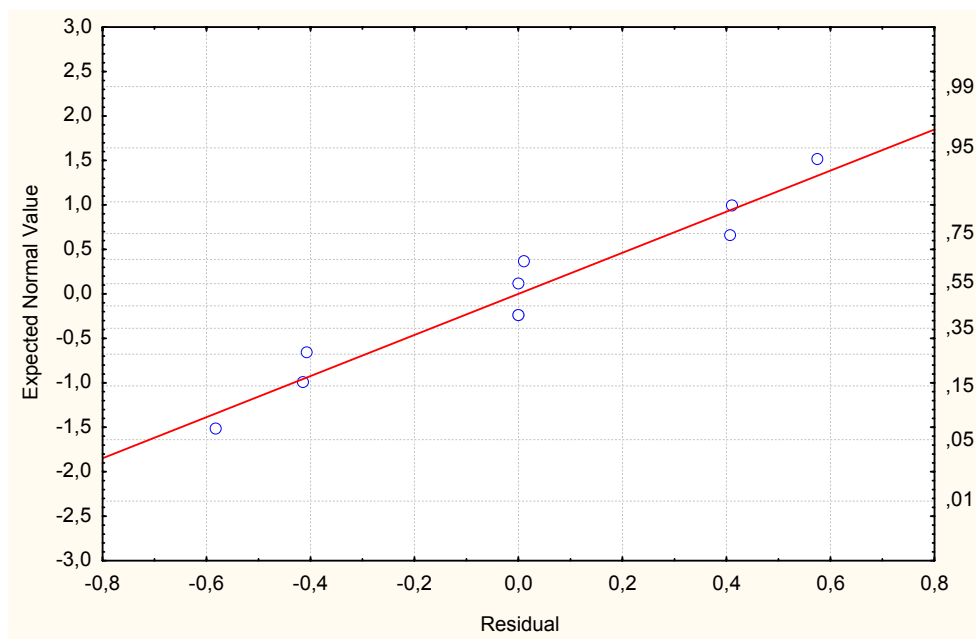


Figura 6.18 Análise de resíduos para *Return over Assets*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Para a análise do ponto ótimo do ROA, foi gerada uma curva de nível, conforme pode ser observado na Figura 6.19.

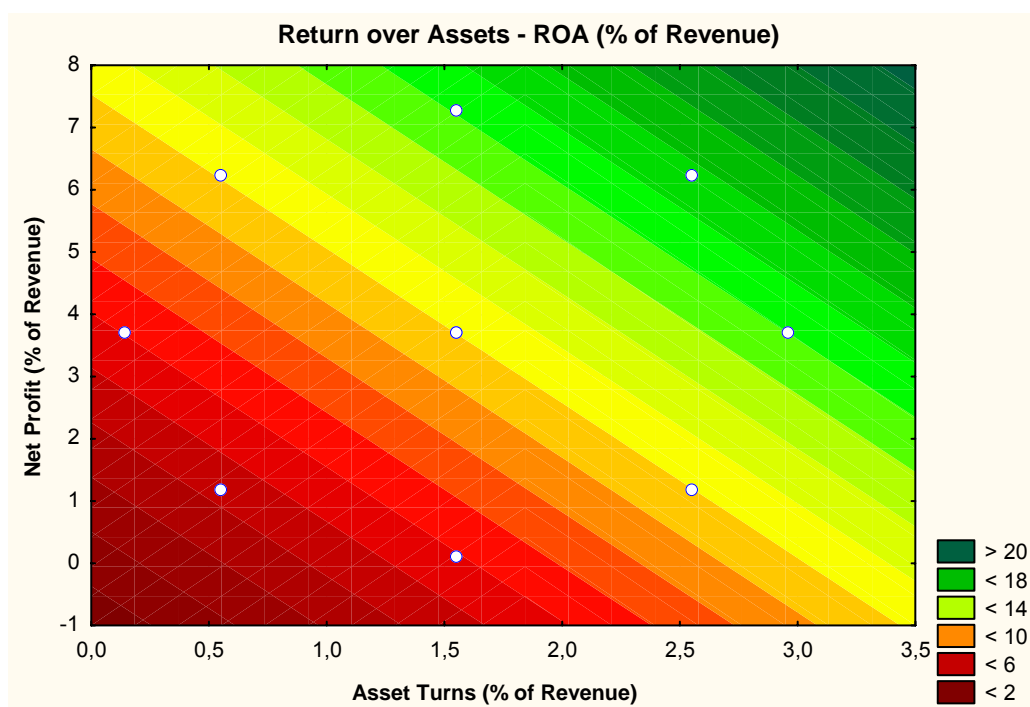


Figura 6.19 *Return over Assets* em função de *Asset Turns* e *Net Profit*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 6.19, verifica-se que a região ótima (>20%) se inicia com um percentual em torno de 3% para *Asset Turns* e 7% para *Net Profit*.

6.3.5 Análise do Modelo *Upside Flexibility Supply Chain*

Conforme abordado no Capítulo 5, a métrica *Upside Flexibility Supply Chain* é influenciada pelas variáveis independentes *Upside Source Flexibility*, *Upside Make Flexibility* e *Upside Deliver Flexibility*, respectivamente.

6.3.5.1 Análise do Modelo *sem Overlap*

A avaliação do efeito destas métricas foi realizada segundo um planejamento composto central (2^3), constituído por oito ensaios lineares nos níveis -1 e $+1$, seis ensaios axiais ($\alpha = 1,68$) e dois ensaios no ponto central, como pode ser observado na Tabela 6.14.

Tabela 6.14 Análise de Composto Central para *Upside Flexibility SC (sem overlap)*

Ensaio	Não Codificado			Codificado			Resposta
	x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_3	y_1
1	25,00	25,00	25,00	-1,00	-1,00	-1,00	82,49
2	25,00	25,00	65,00	-1,00	-1,00	1,00	120,01
3	25,00	65,00	25,00	-1,00	1,00	-1,00	120,01
4	25,00	65,00	65,00	-1,00	1,00	1,00	149,99
5	65,00	25,00	25,00	1,00	-1,00	-1,00	120,01
6	65,00	25,00	65,00	1,00	-1,00	1,00	149,9
7	65,00	65,00	25,00	1,00	1,00	-1,00	149,9
8	65,00	65,00	65,00	1,00	1,00	1,00	187,51
9	11,36	45,00	45,00	-1,68	0,00	0,00	135
10	78,64	45,00	45,00	1,68	0,00	0,00	135
11	45,00	11,36	45,00	0,00	-1,68	0,00	135
12	45,00	78,64	45,00	0,00	1,68	0,00	135
13	45,00	45,00	11,36	0,00	0,00	-1,68	135
14	45,00	45,00	78,64	0,00	0,00	1,68	135
15 (C)	45,00	45,00	45,00	0,00	0,00	0,00	135
16 (C)	45,00	45,00	45,00	0,00	0,00	0,00	135

Em que: (x_1): *Upside Source Flexibility (days)*;
 (x_2): *Upside Make Flexibility (days)*;
 (x_3): *Upside Delivery Flexibility (days)*;
 (y_1): *Upside Flexibility Supply Chain without overlap*.

Uma das superfícies de resposta geradas pode ser visualizada na Figura 6.20.

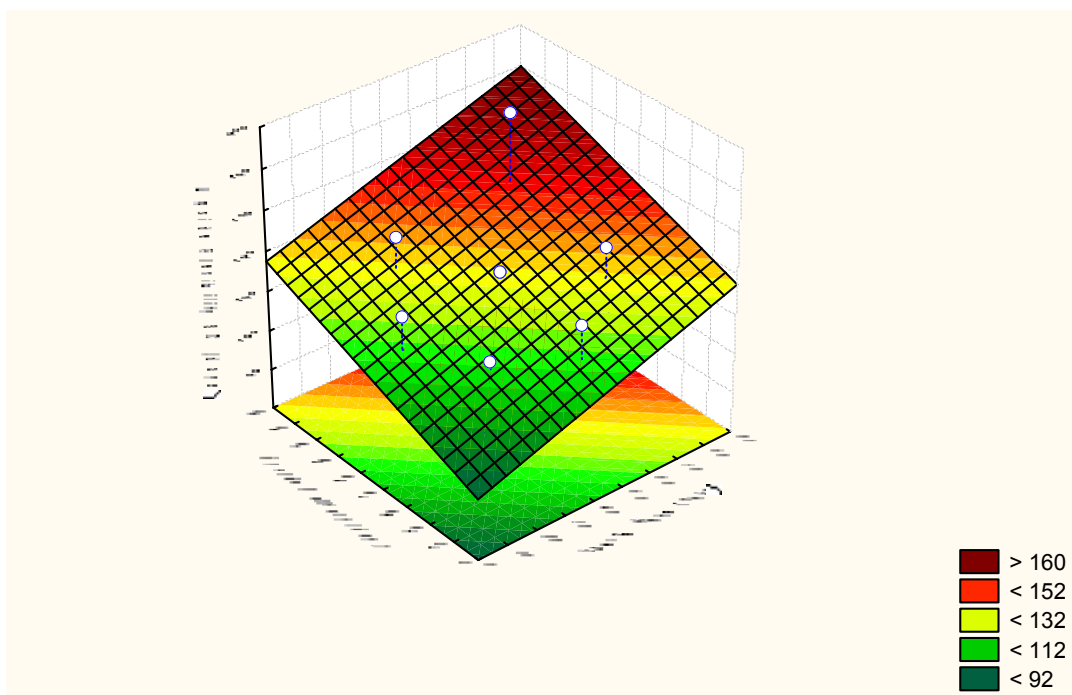


Figura 6.20 Superfície de Resposta para *Upside Flexibility SC (without overlap)* em função de *Upside Make e Upside Deliver*

Fonte: Dados da Pesquisa.

A Tabela 6.15 evidencia os resultados da análise de variância para a métrica *Upside Flexibility Supply Chain (days)*.

Tabela 6.15 ANOVA para *Upside Flexibility SC* ($R^2 = 0,58324$) sem overlap

Fator	SS	df	MS	F	p
(1) Upside Source (L)	1330,803	1	1330,803	4,190920	0,070937
Upside Source (Q)	0,000	1	0,000	0,000001	0,999306
(2) Upside Make (L)	1334,359	1	1334,359	4,202118	0,070624
Upside Make (Q)	0,000	1	0,000	0,000001	0,999306
(3) Upside Deliver (L)	1334,359	1	1334,359	4,202118	0,070624
Upside Deliver(Q)	0,000	1	0,000	0,000001	0,999306
Error	2857,898	9	317,544		
Total SS	6857,419	15			

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Tabela 6.15, observa-se que todas as variáveis independentes se mostraram significativas ($p < 0,08$) e ajustadas para um modelo linear. Nenhuma interação significativa foi observada entre as variáveis.

Para testar o efeito das variáveis independentes sobre a variável dependente, foi gerado um gráfico de pareto, como pode ser observado na Figura 6.21.

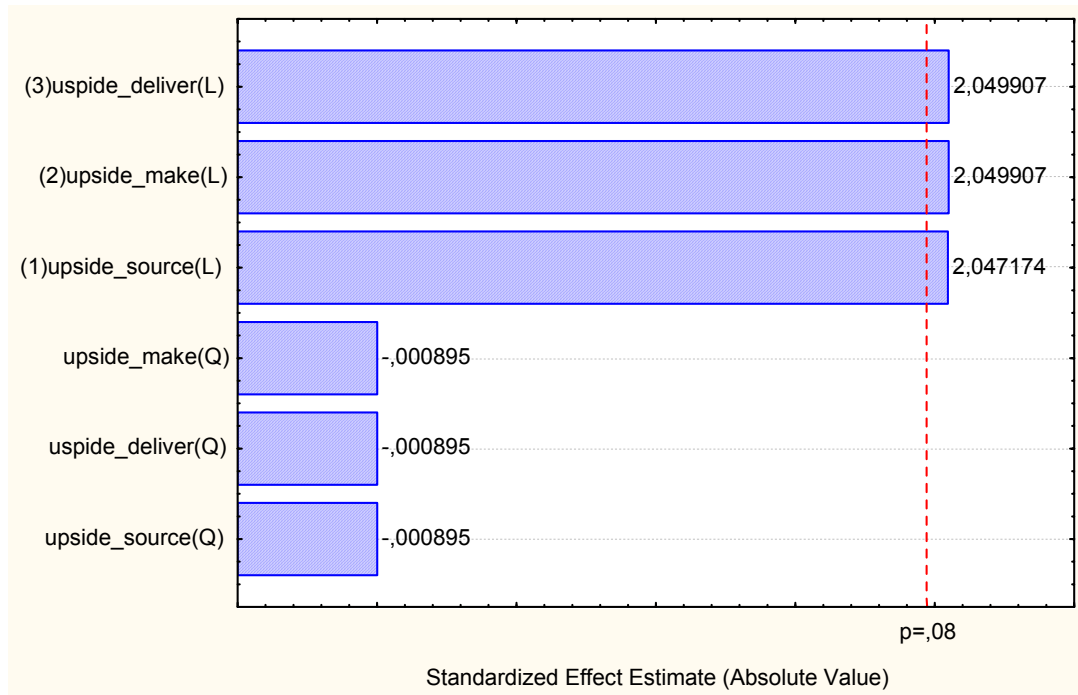


Figura 6.21 Análise de efeitos para *Upside Flexibility SC* (modelo sem overlap)
Fonte: Dados da Pesquisa.

Ao analisar a Figura 6.21, percebe-se que praticamente as três variáveis de entrada apresentaram efeito equitativo sobre a medida *Upside Flexibility SC*.

A análise de resíduos pode ser considerada satisfatória para este modelo por apresentar uma distribuição uniforme dos mesmos em relação à linha central, como pode ser observado na Figura 6.22.

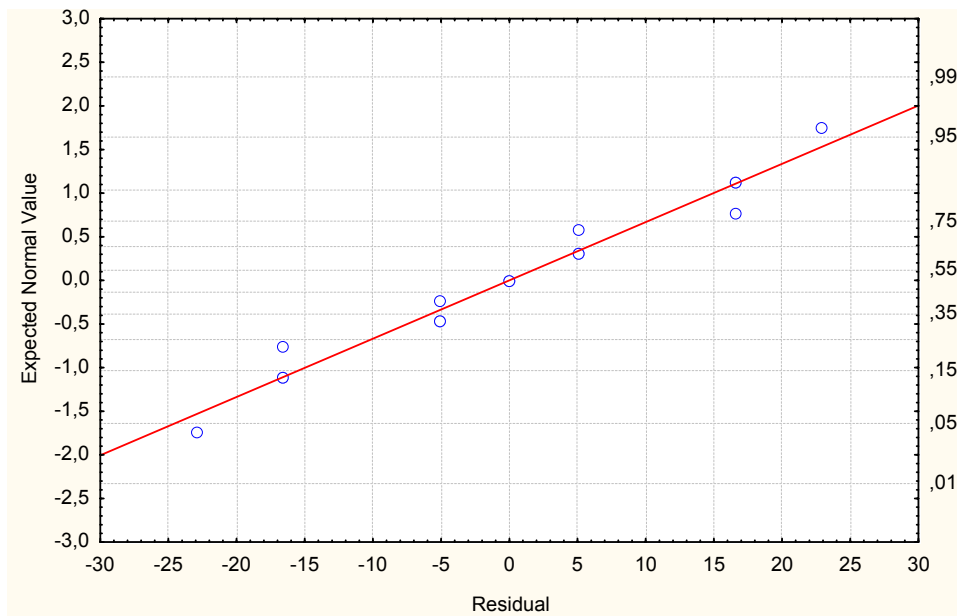


Figura 6.22 Análise de resíduos para *Upside Flexibility SC* (sem overlap)
Fonte: Dados da Pesquisa.

Para a análise do ponto ótimo da medida *Upside Flexibility SC*, foi gerada uma curva de nível, conforme pode ser observado na Figura 6.23.

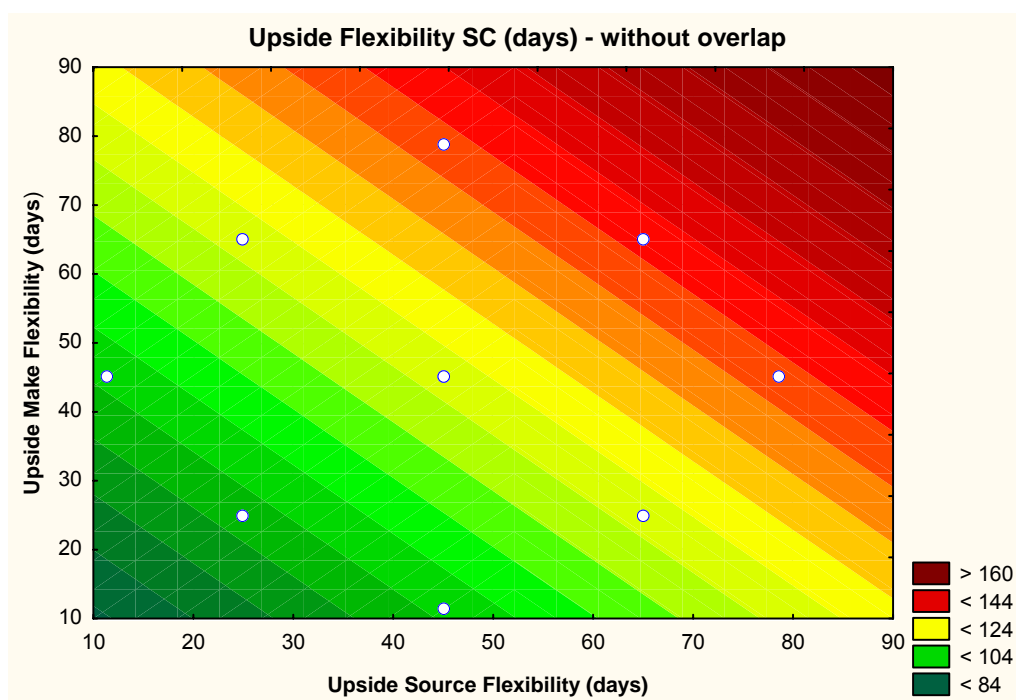


Figura 6.23 *Upside Flex SC* em função de *Upside Make* e *Upside Delivery*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 6.23, verifica-se que a região ótima (< 84 dias) se inicia com valores abaixo de 20 dias, tanto para a medida *Upside Make* quanto para a medida *Upside Delivery*. Neste caso, deve-se lembrar que o resultado da medida *Upside Flexibility SC* depende do desempenho conjunto das três variáveis independentes, o que não pode ser realizado através de uma análise gráfica como as realizadas até o presente momento.

6.3.5.2 Análise do Modelo com *Overlap*

A avaliação do efeito destas métricas foi realizada segundo um planejamento composto central (2^3), constituído por oito ensaios lineares nos níveis -1 e $+1$, seis ensaios axiais ($\alpha = 1,68$) e dois ensaios no ponto central, como pode ser observado na Tabela 6.16.

Tabela 6.16 Análise de Composto Central para *Upside Flexibility SC (overlap)*

Ensaio	Não Codificado			Codificado			Resposta
	x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_3	y_1
1	25,00	25,00	25,00	-1,00	-1,00	-1,00	44,49
2	25,00	25,00	65,00	-1,00	-1,00	1,00	69,14
3	25,00	65,00	25,00	-1,00	1,00	-1,00	69,14
4	25,00	65,00	65,00	-1,00	1,00	1,00	88,66
5	65,00	25,00	25,00	1,00	-1,00	-1,00	69,14
6	65,00	25,00	65,00	1,00	-1,00	1,00	88,66
7	65,00	65,00	25,00	1,00	1,00	-1,00	88,66
8	65,00	65,00	65,00	1,00	1,00	1,00	104,31
9	11,36	45,00	45,00	-1,68	0,00	0,00	79
10	78,64	45,00	45,00	1,68	0,00	0,00	79
11	45,00	11,36	45,00	0,00	-1,68	0,00	79
12	45,00	78,64	45,00	0,00	1,68	0,00	79
13	45,00	45,00	11,36	0,00	0,00	-1,68	79
14	45,00	45,00	78,64	0,00	0,00	1,68	79
15 (C)	45,00	45,00	45,00	0,00	0,00	0,00	79
16 (C)	45,00	45,00	45,00	0,00	0,00	0,00	79

Em que: (x_1): *Upside Source Flexibility (days)*;

(x_2): *Upside Make Flexibility (days)*;

(x_3): *Upside Delivery Flexibility (days)*;

(y_1): *Upside Flexibility Supply Chain with overlap*.

Uma das superfícies de respostas geradas pode ser visualizada na Figura 6.24.

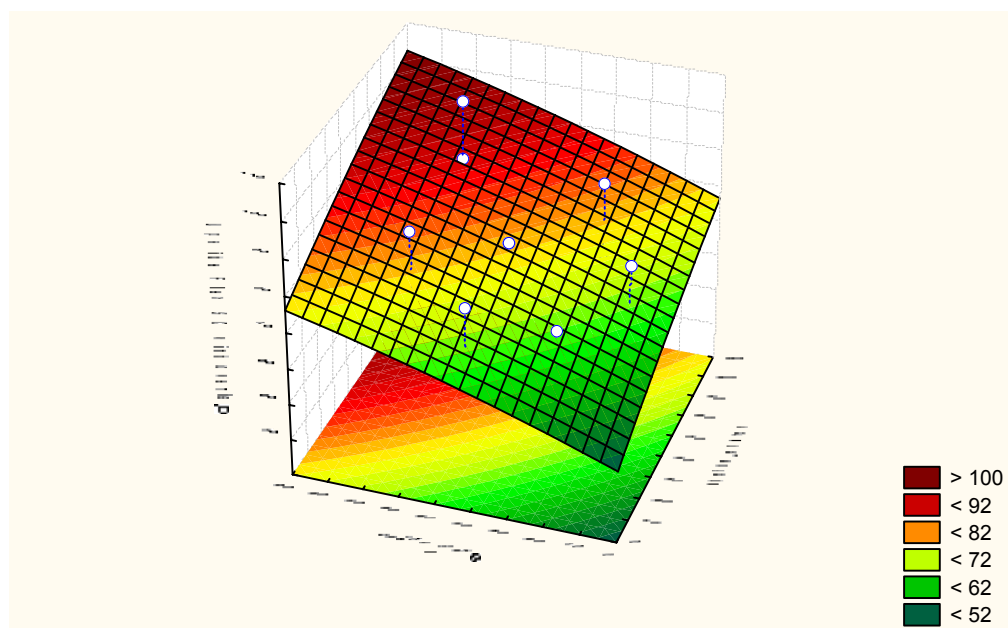


Figura 6.24 Superfície de Resposta para *Upside Flexibility SC (with overlap)* em função de *Upside Make* e *Upside Deliver*

Fonte: Dados da Pesquisa.

A Tabela 6.17 evidencia os resultados da análise de variância para a métrica *Upside Flexibility Supply Chain (days)*.

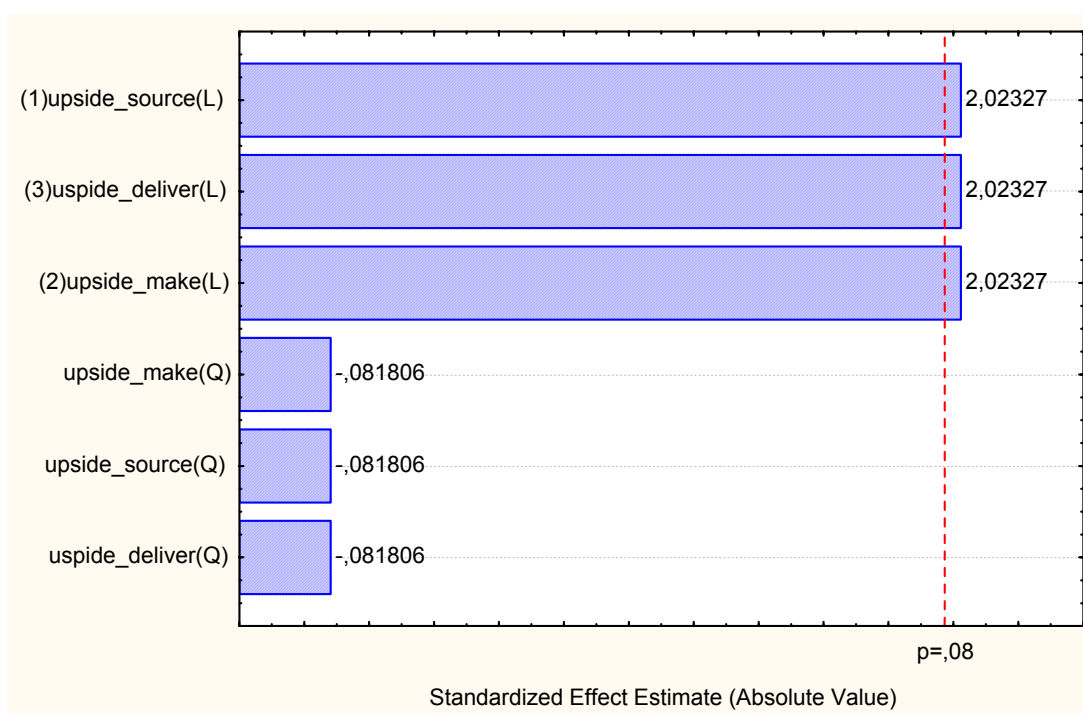
Tabela 6.17 ANOVA para *Upside Flexibility SC* ($R^2 = 0,58324$)

Fator	SS	df	MS	F	p
(1) Upside Source (L)	460,882	1	460,8816	4,093623	0,073732
Upside Source (Q)	0,753	1	0,7534	0,006692	0,936591
(2) Upside Make (L)	460,882	1	460,8816	4,093623	0,073732
Upside Make (Q)	0,753	1	0,7534	0,006692	0,936591
(3) Upside Deliver (L)	460,882	1	460,8816	4,093623	0,073732
Upside Deliver(Q)	0,753	1	0,7534	0,006692	0,936591
Error	1013,267	9	112,5853		
Total SS	2397,139	15			

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Tabela 6.17, observa-se que todas as variáveis independentes se mostraram significativas ($p < 0,08$) e ajustadas para um modelo linear. Nenhuma interação significativa foi observada entre as variáveis.

Para testar o efeito das variáveis independentes sobre a variável dependente foi gerado um gráfico de pareto, como pode ser observado na Figura 6.25.

**Figura 6.25** Análise de efeitos para *Upside Flexibility SC* (overlap)

Fonte: Dados da Pesquisa.

Ao analisar a Figura 6.25, percebe-se, mais uma vez, que as três variáveis de entrada apresentaram efeito equitativo sobre a medida *Upside Flexibility SC*.

A análise de resíduos pode ser considerada satisfatória para este modelo por apresentar uma distribuição uniforme dos mesmos em relação à linha central, como pode ser observado na Figura 6.26.

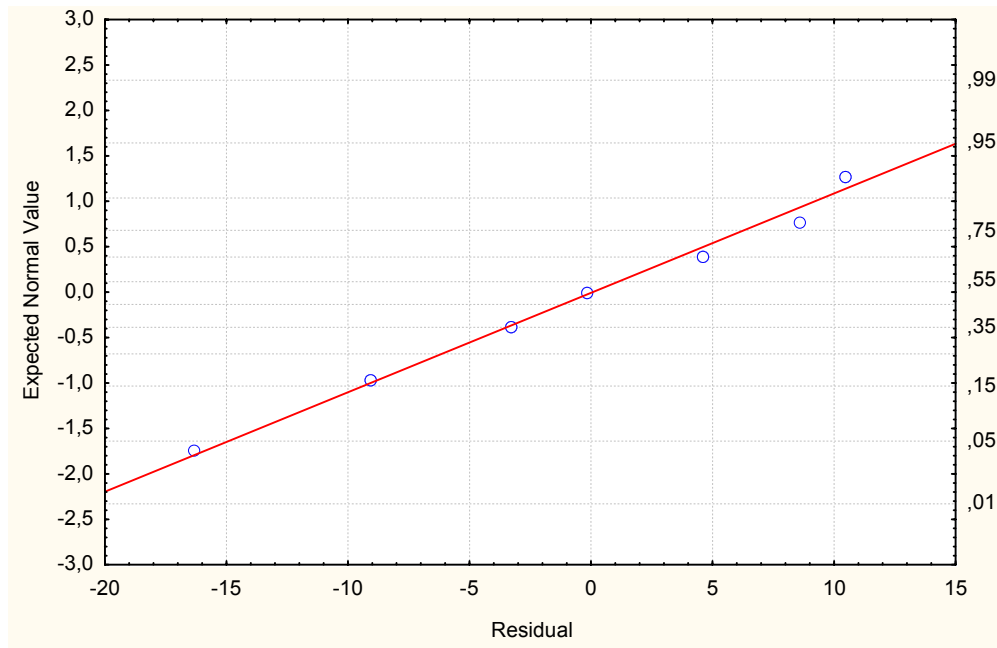


Figura 6.26 Análise de resíduos para *Upside Flexibility SC (overlap)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Para a análise do ponto ótimo da medida *Upside Flexibility SC (overlap)*, foi gerada uma curva de nível, conforme pode ser observado na Figura 6.27.

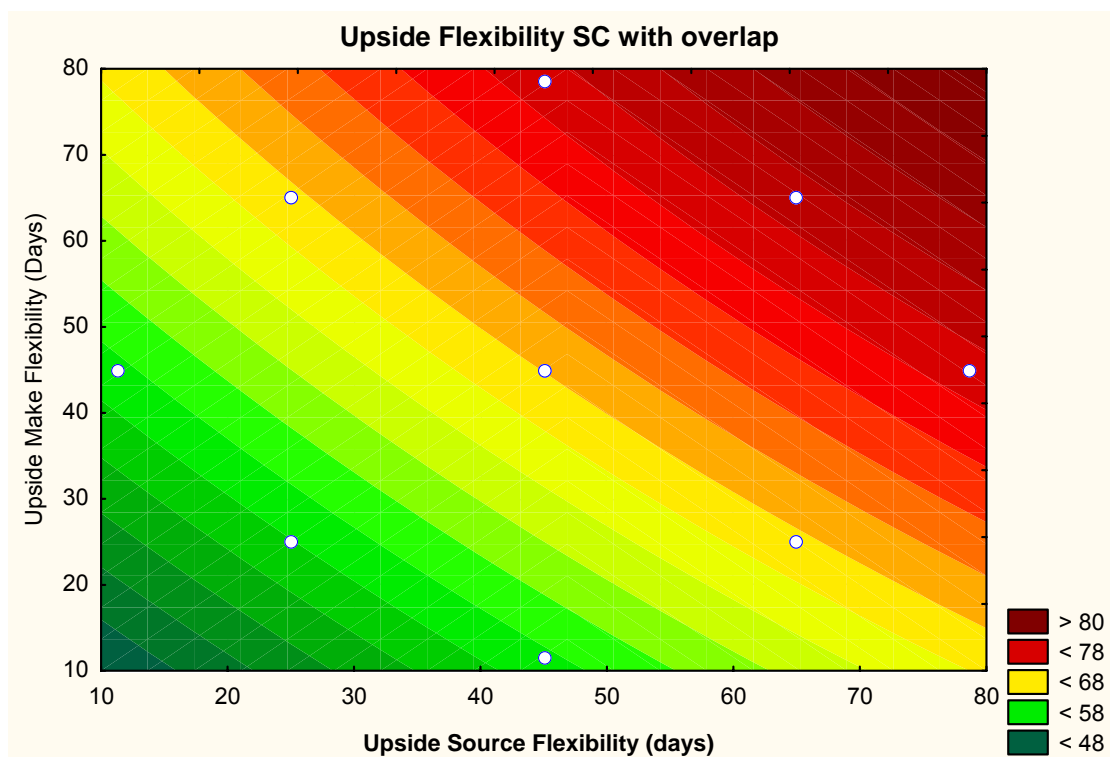


Figura 6.27 *Upside Flex SC* em função de *Upside Make* e *Upside Delivery (overlap)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 6.27, verifica-se que a região ótima (< 48 dias) se inicia com valores abaixo de 20 dias, tanto para a medida *Upside Make* quanto para a medida *Upside Delivery*. Neste caso, deve-se salientar que o resultado da medida *Upside Flexibility SC* depende do desempenho conjunto das três variáveis independentes, o que não pode ser realizado através de uma análise gráfica bidimensional como as realizadas até o presente momento.

6.3.6 Análise do Modelo *Total Cost Supply Chain Management*

Conforme abordado no Capítulo 5, a métrica de nível 1, *Total Cost Supply Chain Management* (variável resposta), é influenciada pelas variáveis independentes *Order Management Cost*, *Material Acquisition Cost*, *Finance and Planning Cost*, *Inventory Carrying Cost*, *IT Cost for Supply Chain*, respectivamente.

A avaliação do efeito destas métricas foi realizada segundo um planejamento composto central (2^5), constituído por 16 ensaios lineares nos níveis -1 e $+1$, 10 ensaios axiais ($\alpha = 2$) e 1 ensaio no ponto central, como pode ser observado na Tabela 6.18.

Tabela 6.18 Planejamento Experimental Composto Central para *Total Cost SCM*

Ensaio	Não Codificado					Codificado					Resposta (y)
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	
1	1,10	3,45	2,20	6,80	15,30	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	1,00	29,51
2	1,10	3,45	2,20	9,80	10,90	-1,00	-1,00	-1,00	1,00	-1,00	28,26
3	1,10	3,45	3,20	6,80	10,90	-1,00	-1,00	1,00	-1,00	-1,00	27,18
4	1,10	3,45	3,20	9,80	15,30	-1,00	-1,00	1,00	1,00	1,00	31,91
5	1,10	4,85	2,20	6,80	10,90	-1,00	1,00	-1,00	-1,00	-1,00	27,19
6	1,10	4,85	2,20	9,80	15,30	-1,00	1,00	-1,00	1,00	1,00	31,91
7	1,10	4,85	3,20	6,80	15,30	-1,00	1,00	1,00	-1,00	1,00	30,98
8	1,10	4,85	3,20	9,80	10,90	-1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	29,60
9	1,50	3,45	2,20	6,80	10,90	1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	27,19
10	1,50	3,45	2,20	9,80	15,30	1,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	31,91
11	1,50	3,45	3,20	6,80	10,90	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	27,19
12	1,50	3,45	3,20	9,80	10,90	1,00	-1,00	1,00	1,00	-1,00	29,60
13	1,50	4,85	2,20	6,80	15,30	1,00	1,00	-1,00	-1,00	1,00	30,74
14	1,50	4,85	2,20	9,80	10,90	1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	29,60
15	1,50	4,85	3,20	6,80	10,90	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	28,13
16	1,50	4,85	3,20	9,80	15,30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	31,91
17	0,90	4,15	2,70	8,30	13,10	-2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,55
18	1,70	4,15	2,70	8,30	13,10	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,55
19	1,30	2,75	2,70	8,30	13,10	0,00	-2,00	0,00	0,00	0,00	29,55
20	1,30	5,55	2,70	8,30	13,10	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	29,55
21	1,30	4,15	1,70	8,30	13,10	0,00	0,00	-2,00	0,00	0,00	29,55
22	1,30	4,15	3,70	8,30	13,10	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	29,55
23	1,30	4,15	2,70	5,30	13,10	0,00	0,00	0,00	-2,00	0,00	29,55
24	1,30	4,15	2,70	11,30	13,10	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	31,35
25	1,30	4,15	2,70	8,30	8,70	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,00	27,89
26	1,30	4,15	2,70	8,30	17,50	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	31,21
27 (C)	1,30	4,15	2,70	8,30	13,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,55

Em que: (x₁): *Finance and Planning Cost*;
(x₂): *Inventory Carryng Cost*;
(x₃): *IT Cost for Supply Chain*;
(x₄): *Material Acquisition Cost*;
(x₅): *Order Management Cost*;
(y): *Total Cost Supply Chain Management*.

Uma das superfícies de resposta geradas para este modelo pode ser visualizada na Figura 6.28, o qual retrata o comportamento da medida *Total Cost Supply Chain Management* em função das duas métricas com maiores efeitos sobre esta, ou seja, *Order Management Cost* e *Material Acquisition Cost*, conforme poderá ser constatado nas próximas análises.

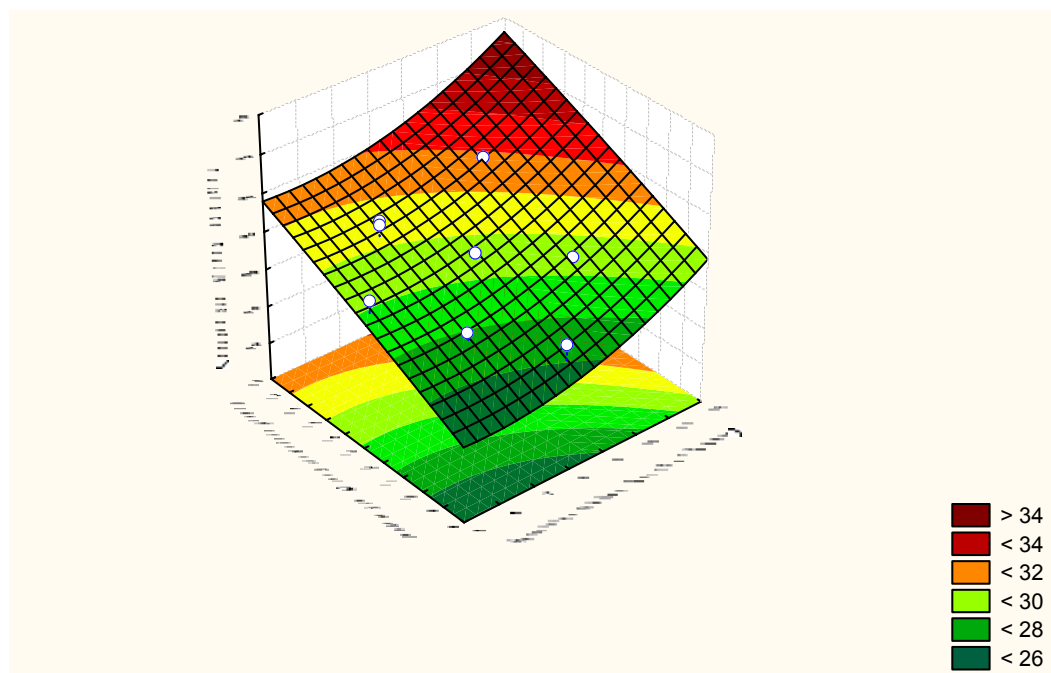


Figura 6.28 Superfície de Resposta para *Total Cost Supply Chain Management* (% of revenue) em função de *Order Management Cost* (% of revenue) e *Material Acquisition Cost* (% of revenue)

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 6.19 ilustra os resultados da análise de variância para a métrica *Total Cost Supply Chain Management* (% of revenue)

Tabela 6.19 ANOVA para *Total Cost for SCM* ($R^2 = 0,92029$; Adj: 0,87047)

Fator	SS	df	MS	F	p
<i>Finance and Planning Cost (L)</i>	0,19859	1	0,19859	0,6602	0,428424
<i>Finance and Planning Cost (Q)</i>	0,00884	1	0,00884	0,0294	0,866034
<i>Inventory Carrying Cost (L)</i>	0,97269	1	0,97269	3,2334	0,091043
<i>Inventory Carrying Cost (Q)</i>	0,00884	1	0,00884	0,0294	0,866034
<i>IT Cost For Supply Chain (L)</i>	0,29074	1	0,29074	0,9665	0,340195
<i>IT Cost For Supply Chain (Q)</i>	0,00884	1	0,00884	0,0294	0,866034
<i>Material Acquisition Cost (L)</i>	13,00287	1	13,00287	43,2246	0,000006
<i>Material Acquisition Cost (Q)</i>	0,64873	1	0,64873	2,1565	0,161352
<i>Order Management Cost (L)</i>	35,03587	1	35,03587	116,4674	0,000000
<i>Order Management Cost (Q)</i>	0,00884	1	0,00884	0,0294	0,866034
Erro	4,81314	16	0,30082		
Total SS	60,38456	26			

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Tabela 6.19, observa-se que apenas as variáveis independentes *Order Management Cost* (% of revenue) e *Material Acquisition Cost* (% of revenue) se mostraram significativas ($p < 0,05$) e ajustadas para um modelo linear. Nenhuma interação significativa foi observada entre as variáveis.

Para testar o efeito das variáveis independentes sobre a variável dependente, foi gerado um gráfico de pareto, como pode ser observado na Figura 6.29.

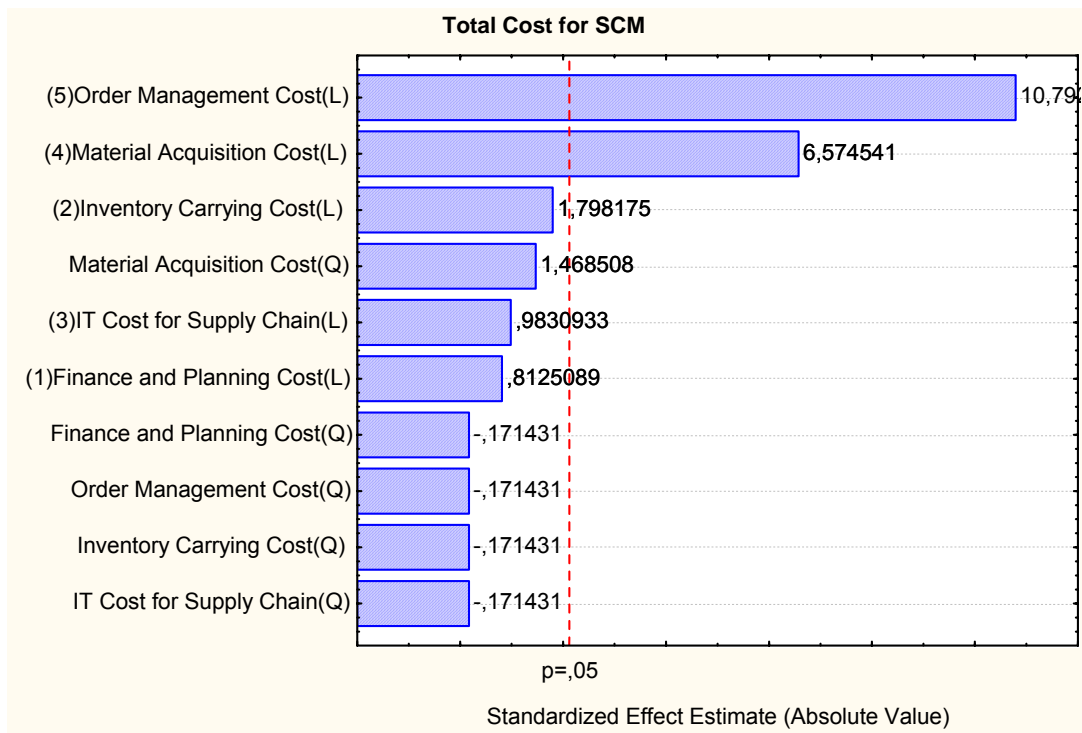


Figura 6.29 Análise de efeitos para *Total Cost Supply Chain Management (% of revenue)*
Fonte: Dados da Pesquisa.

Ao analisar a Figura 6.29, percebe-se que apenas as medidas *Order Management Cost (% of revenue)* e *Material Acquisition Cost (% of revenue)* apresentaram efeito significativo sobre a medida *Total Cost Supply Chain Management (% of revenue)*, com destaque para a primeira medida. Provavelmente, esse comportamento seja em função dos componentes das métricas de nível 3 para estas medidas, no caso, ambas apresentam a variante Custo de Transporte, a primeira com o *custo de transporte outbound* e a segunda com o *custo de transporte inbound*. Nesse sentido, é sabido que os custos de transporte são altamente representativos em relação ao custo total logístico. No Brasil, chegam a representar mais de 60% em relação aos custos logísticos (% PIB) do País, atualmente estimados em 7,5% do PIB (LIMA, 2006).

A análise de resíduos pode ser considerada satisfatória para este modelo por apresentar uma distribuição uniforme dos mesmos em relação à linha central, como pode ser observado na Figura 6.30.

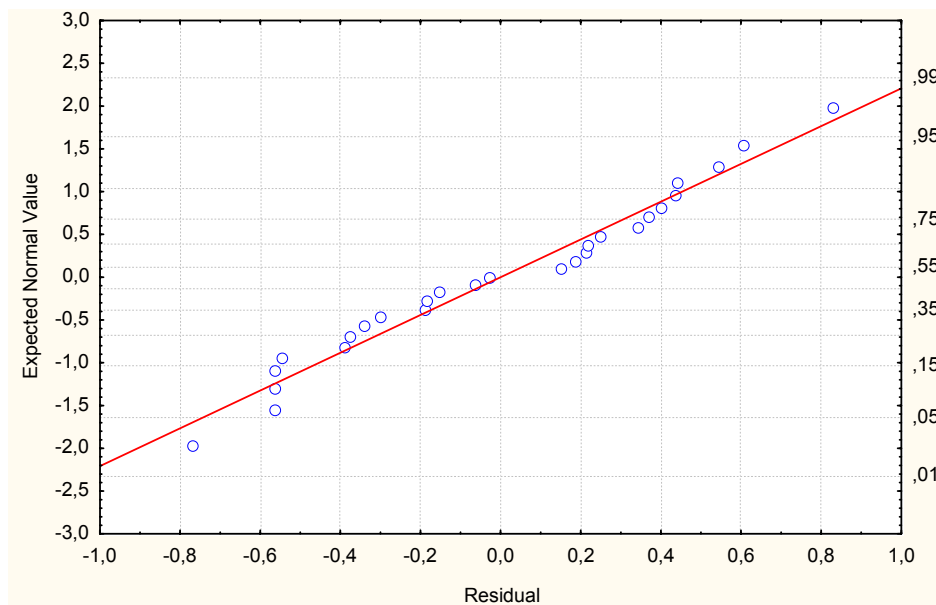


Figura 6.30 Análise de resíduos para *Total Cost Supply Chain Management*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Para a análise do ponto ótimo da medida *Total Cost Supply Chain Management*, foi gerada uma curva de nível, conforme pode ser observado na Figura 6.31.

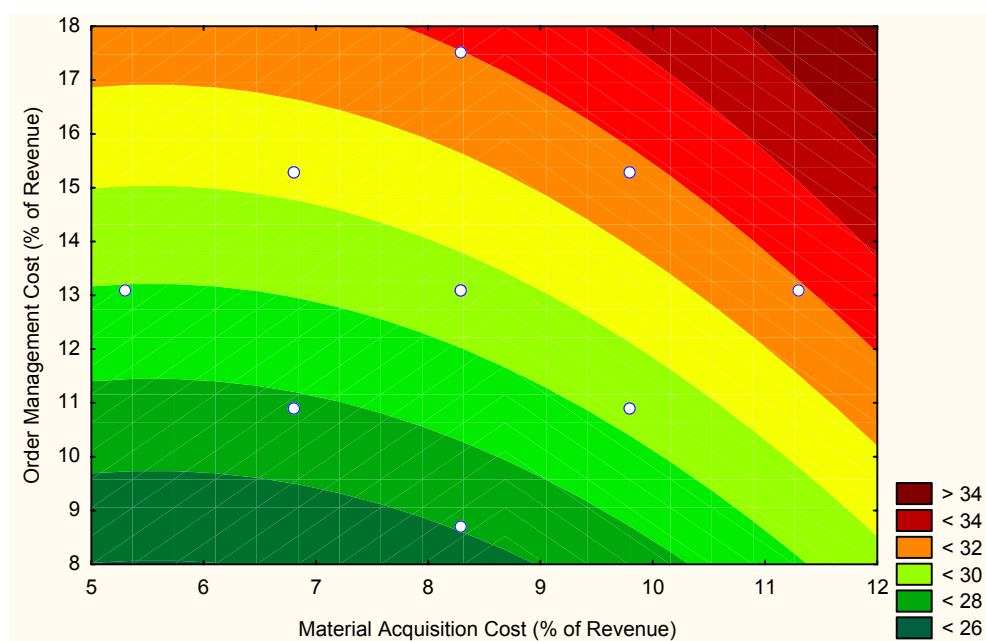


Figura 6.31 *Total Cost Supply Chain Management* em função de *Order Management Cost* e *Material Acquisition Cost*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 6.31, verifica-se que a região ótima ($< 26\%$ of revenue) para a medida *Total Cost Supply Chain Management* se inicia com valores abaixo de 9% para *Material Acquisition Cost* e abaixo de 10% para *Order Management Cost*. Observa-se que, como a superfície de resposta ilustrada na Figura 6.28 não apresentou um plano “reto”, mas

sim curvo, do comportamento das duas variáveis com maior efeito, a resposta para a métrica *Total Cost Supply Chain Management* não segue um comportamento linear. Tal comportamento se deve, provavelmente, ao maior peso da medida *Order Management Cost*, sobre a variável resposta. Mais uma vez, deve-se salientar que o resultado da variável resposta depende do desempenho conjunto das cinco variáveis independentes, o que não pode ser realizado através de uma análise gráfica bidimensional como as realizadas até o presente momento.

As análises a seguir foram realizadas para testar o efeito das métricas de nível 2 sobre os atributos de desempenho em cadeias de suprimentos propostos pelo SCOR, ou seja, desempenho em ativos, desempenho em custos, desempenho em flexibilidade, desempenho em confiabilidade e desempenho em responsividade.

6.3.7 Análise do Modelo *Asset Performance*

Neste modelo, foi testado o efeito das medidas de nível 1, a saber, *Net Profit*, *Asset Turns*, *Inventory days of supply*, *Days payable outstanding* e *Days Sales outstanding*, sobre o atributo de desempenho em Ativos.

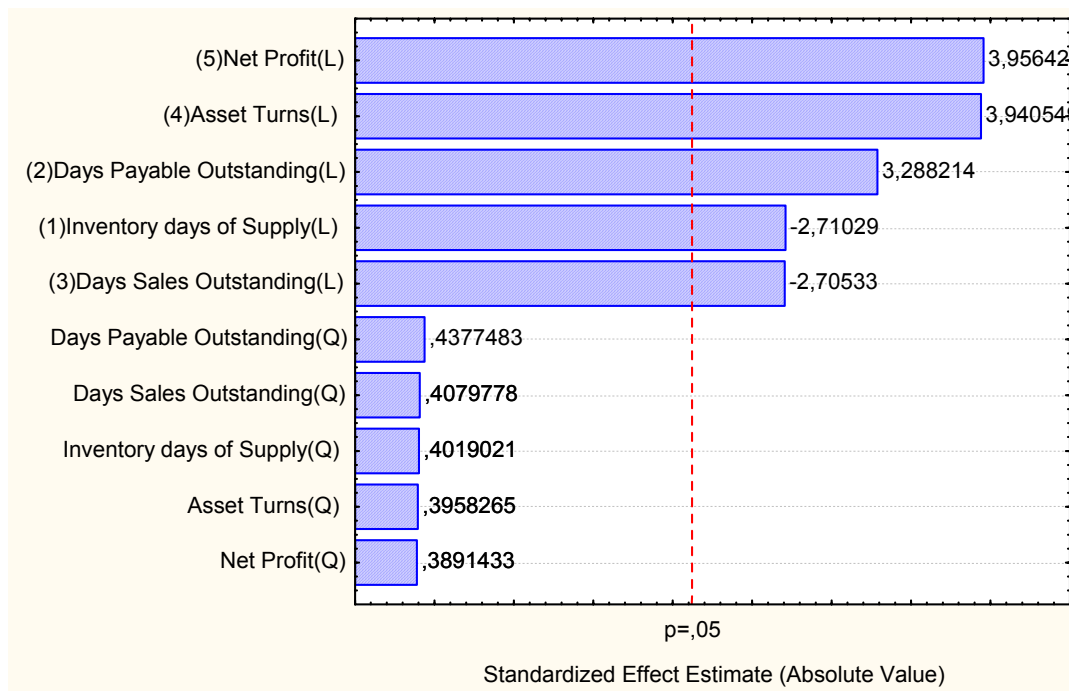
A análise de variância, expressa na Tabela 6.20, revelou que todas as variáveis apresentaram significância ($p < 0,05$), com interação entre os fatores *Inventory days of Supply* e *Days Sales Outstanding*, para um modelo linear.

Tabela 6.20 ANOVA para Desempenho em Ativos ($R^2= 0,90939$; Adj: 0,60736)

Efeitos	SS	MS	F	p
(1)Inventory days of Supply(L)	497,497	497,497	6,66913	0,041631
Inventory days of Supply(Q)	10,940	10,940	0,14665	0,714958
(2)Days Payable Outstanding(L)	732,284	732,284	9,81652	0,020244
Days Payable Outstanding(Q)	12,978	12,978	0,17397	0,691115
(3)Days Sales Outstanding(L)	495,678	495,678	6,64474	0,041897
Days Sales Outstanding(Q)	11,273	11,273	0,15112	0,710891
(4)Asset Turns(L)	1051,653	1051,653	14,09779	0,009457
Asset Turns(Q)	10,611	10,611	0,14225	0,719036
(5)Net Profit(L)	1060,143	1060,143	14,21160	0,009291
Net Profit(Q)	10,256	10,256	0,13749	0,723533
1L by 2L	9,533	9,533	0,12779	0,732974
1L by 3L	470,782	470,782	6,31099	0,045769
1L by 4L	9,564	9,564	0,12820	0,732562
1L by 5L	9,595	9,595	0,12862	0,732151
2L by 3L	9,533	9,533	0,12779	0,732974
2L by 4L	9,657	9,657	0,12945	0,731328
2L by 5L	10,192	10,192	0,13663	0,724351
3L by 4L	9,564	9,564	0,12820	0,732562
3L by 5L	9,595	9,595	0,12862	0,732151
4L by 5L	88,031	88,031	1,18009	0,319042
Error	447,582	74,597		
Total SS	4939,726			

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 6.32 ilustra a análise dos efeitos através de um gráfico de pareto.

**Figura 6.32** Análise de efeitos para *Desempenho em Ativos*

Fonte: Dados da Pesquisa.

A análise de pareto das métricas de nível 2 sobre o desempenho em ativos revelou que todas as medidas apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$) sobre a variável resposta, com destaque para os indicadores relativos à métrica de nível 1, *Retorno sobre Ativos (ROA)*.

Outra variável de efeito significativo foi a medida *Days payable outstanding*, relativa à medida de nível 1, *cash to cash*.

Algumas superfícies foram geradas para avaliar graficamente o comportamento da variável resposta em função das métricas de maior efeito, como ilustrado na Figura 6.32.

A Figura 6.33 ilustra o desempenho em ativos, em função das métricas *Net profit* e *Days payable outstanding*, respectivamente.

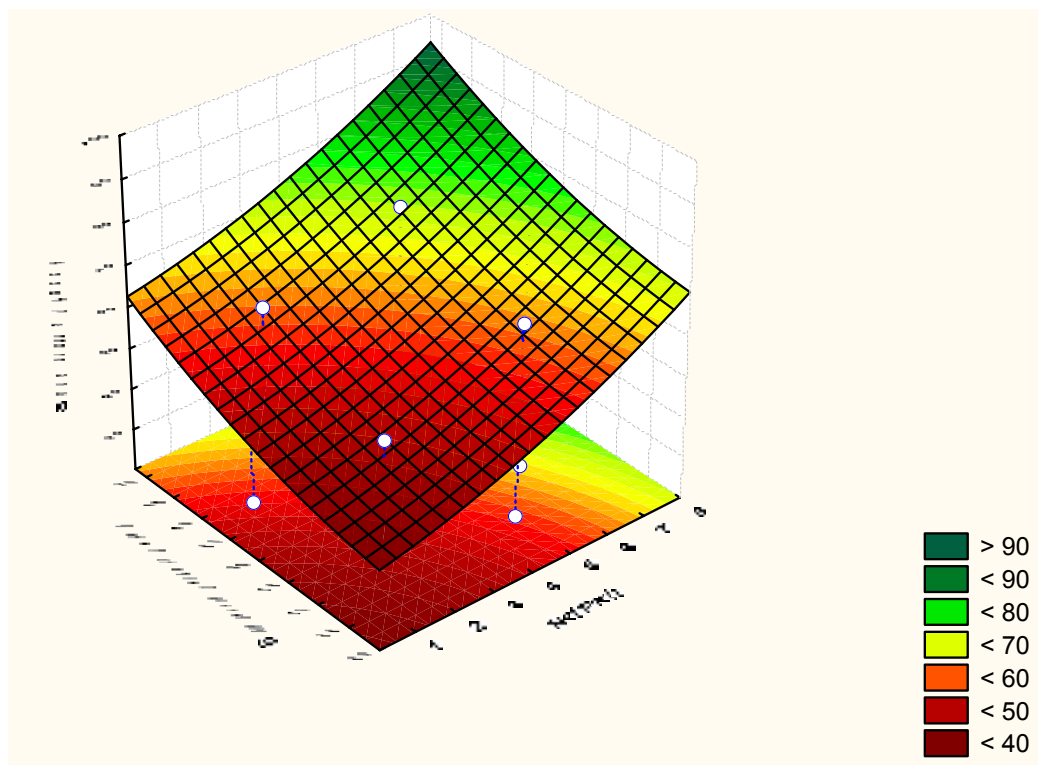


Figura 6.33 Superfície de Resposta para *Desempenho em Ativos (%)*, em função de *Net Profit (% of revenue)* e *Days payable outstanding (days)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

A fim de visualizar melhor o comportamento expresso na superfície de resposta acima, foi gerada uma curva de nível, para a mesma situação, conforme pode ser observado na Figura 6.34.

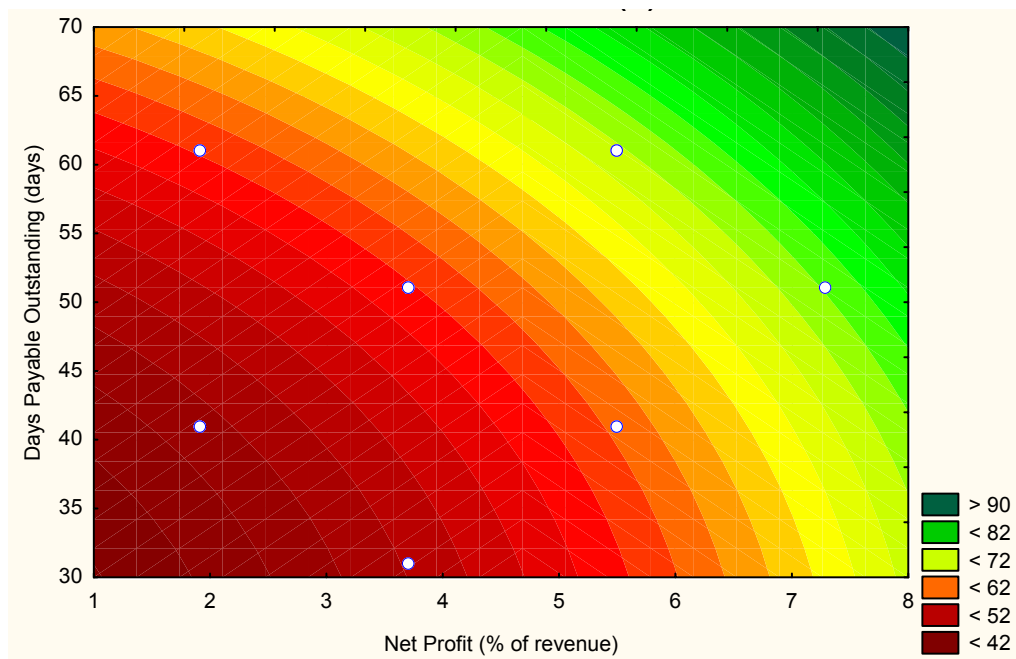


Figura 6.34 Curva de Nível para *Desempenho em Ativos (%)*, em função de *Net Profit (% of revenue)* e *Days payable outstanding (days)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 6.34, percebe-se que a região ótima (acima de 90%) do desempenho em ativos ocorre quando o valor de *days payable outstanding* se situa acima de 70 dias, e a medida *Net profit* situa-se próximo de 8% em função da receita. É interessante verificar o comportamento do desempenho em ativos, em função de uma medida com efeito negativo, como, por exemplo, as métricas *Inventory days of supply* e *days Sales outstanding*. Nesse caso, quanto menores os índices destes dois indicadores, maior o desempenho em ativos. As Figuras 6.35 e 6.36 ilustram tal comportamento, sendo a primeira uma superfície de resposta, e a segunda, a curva de nível dessa superfície gerada.

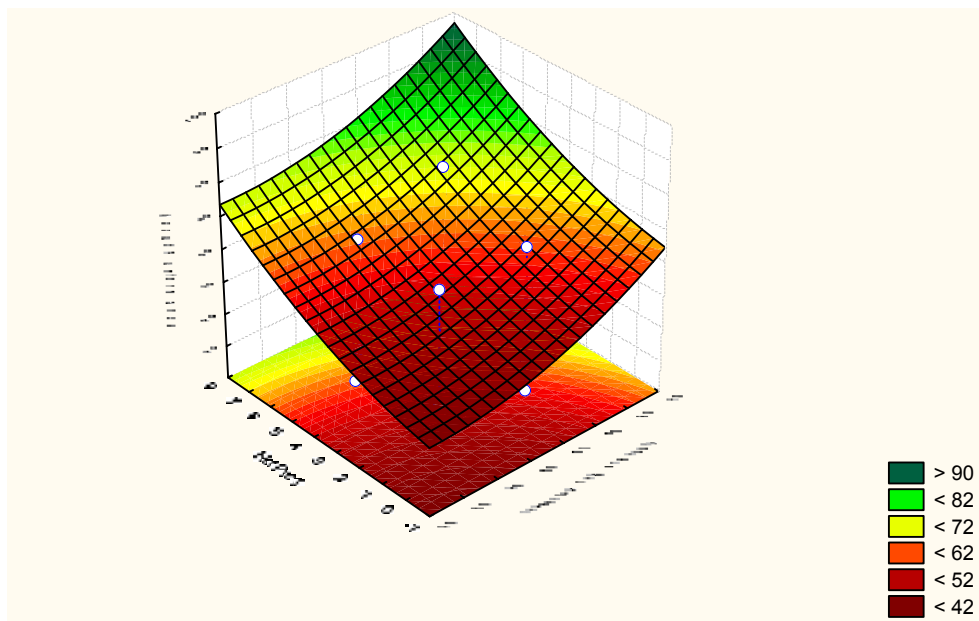


Figura 6.35 Superfície de Resposta para *Desempenho em Ativos (%)*, em função de *Net Profit (% of revenue)* e *Inventory days of supply (days)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

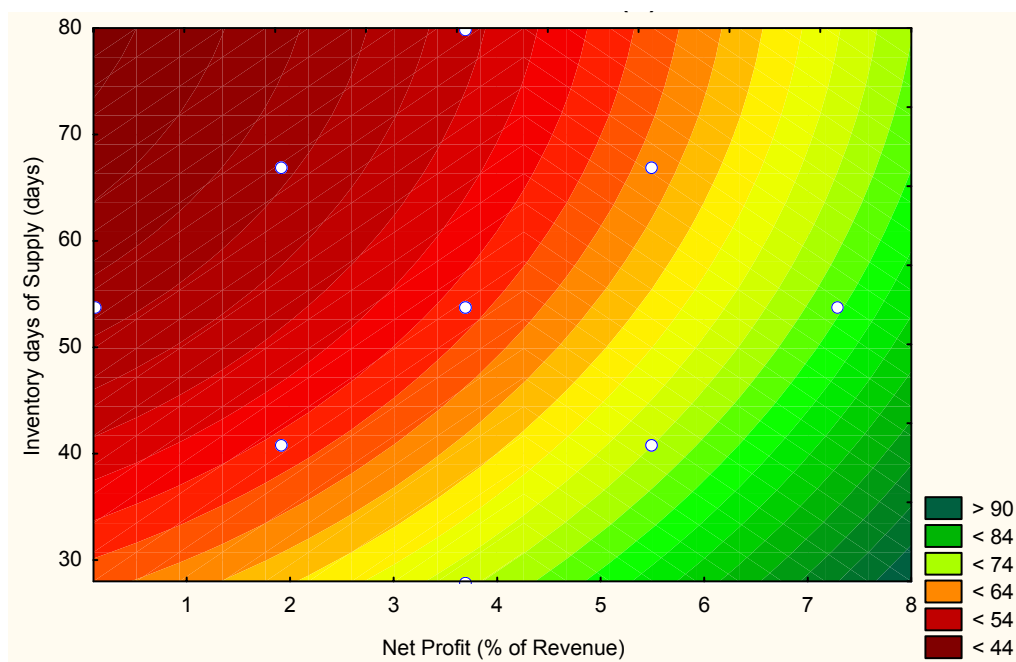


Figura 6.36 Curva de Nível para *Desempenho em Ativos (%)*, em função de *Net Profit (% of revenue)* e *Inventory days of supply (days)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 6.36, percebe-se que a região ótima (acima de 90%) do desempenho em ativos ocorre quando o valor de *Inventory days of supply* se situa abaixo de 30 dias, e a medida *Net profit* situa-se próximo de 8% em função da receita.

Finalmente, a análise dos resíduos pode ser considerada satisfatória para este modelo por apresentar uma distribuição uniforme dos mesmos em relação à linha central, como pode ser observado na Figura 6.37.

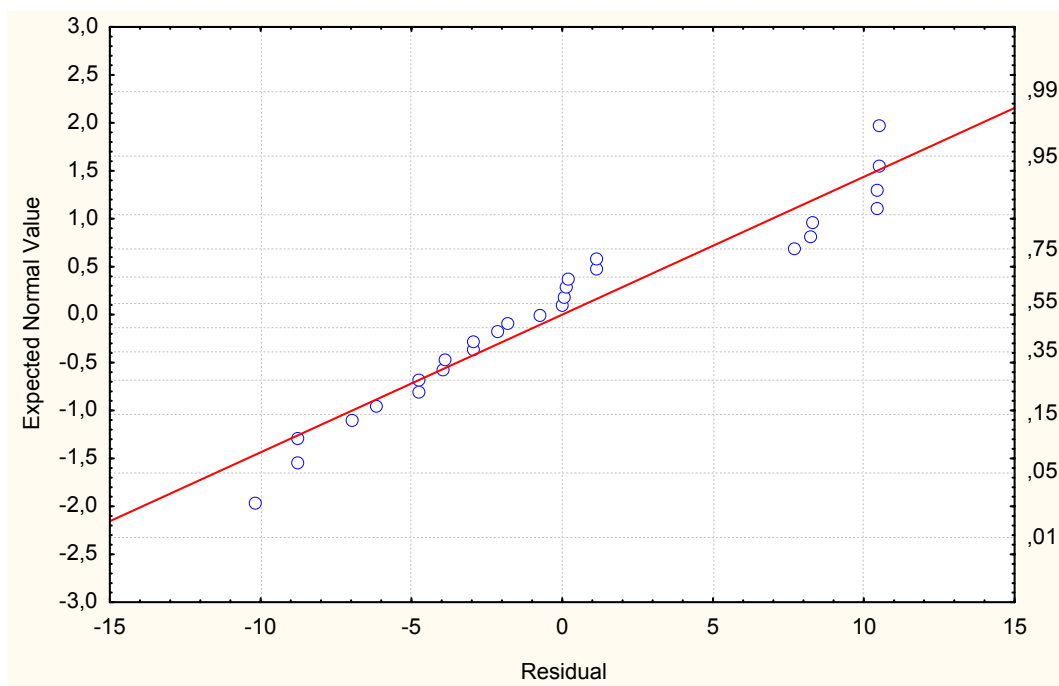


Figura 6.37 Análise de resíduos para *Desempenho em Ativos*

Fonte: Dados da Pesquisa.

6.3.8 Análise do Modelo *Cost SC Performance*

Neste modelo, foi testado o efeito das medidas de nível 1, a saber, *Order Management Cost*, *Material Acquisition Cost*, *Finance and Planning Cost*, *Inventory Carrying Cost*, *IT Cost for Supply Chain* e a variável de nível 1, COGS (Custo de Mercadoria vendida), sobre o atributo de desempenho em Custos na SC.

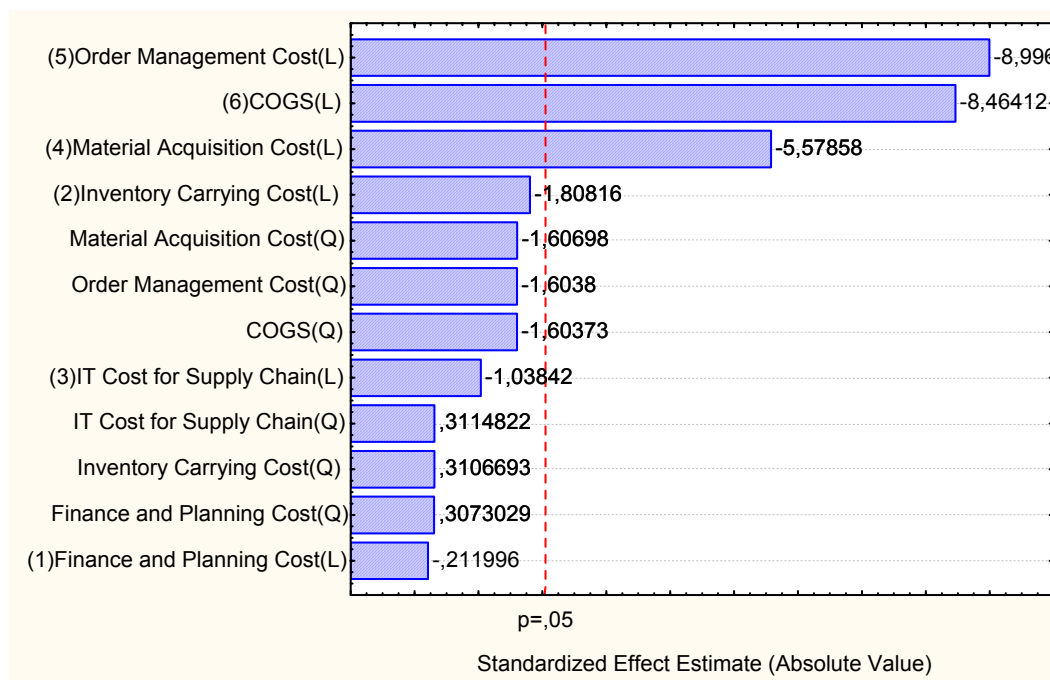
A análise de variância, expressa na Tabela 6.21, revelou que apenas as variáveis *Order Management Cost*, *Material Acquisition Cost* e *COGS* apresentaram significância ($p < 0,05$) para um modelo linear. Nenhuma interação foi observada entre os fatores.

Tabela 6.21 ANOVA para Desempenho em Custos na SC ($R^2= 0,85757$; Adj: 0,80578)

Fatores	SS	df	MS	F	p
(1)Finance and Planning Cost(L)	0,950	1	0,950	0,04494	0,833414
Finance and Planning Cost(Q)	1,996	1	1,996	0,09444	0,760544
(2)Inventory Carrying Cost(L)	69,112	1	69,112	3,26945	0,079703
Inventory Carrying Cost(Q)	2,040	1	2,040	0,09652	0,758006
(3)IT Cost for Supply Chain(L)	22,794	1	22,794	1,07831	0,306625
IT Cost for Supply Chain(Q)	2,051	1	2,051	0,09702	0,757393
(4)Material Acquisition Cost(L)	657,846	1	657,846	31,12056	0,000003
Material Acquisition Cost(Q)	54,588	1	54,588	2,58240	0,117585
(5)Order Management Cost(L)	1710,852	1	1710,852	80,93485	0,000000
Order Management Cost(Q)	54,372	1	54,372	2,57218	0,118288
(6)COGS (L)	1514,400	1	1514,400	71,64134	0,000000
COGS (Q)	54,367	1	54,367	2,57195	0,118303
Error	697,575	33	21,139		
Total SS	4897,829	45			

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 6.38 ilustra a análise dos efeitos através de um gráfico de pareto.

**Figura 6.38** Análise de efeitos para *Desempenho em Custos na SC*

Fonte: Dados da Pesquisa.

A análise de pareto revelou que apenas as métricas de nível 2, *Order Management Cost* e *Material Acquisition Cost* e a medida de nível 1, *COGS*, apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$) sobre o desempenho em Custos na SC. No entanto, todas as métricas apresentaram efeitos negativos, representando que são inversamente proporcionais ao desempenho em Custos, ou seja, quanto menores os índices de custos, maior o desempenho em Custos para a empresa-foco em questão. Essa foi uma convenção adotada nesta pesquisa.

Em relação ao peso dos efeitos, verificou-se que a métrica *Order Management Cost* continua sendo a medida de maior alavancagem sobre o desempenho em Custo da SC, pelas características citadas anteriormente, ou seja, devido à incorporação dos custos de transporte *outbounds*, altamente representativos nos custos da cadeia como um todo. No entanto, a análise realizada demonstrou que o Custo de mercadoria vendida (COGS) é a segunda medida de maior efeito sobre os custos totais da cadeia de suprimentos. Tal fato vem corroborar a questão do aumento contínuo do custo da matéria-prima, sobre o desempenho em custos da cadeia. Esse cenário traz à tona a importância cada vez maior da prática da logística reversa, ou dos processos de retorno ao longo da SC, no sentido de reaproveitamento dos resíduos gerados ao longo da cadeia de suprimentos (LEITE, 2009). Tal reutilização pode contribuir para a diminuição do efeito do custo de mercadoria vendida sobre o custo total da SC. No entanto, análises de *trade-offs* deverão ser realizadas para verificar se o custo de transporte, relativo aos retornos ao longo da SC, não se tornará proibitivo ou com efeito ainda maior que o COGS. O modelo desenvolvido nesta pesquisa pode auxiliar neste tipo de análise.

Uma superfície gerada para avaliar graficamente o comportamento da variável resposta, em função das métricas de maior efeito, pode ser observada na Figura 6.39, o qual ilustra o desempenho em custos na SC, em função das métricas *Order Management Cost* e *COGS*, respectivamente.

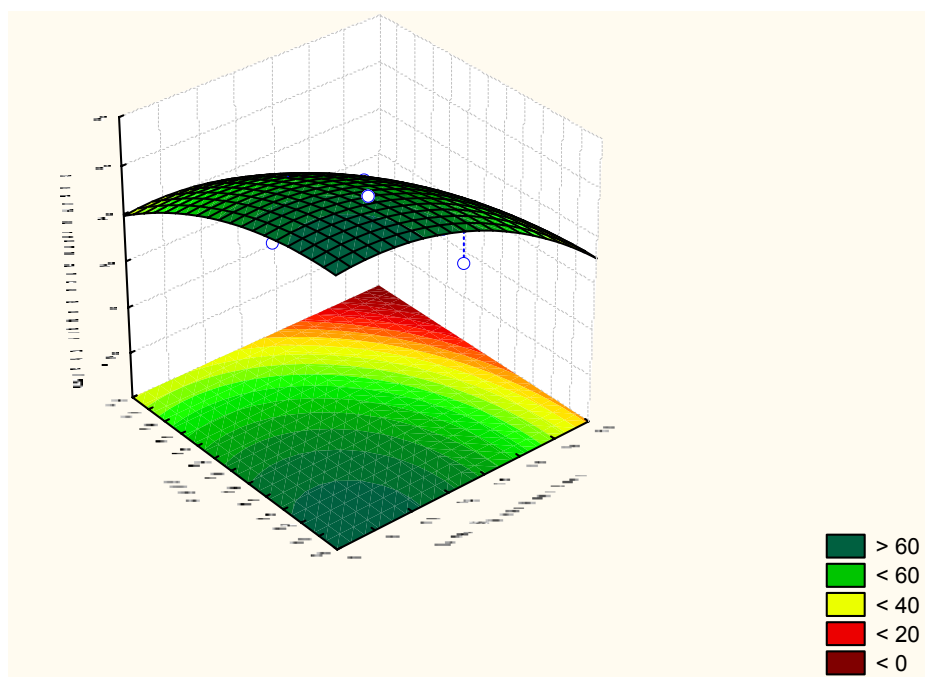


Figura 6.39 Superfície de Resposta para *Desempenho em Custos na SC* (%), em função de *Order Management Cost* e *COGS*, ambas como (% da receita)

Fonte: Dados da Pesquisa.

A curva de nível, para a mesma situação, pode ser observada na Figura 6.40.

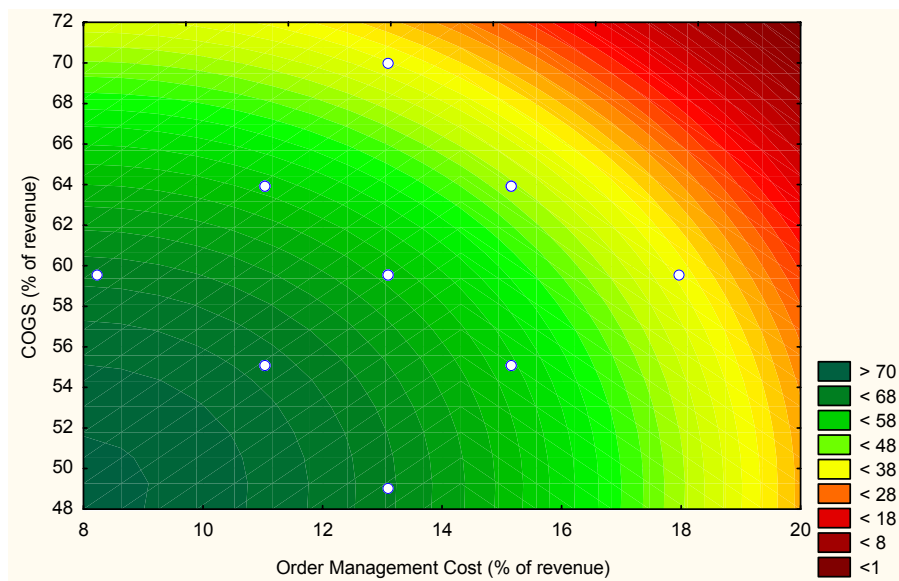


Figura 6.40 Curva de Nível para *Desempenho em Custos (%)*, em função de *Order Management Cost* e *COGS*, ambas como (% da receita)

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 6.40 percebe-se que a região ótima (acima de 70%) do desempenho em Custos na SC, ocorre quando o valor de *Order Management Cost* e *COGS* situam-se próximos de 8 e 48 como % em função da receita.

Finalmente a análise dos resíduos pode ser considerada satisfatória para este modelo por apresentar uma distribuição uniforme dos mesmos em relação à linha central, como pode ser observado na Figura 6.41.

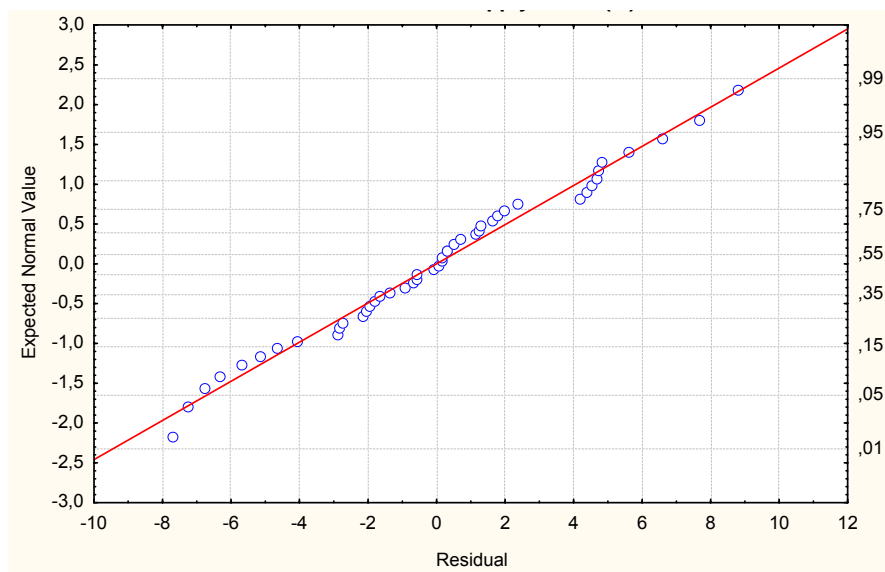


Figura 6.41 Análise de resíduos para *Desempenho em Custos na SC*

Fonte: Dados da Pesquisa.

6.3.9 Análise do Modelo *Flexibility SC Performance*

Neste modelo foi testado o efeito das medidas de nível 2, a saber, *Upside Source Flexibility*, *Upside Make Flexibility* e *Upside Deliver Flexibility* sobre o atributo de desempenho Flexibilidade na SC. Foi analisado somente o modelo sem *overlap* para o cálculo do desempenho em flexibilidade na SC.

A análise de variância, expressa na Tabela 6.22, revelou que todas as variáveis de entrada apresentaram significância ($p < 0,08$) para um modelo linear. Nenhuma interação foi observada entre os fatores.

Tabela 6.22 ANOVA para Desempenho em Flexibilidade na SC ($R^2 = 0,58331$)

Fatores	SS	df	MS	F	p
(1)upside flexibility source(L)	302,616	1	302,6160	4,199566	0,070696
upside flexibility source(Q)	0,000	1	0,0000	0,000000	0,999919
(2)upside flexibility make(L)	302,616	1	302,6160	4,199566	0,070696
upside flexibility make(Q)	0,000	1	0,0000	0,000000	0,999919
(3)uspide flexibility deliverry(L)	302,616	1	302,6160	4,199566	0,070696
uspide flexibility deliverry(Q)	0,000	1	0,0000	0,000000	0,999919
Error	648,530	9	72,0589		
Total SS	1556,378	15			

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 6.42 ilustra a análise dos efeitos através de um gráfico de pareto.

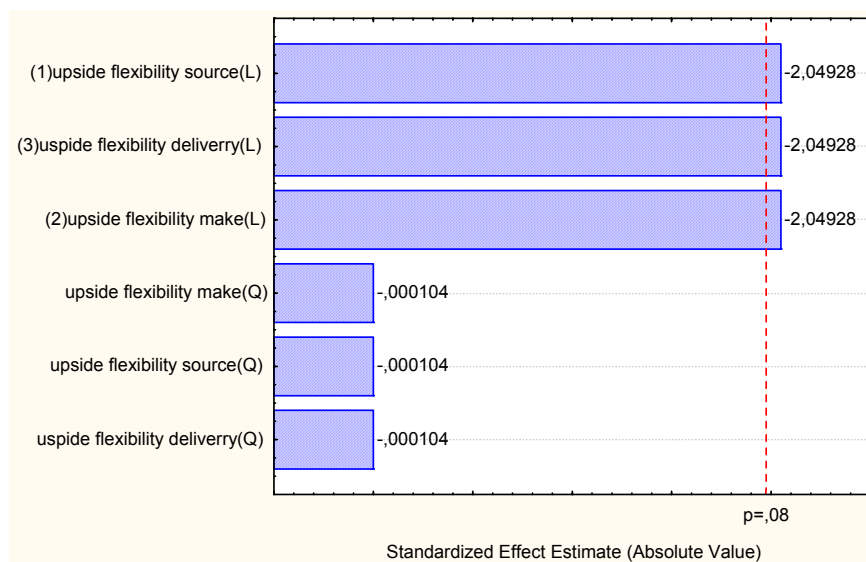


Figura 6.42 Análise de efeitos para *Desempenho em Flexibilidade na SC*

Fonte: Dados da Pesquisa.

A análise de pareto revelou que todas as métricas de nível 2 apresentaram efeito significativo e iguais ($p < 0,08$) sobre o desempenho em Custos na SC.

Uma curva de nível gerada para avaliar graficamente o comportamento da variável resposta, em função das métricas de maior efeito, pode ser observada na Figura 6.43, o qual ilustra o desempenho em Flexibilidade na SC, em função das métricas *Upside Make Flexibility* e *Upside Deliver Flexibility*.

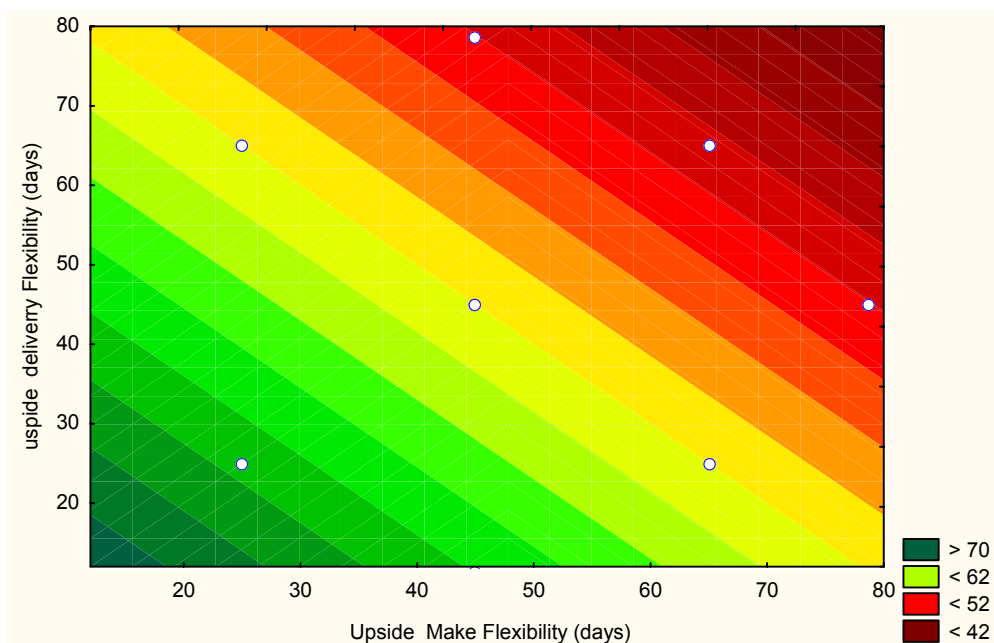


Figura 6.43 Curva de Nível para *Desempenho em Flexibilidade na SC (%)*, em função de *Upside Make Flexibility* e *Upside Deliver Flexibility*, ambas em dias

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a Figura 6.43, percebe-se que a região ótima (acima de 70%) do desempenho em Flexibilidade na SC ocorre quando os valores de *Upside Make Flexibility* e *Upside Deliver Flexibility* se situam abaixo de 20 dias, respectivamente.

Finalmente, a análise dos resíduos pode ser considerada satisfatória para este modelo por apresentar uma distribuição uniforme dos mesmos em relação à linha central, como pode ser observado na Figura 6.44.

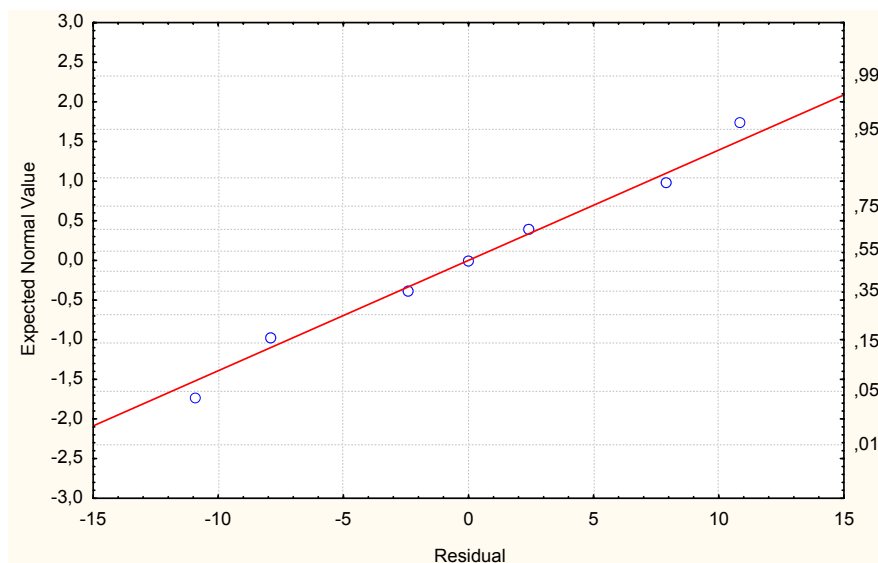


Figura 6.44 Análise de resíduos para *Desempenho em Flexibilidade na SC*
Fonte: Dados da Pesquisa.

6.3.10 Análise do Modelo *Reliability SC Performance*

Neste modelo, foi testado o efeito das medidas de nível 1, a saber, *Accurate Documentation*, *Delivery to Commit Date*, *Orders in Full* e *Perfect Condition*, sobre o atributo de desempenho em Confiabilidade na SC.

A análise de variância, expressa na Tabela 6.23, revelou que todas as variáveis de entrada, apresentaram significância ($p < 0,05$) para um modelo linear. Nenhuma interação foi observada entre os fatores.

Tabela 6.23 ANOVA para Desempenho em Custos na SC ($R^2 = 0,82593$)

Fatores	SS	df	MS	F	p
(1) <i>Accurate Documentation</i> (L)	724,900	1	724,9004	19,80770	0,000351
<i>Accurate Documentation</i> (Q)	25,546	1	25,5464	0,69805	0,415029
(2) <i>Delivery to Commit Date</i> (L)	806,664	1	806,6641	22,04187	0,000208
<i>Delivery to Commit Date</i> (Q)	31,742	1	31,7422	0,86735	0,364729
(3) <i>Orders in Full</i> (L)	812,938	1	812,9376	22,21329	0,000201
<i>Orders in Full</i> (Q)	32,930	1	32,9300	0,89980	0,356125
(4) <i>Perfect Condition</i> (L)	511,527	1	511,5267	13,97732	0,001635
<i>Perfect Condition</i> (Q)	3,268	1	3,2681	0,08930	0,768690
Error	622,147	17	36,5969		
Total SS	3574,220	25			

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 6.45 ilustra a análise dos efeitos através de um gráfico de pareto.

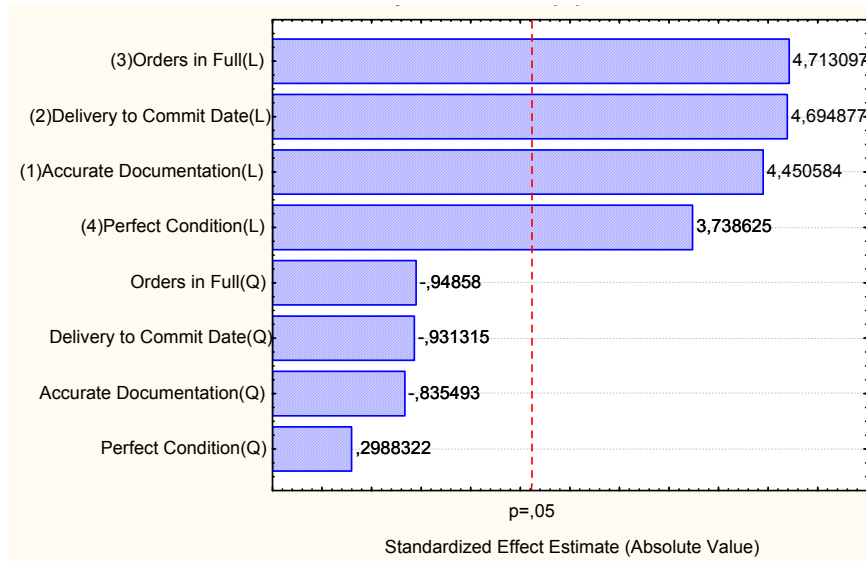


Figura 6.45 Análise de efeitos para *Desempenho em Confiabilidade na SC*
Fonte: Dados da Pesquisa.

A análise de pareto revelou que as métricas, *Orders in Full e Delivery to Commit Date*, apresentaram os efeitos mais significativos ($p < 0,05$) sobre o desempenho em Confiabilidade na SC. Tais medidas compõem justamente uma métrica muito utilizada no ambiente empresarial, o OTIF, conforme abordado no Capítulo 5.

Uma das superfícies geradas para avaliar graficamente o comportamento da variável resposta, em função das métricas de maior efeito, pode ser observada na Figura 6.46, o qual ilustra o desempenho em Confiabilidade na SC, em função das métricas *Orders in Full e Delivery to Commit Date*.

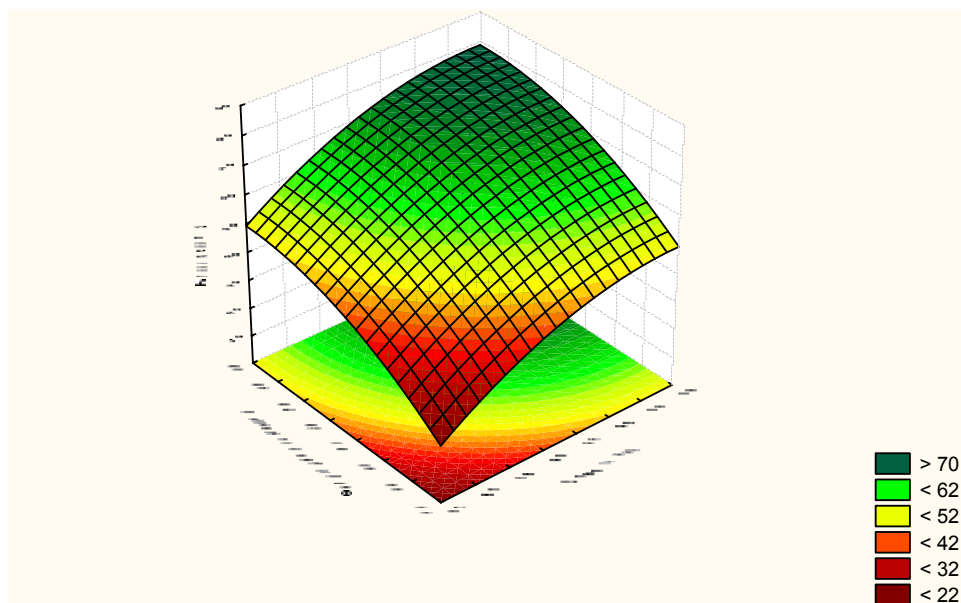


Figura 6.46 Superfície para *Desempenho em Confiabilidade na SC (%)*, em função de *Orders in Full (%) e Delivery to Commit Date (%)*
Fonte: Dados da Pesquisa.

A curva de nível, para a mesma situação, pode ser observada na Figura 6.47. Analisando a mesma, percebe-se que a região ótima (acima de 70%) do desempenho em Confiabilidade na SC ocorre quando os valores de *Orders in Full (%)* e *Delivery to Commit Date (%)* se situam acima de 96%, respectivamente.

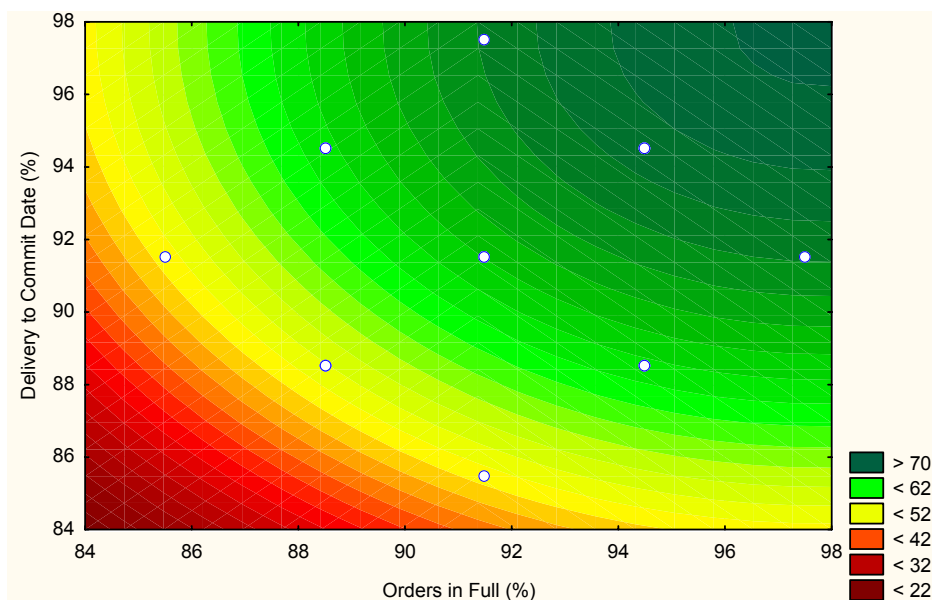


Figura 6.47 Curva de Nível para *Desempenho em Confiabilidade na SC (%)*, em função de *Orders in Full (%)* e *Delivery to Commit Date (%)*

Fonte: Dados da Pesquisa.

A análise dos resíduos pode ser considerada satisfatória para este modelo por apresentar uma distribuição uniforme dos mesmos em relação à linha central, como pode ser observado na Figura 6.48.

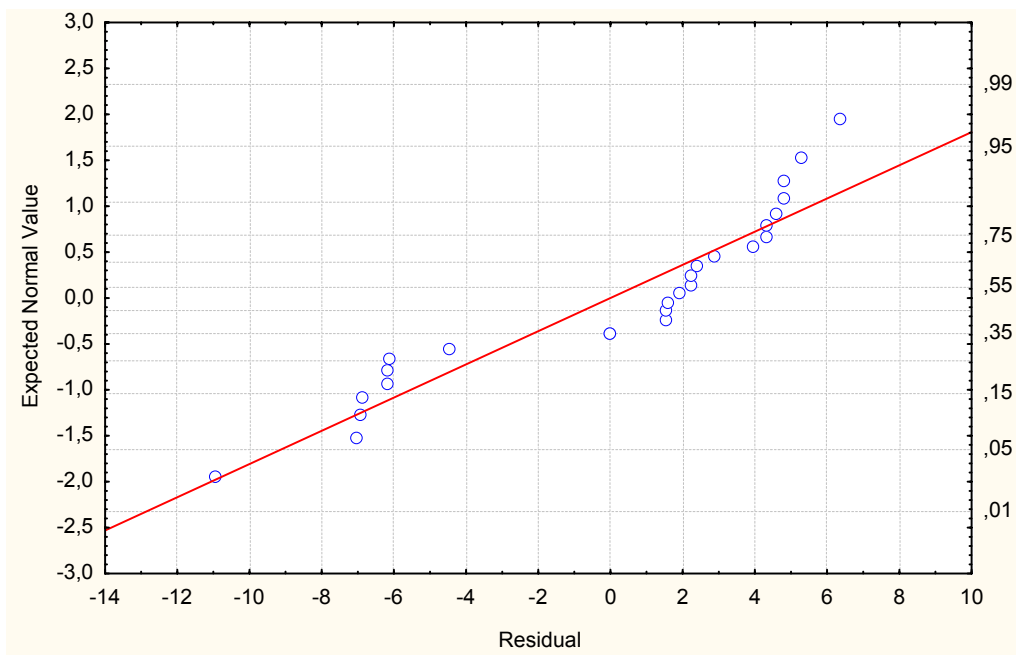


Figura 6.48 Análise de resíduos para *Desempenho em Confiabilidade na SC*

Fonte: Dados da Pesquisa.

6.3.11 Análise do Modelo *Responsiveness SC Performance*

Neste modelo, foi testado o efeito das medidas de nível 2, a saber, *Delivery Cycle Time*, *Make Cycle Time* e *Source Cycle Time*, sobre o atributo de desempenho em Responsividade na SC.

A análise de variância, expressa na Tabela 6.24, revelou que apenas as variáveis *Delivery Cycle Time* e *Make Cycle Time* apresentaram significância ($p < 0,05$) para um modelo linear. Nenhuma interação foi observada entre os fatores.

Tabela 6.24 ANOVA para Desempenho em Custos na SC ($R^2 = 0,9883$)

Fatores	SS	df	MS	F	p
(1) <i>Delivery Cycle Time</i> (L)	1564,962	1	1564,962	379,4480	0,000000
<i>Delivery Cycle Time</i> (Q)	0,000	1	0,000	0,0000	0,999034
(2) <i>Make Cycle Time</i> (L)	1564,962	1	1564,962	379,4480	0,000000
<i>Make Cycle Time</i> (Q)	0,000	1	0,000	0,0000	0,999034
(3) <i>Source Cycle Time</i> (L)	4,198	1	4,198	1,0179	0,339375
<i>Source Cycle Time</i> (Q)	0,000	1	0,000	0,0000	0,996680
Error	37,119	9	4,124		
Total SS	3171,242	15			

Fonte: Dados da Pesquisa.

A Figura 6.49 ilustra a análise dos efeitos através de um gráfico de pareto.

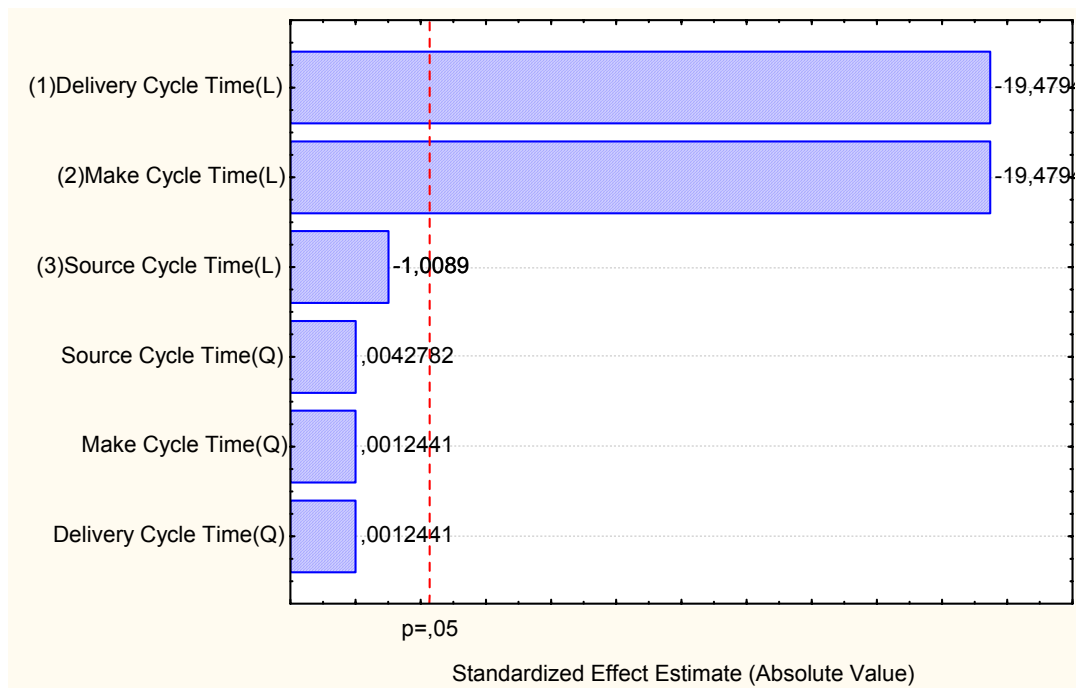


Figura 6.49 Análise de efeitos para *Desempenho em Responsividade na SC*

Fonte: Dados da Pesquisa.

A análise de pareto revelou que as métricas, *Delivery Cycle Time* e *Make Cycle Time*, apresentaram os efeitos significativos ($p < 0,05$) e iguais sobre o desempenho em Responsividade na SC.

Uma curva de nível, gerada para avaliar graficamente o comportamento da variável resposta em função das métricas de maior efeito, pode ser observada na Figura 6.50, o qual ilustra o desempenho em Responsividade na SC, em função das métricas *Delivery Cycle Time* e *Make Cycle Time*.

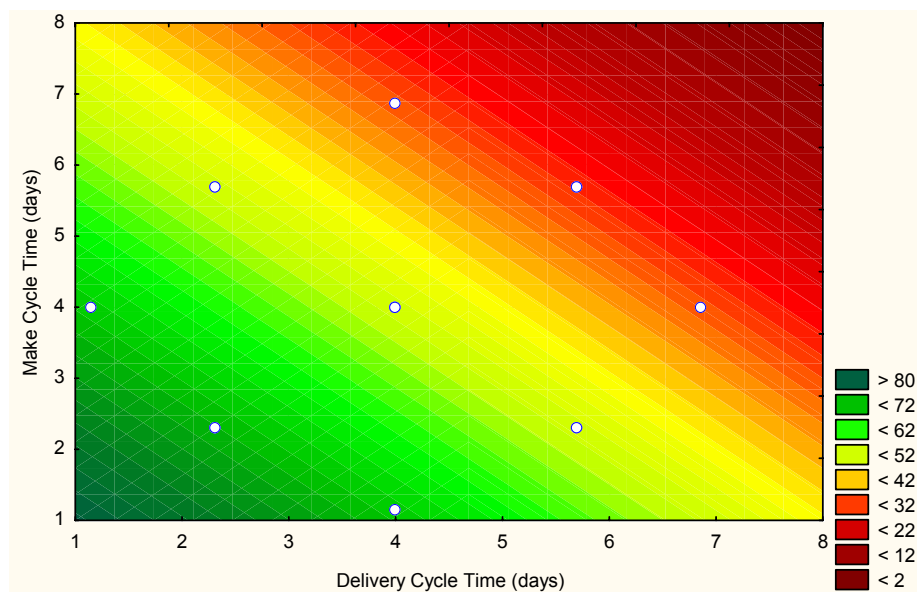


Figura 6.50 Curva de nível para *Desempenho em Responsividade na SC (%)*, em função das métricas *Delivery Cycle Time* e *Make Cycle Time*

Fonte: Dados da Pesquisa.

Analisando a mesma, percebe-se que a região ótima (acima de 80%) do desempenho, em Responsividade na SC, ocorre quando os valores de *Delivery Cycle Time* e *Make Cycle Time* se situam abaixo de 2 dias, respectivamente.

A análise dos resíduos pode ser considerada satisfatória para este modelo por apresentar uma distribuição uniforme dos mesmos em relação à linha central, como pode ser observado na Figura 6.48.

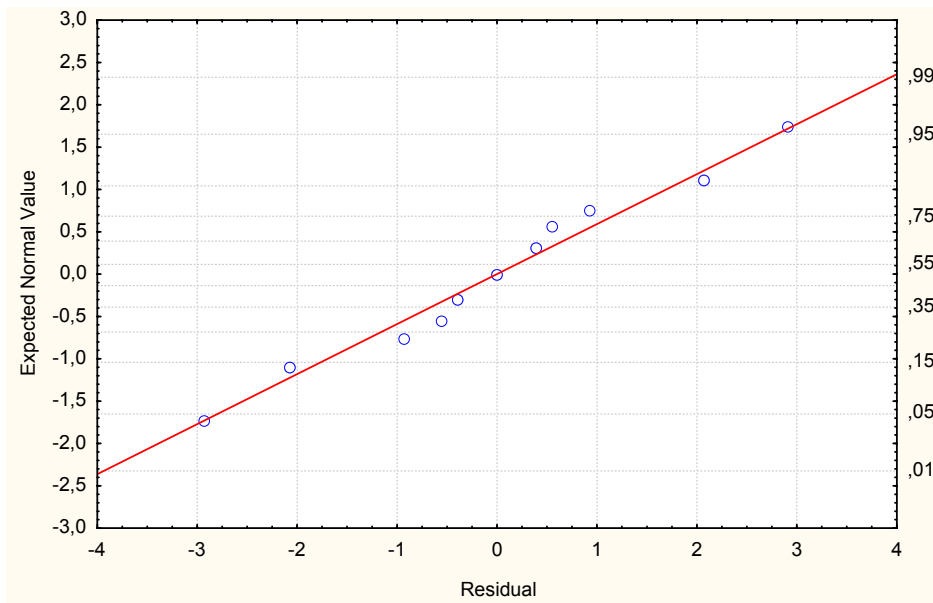


Figura 6.51 Análise de resíduos para *Desempenho em Responsividade na SC*

Fonte: Dados da Pesquisa.

O próximo capítulo encerra esta tese com as considerações finais sobre a pesquisa realizada, bem como a proposta de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a literatura sobre avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos proponha inúmeras medidas e modelos, a utilização de métricas de desempenho para gerenciar o desempenho de cadeias de suprimentos é uma atividade extremamente complexa devido:

- ao envolvimento de uma grande quantidade de indicadores;
- à inexistência de dados ou à dificuldade no compartilhamento dos mesmos ao longo da cadeia;
- à natureza qualitativa de muitas métricas;
- aos numerosos relacionamentos de causa e efeito entre as medidas.

Todas essas características tornam a atividade de predição de desempenho da cadeia de suprimentos muito difícil de conduzir. Nesse contexto, a lógica *fuzzy* configura-se como uma abordagem possível para tal propósito, por justamente tratar de situações como as descritas anteriormente.

Também conhecida por lógica difusa, tal abordagem destaca-se como uma técnica valiosa, pela manipulação de dados incompletos e qualitativos em seus processos de modelagem. Outra funcionalidade desta abordagem é a possibilidade de modelar complexos relacionamentos de causa e efeito multivariáveis através, do conhecimento de especialistas, e utilização de termos linguísticos.

A problemática da questão quanto ao número de indicadores pode ser suplantada pela adoção do Modelo SCOR, proposto pelo *Supply Chain Council*. Tal modelo destaca-se como uma arquitetura de referência quanto à padronização de um conjunto de métricas, os respectivos relacionamentos de causa e efeito (para os diversos níveis, e atributos de desempenho em SC) e os processos de negócios ao longo da cadeia de suprimentos, atribuições úteis ao processo de avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos.

A partir de todo contexto analisado surge, uma questão:

Como a utilização da lógica fuzzy, como uma técnica para predizer o desempenho, baseada em um conjunto de métricas, e os respectivos relacionamentos causais, propostos pelo Modelo SCOR, pode contribuir para o processo de tomada de decisão na gestão e melhoria do desempenho da empresa-foco situada em uma cadeia de suprimentos?

A abordagem de pesquisa deste trabalho baseou-se na hipótese de que um modelo de simulação quantitativo poderia ser construído para explicar (no mínimo, em parte) o comportamento de processos operacionais e poder auxiliar na compreensão dos problemas na tomada de decisão com os quais os gerentes de uma cadeia de suprimentos estão envolvidos.

Para tanto, a questão levantada resultou no seguinte objetivo da pesquisa realizada:

Apresentar e discutir um modelo de simulação, baseado em lógica fuzzy e medidas de desempenho do SCOR 8.0, para avaliar o desempenho da empresa-foco situada em uma cadeia de suprimentos.

A delimitação do modelo de simulação restrito à empresa-foco constitui-se como uma das limitações desta pesquisa e deve-se ao fato da impossibilidade, atualmente, de se avaliar o desempenho de uma cadeia de suprimentos como um todo.

O foco da pesquisa numa empresa-base da cadeia de suprimentos, geralmente a organização detentora do maior nível de governança, levou em consideração a dificuldade em se estabelecer a estratégia para a cadeia como um todo. Tal evidência, corroborada por Pires (2004), suscitou o desenvolvimento de uma ferramenta de predição que buscasse avaliar o desempenho de uma empresa (no caso, a empresa-foco) situada numa cadeia de suprimentos.

Desta maneira, a principal contribuição desta pesquisa foi a proposição de um conjunto de técnicas para simular e prever o desempenho da empresa-foco (situada numa cadeia de suprimentos) baseado em análises de impacto do tipo “*O que aconteceria se...*”.

O modelo proposto foi testado por meio de dados aleatórios e adotando as categorias de desempenho propostas pela metodologia *SCORmark* (*advantage, parity e superior*), desenvolvida pelo *Supply Chain Council* para o processo de *benchmarking* em cadeias de suprimentos. Os resultados gerados revelaram-se muito consistentes quando comparados aos *scorecards* de diversas empresas que utilizam o *SCORmark* como padrão de *benchmark* em cadeias de suprimentos.

A utilização do SCOR, por outro lado, constitui-se como outra limitação dessa pesquisa. Se por um lado a contribuição foi positiva, dada a arquitetura de referência padronizada a ser adotada no modelo, por outro restringiu a adoção de outros processos e métricas de desempenho que poderiam ser incorporadas pelo modelo.

Foi testado, também, o efeito de alavancagem das métricas sobre o desempenho, usando técnicas de DoE, particularmente análise por superfícies de resposta. Tais análises revelaram que a maior parte das métricas (variáveis de resposta) apresentou um comportamento linear no relacionamento com as métricas de níveis inferiores (variáveis de entrada no modelo). Ainda, a análise de variância (ANOVA, com $p < 0,05$) mostrou a significância dos efeitos da maior parte das métricas sobre as respostas, confirmando a relevância dos relacionamentos causais incorporados no modelo.

Os aspectos relevantes do modelo proposto podem ser descritos como:

- adoção de uma visão sistêmica do desempenho de cadeias de suprimentos;

- uso de métricas e relacionamentos causais baseados nas recomendações do SCOR;
- uso de categorias de desempenho propostas pelo SCOR para simular cenários;
- uso de análises estatísticas para confirmar o efeito de alavancagem das métricas sobre os resultados.

A próxima seção descreve outras limitações da pesquisa realizada.

7.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Além das limitações da pesquisa já mencionadas, merecem destaque também:

- **os resultados não podem ser generalizados:** os resultados gerados pelo modelo proposto não podem ser generalizados quanto a um comportamento real entre os atributos e métricas de desempenho, pois basearam-se em condições restritas ao ambiente da pesquisa, tais como:
 - As regras de inferência foram baseadas na visão de apenas um especialista. Tal característica influencia diretamente nos relacionamentos causais entre as métricas e atributos de desempenho do SCOR. Isso não significa que a lógica destes relacionamentos causais esteja errada, dado que foi adotada a lógica proposta pelo SCOR. No entanto, a visão do especialista pode influenciar no nível de intensidade dos relacionamentos causais. Dessa forma, os relacionamentos apontados como “lineares”, pelas análises estatísticas, poderiam ter convergido para outro comportamento, em função do julgamento atribuído pelo especialista. Desta forma, toda a análise estatística fica circunscrita às condições de pesquisa aqui mencionadas.
 - A definição das funções de pertinência foram baseadas em informações de *benchmarking* de inúmeras fontes, tais como o *Supply Chain Council*, APQC e o *Manufacturing Performance Institute*. Muitas dessas fontes utilizadas continham *scorecards* de diferentes datas e com diferentes métricas citadas. Desta maneira, para a parametrização das mesmas, procurou-se basear no documento mais completo possível; no entanto, algumas informações estatísticas sobre algumas métricas foram extrapoladas em alguns momentos.

- **Aplicação do modelo:** A proposta inicial deste trabalho era desenvolver o modelo a partir de um caso real, ou seja, uma empresa-foco situada em determinada cadeia de suprimentos. No entanto, pela complexidade em se modelar as regras de inferência (relacionamentos causais), estimadas em mais de 2.500 na fase final da modelagem do projeto-piloto, decidiu-se limitar o modelo a uma abordagem “teórica”, ou seja, baseado apenas na visão de um especialista. O desenvolvimento da modelagem de um caso real possibilitaria, talvez, analisar os comportamentos de saídas das variáveis respostas em função dos vários especialistas em questão.

7.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

A proposta de alguns trabalhos futuros surgiu com a realização desta pesquisa:

- a) **incorporação de métricas de nível 3 do SCOR**, como pode ser observado na Figura 7.1.

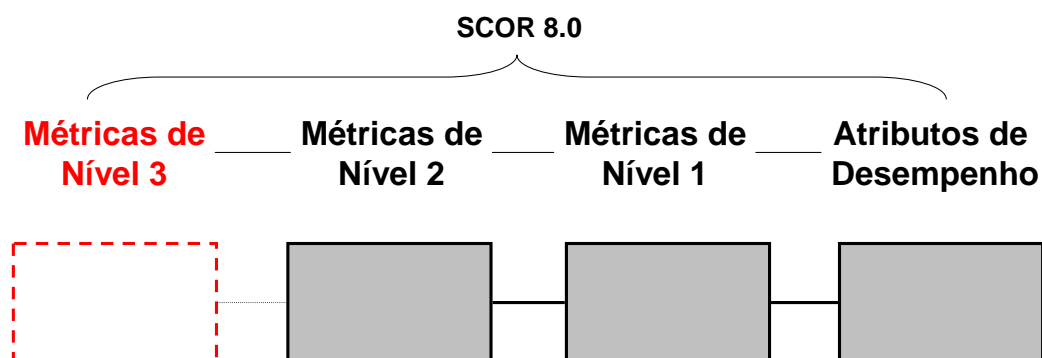


Figura 7.1 Incorporação de métricas de nível 3 do SCOR no modelo.

Fonte: Proposta pelo autor.

- b) **incorporação de um atributo de desempenho relativo à sustentabilidade.** Cada vez mais pesquisas em SCM vêm considerando as preocupações ambientais. A *green supply chain measurement* poderia constituir-se numa perspectiva possível de ser incluída no modelo. O próprio *Supply Chain Council* vem suscitando uma discussão entre seus membros para a incorporação dessa categoria no SCOR. A Figura 7.2 ilustra tal proposta.

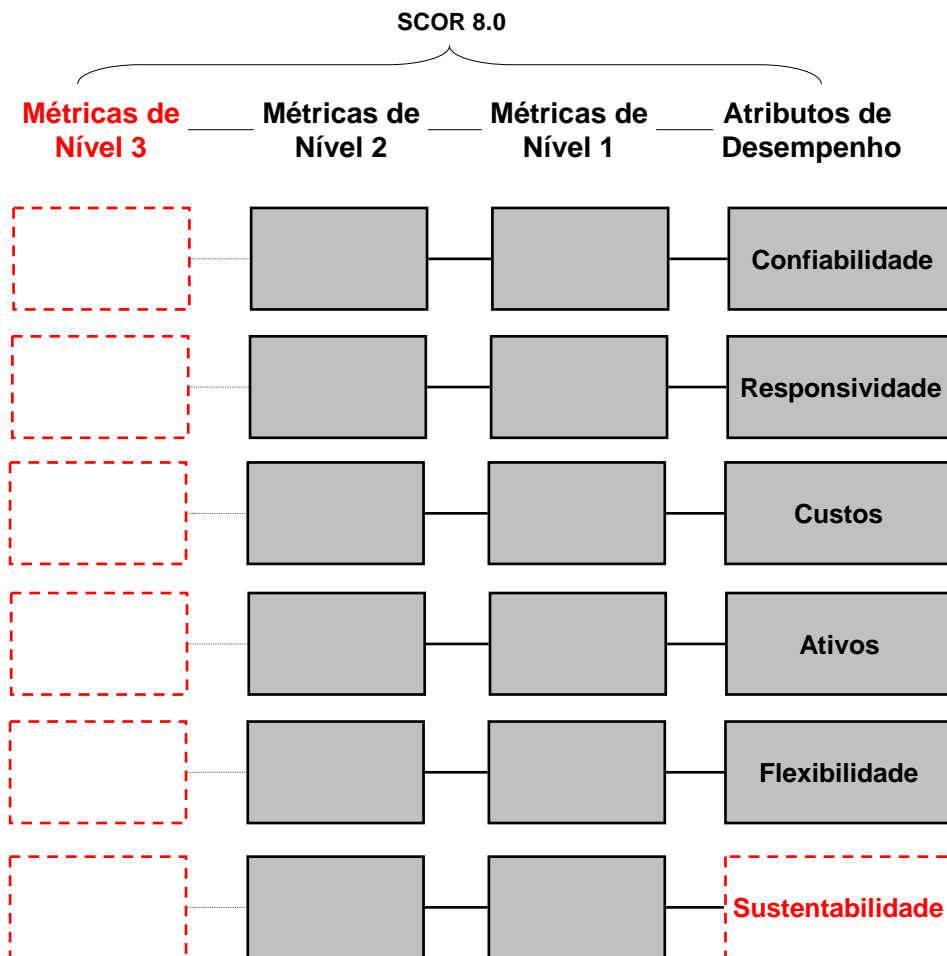


Figura 7.2 Incorporação do atributo Sustentabilidade no modelo.

Fonte: Proposta pelo autor.

c) **incorporação no modelo de métricas e processos do CCOR e DCOR, complementares ao SCOR:** O *Design Chain Operations Reference* (DCOR), por exemplo, incorpora o processo de desenvolvimento de produto na cadeia de suprimentos. Uma medida, como *Time to market*, poderia estar alinhada ao atributo de desempenho “Inovação”. A Figura 7.3 ilustra tal proposta.

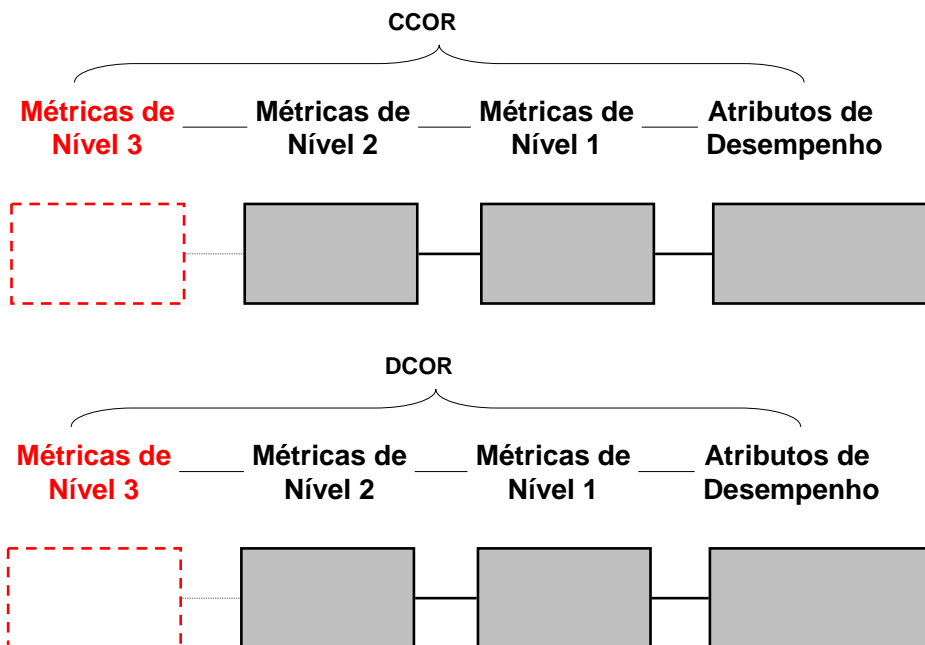


Figura 7.3 Incorporação no modelo de métricas e processos do CCOR e DCOR
 Fonte: Proposta pelo autor.

- d) realizar *survey* com empresas do Brasil para determinar níveis de utilização do SCOR, bem como status dos indicadores como fonte de *benchmarking*;
- e) aplicar o modelo em uma cadeia específica;
- f) aplicar técnica de modelagem *fuzzy* a partir de outros modelo de processos que não o SCOR, ou seja, que proponham outras métricas e processos de negócios ao longo da SC;
- g) propor e desenvolver um portal gratuito (serviço de *benchmarking*) que calcule *on line* os resultados de métricas e atributos de desempenho do modelo proposto;
- h) atualizar modelo para SCOR 9.0;
- i) desenvolver modelo com aprendizado de regras (*neuro-fuzzy*);
- j) incorporação no modelo de um índice geral de desempenho da Cadeia de Suprimentos usando o AHP: O *Supply Chain Index Performance* propõe o cálculo de um *índice geral de desempenho da cadeia de suprimentos* a partir dos diferentes pesos dos atributos de desempenhos, utilizando a abordagem do AHP. A Figura 7.4 ilustra tal proposta.

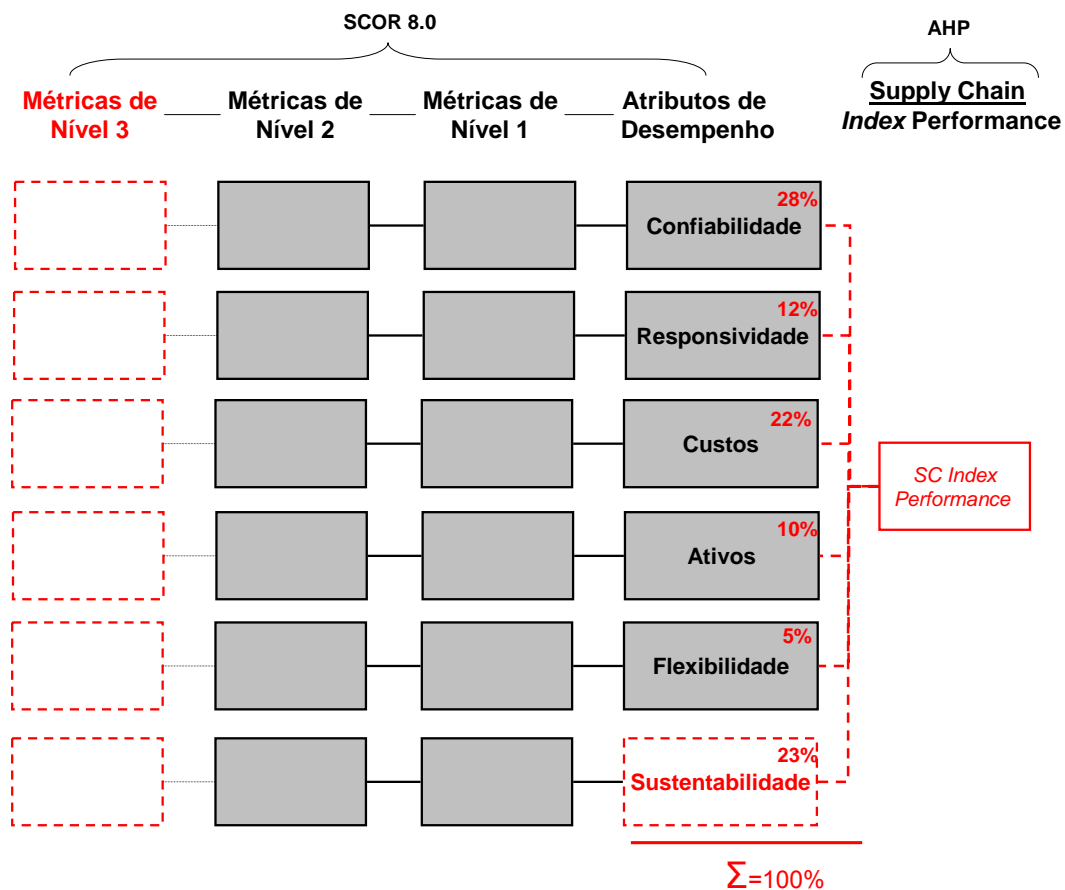


Figura 7.4 Incorporação no modelo de um índice geral de desempenho da Cadeia de Suprimentos usando o AHP

Fonte: Proposta pelo autor.

O capítulo a seguir traz as referências utilizadas na realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABACOUKIN, C.; BALLIS, A. Development of an expert system for the evaluation of conventional and innovative Technologies in the intermodal transport area. **European Journal of Operational Research**, v. 152, p. 410-419, 2004.

AGARWAL, A.; SHANKAR, R.; TIWARI, M. K. Modeling the metrics of lean, agile and leagile supply chain: An ANP-based approach. **European Journal of Operational Research**, v. 173, p. 211-225, 2006.

AISSAOUI, N.; HAOUARI, M.; HASSINI, E. (2007), Supplier selection and order lot sizing modeling: a review. **Computers & Operations Research**, v. 34, p. 3516-40, 2007.

ALLEN, M. K.; HELFERICH, O. K. **Putting Expert Systems to Work in Logistics**, Council of Logistics Management, Oak Brook, IL, 1990.

AMR. Disponível em: www.amrresearch.com

ANGERHOFER, B.J.; ANGELIDES, M.C. A model and a performance measurement system for collaborative supply chains. **Decision Support Systems**, v. 42, p. 283–301, 2006.

APQC – *Supply Chain Surveys*. Disponível em: www.apqc.org

ARARIBOIA, G. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

ATTADIA, L. C. L. ; MARTINS, R. A. Medição de desempenho como base para evolução da melhoria contínua. **Revista Produção**, v. 13, n. 2, p. 33-41, 2003.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BANKS, J.; BUCKLEY, S.; JAIN, S.; LENDERMANN, P. Opportunities for simulation in supply chain management. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, 2002. **IEE Xplore**, 2002.

BARROS NETO, B. B.; SCAMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2003.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. **Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática**. Campinas: Comissão de Publicações IMECC/UNICAMP, 2006. Coleção IMECC. Textos didáticos. v.5.

BASTIAN, A. Identifying fuzzy models utilizing genetic programming. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 113, n. 3, p. 333–350, 2000.

BEAMON, B. M. Measuring supply chain performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 3, p. 275–292, 1999.

BEAMON, B. M. Supply chain design and analysis: models and methods. **International Journal Production Economics**, v.55, p. 281–294, 1998.

BEAMON, B. M.; CHEN, V. C. P. Performance analysis of conjoined supply chains. **International Journal of Production Research**, v. 39, n.14, p.3195-3218, 2001.

BELHOT, R. V. **Metodologia da Pesquisa em Engenharia de Produção (SEP5775)**. Notas de aula. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP), 2004.

BELTON, V.; STEWART, T.J. **Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach**, Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002.

BENFER, R. A. et al. **Expert Systems**: California, USA, Sage Publications, 1991.

BITITCI, U. S.; CARRIE, A. S.; McDEVITT, L. Integrated performance measurement systems: a development guide. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 17, n. 5, p. 522-534, 1997.

BLINGE, M.; SWENSSON, A. **Working with Heavy EcoDriving**, Carlsberg Sverige AB, Stockholm, 2006.

BOJADZIEV, G.; BOJADZIEV, M. **Fuzzy logic for business, finance, and management**. Danvers, USA: World Scientific, 1997. (Advances in Fuzzy Systems – Applications and Theor, v.12).

BOJADZIEV, G.; BOJADZIEV, M. **Fuzzy sets, fuzzy logic, applications**. Danvers, USA: World Scientific, 1995. (Advances in Fuzzy Systems – Applications and Theory, v.5).

BOLSTORFF, P. Measuring the impact of supply chain performance, **CLO/ Chief Logistics Officers**, v. 12, p. 5-11, 2003.

BOLSTORFF, P.; ROSENBAUM, R. **Supply chain excellence**. A handbook for dramatic improvement using the SCOR Model. NY: AMACOM, 2003.

BOLSTORFF, P.; ROSENBAUM, R. **Supply chain excellence**. A handbook for dramatic improvement using the SCOR Model. NY: AMACOM, 2007.

BOURNE, M.; MILLS, J.; WILCOX, M.; NEELY, A.; PLATTS, K. Designing, implementing and updating performance measurement systems. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 20, n. 7, p. 754-771, 2000.

BOURNE, M.; NEELY, A.; PLATTS, K.; MILLS, J. (2002), The success and failure of performance measurement initiatives: perceptions of participating managers. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 11, p. 1288-1310, 2002.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão da cadeia de suprimentos e logística**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. **Empirical Model Building and Response Surfaces**. New York: John Wiley & Sons, 1987.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters**. USA: John Wiley & Sons, 1978.

BREMER, C. F., Ex-Professor Pós-Doutor do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade de São Paulo (USP/EESC), Sócio Diretor da *Axia Consulting*, empresa parceira do *Supply Chain Council* no Brasil. **Fonte Informal obtida em Congresso**. Maio, 2009.

BREWER, P.C.; SPEH, T.W. Adapting the balanced scorecard to supply chain management. **Supply Chain Management Review**, v. 5, n. 2, 2001, p. 48-56, 2001.

BREWER, P.C.; SPEH, T.W. Using the Balanced Scorecard to measure supply chain performance. **Journal of Business Logistics**, v. 21, p. 75-93, 2000.

BRINDLEY, C.; RITCHIE, B. Supply chain risk management and performance: a guiding framework for future development. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 27, n. 3, p. 303-322, 2007.

BRYMAN, A. **Quantity and Quality in Social Research**. London: Routledge, 1992.

BRYMAN, A. **Research Methods and Organization Studies**. London: Unwin Hyman, 1989.

BULLINGER, H.J.; KUHNER, M.; VAN HOFF, A. Analysing supply chain performance using a balanced measurement method. **International Journal of Production Research**, v. 40, n. 15, p. 3533-3543, 2002.

BURNS, R. **Introduction to Research Methods**, SAGE Publications, London, UK, 2000.

CAI, J.; LIU, X.; LIU, J. Improving supply chain performance management: A systematic approach to analyzing iterative KPI accomplishment. **Decision Support Systems**, v. 46, p. 512-521, 2009.

CAPS Research. Disponível em: www.capsresearch.com

CARLSSON, C.; FEDRIZZI, M.; FULLÉR, R. **Fuzzy logic in management**. Massachusetts: Kluwers Academic Publishers, 2004.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 4. ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

CHAN, F. T. S. Performance measurement in a supply chain. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 21, p. 534-548, 2003.

CHAN, F. T. S.; QI, H. J.; CHAN, H. K.; LAU, H. C. W.; IP, R. W. L. A conceptual model of performance measurement for supply chains. **Management Decision**, v. 41, n. 7, p. 635-642, 2003.

CHAN, F.T.S.; QI, H. J. An innovative performance measurement method for supply chain management. **An International Journal Supply Chain Management**, v. 8, n. 3/4, p. 209-223, 2003.

CHANG, R. Y.; MORGAN, M. W. **Performance Scorecards**: measuring the right things in the real world. San Francisco: Jossey-Bass, 2000. 224 p.

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. 131-63, 2004.

CHEN, Y. T.; KUMARA, S. R. T. Fuzzy logic and neural networks for design of process parameters: A grinding process application. **International Journal of Production Research**, v. 36, n. 2, p. 395-415, 1998.

CHENG, F.; Ettl, M.; LIN, G.; YAO, D. D. Inventory-service optimization in configure-to-order systems. **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 4, n. 2, p. 114–132, 2002.

CHI, Z.; YAN, H.; PHAM, D. **Fuzzy algorithms: with applications to image processing and pattern recognition**. Danvers, USA: World Scientific, 1996. (Advances in Fuzzy Systems – Applications and Theory, v.10).

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

CHRITOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: criando redes que agregam valor**. 2. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

COHEN, M. E.; HUDSON, D. L. **Comparative approaches to medical reasoning**. Danvers, USA: World Scientific, 1995. (Advances in Fuzzy Systems – Applications and Theory, v.3).

CORNELL, J. **Experiments with Mixtures**. 3. ed. New York : John Wiley & Sons, Inc., 2002.

COSTA, M. A. B. da. Simulação Computacional. Professor Doutor do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Pesquisador na área de Simulação de Sistemas. **Fonte Informal obtida em Congresso (ENEGEP)**. Outubro, 2009.

COSTA, M. A. B. da. Um modelo baseado em conhecimento para simular rebanhos de bovinos de corte. Campinas, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, Campinas, 2004.

Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). Disponível Em:
[Http://Cscmp.Org/](http://Cscmp.Org/)

CROSS, K. F.; LYNCH, R. L. Managing the corporate warriors. **Quality Progress**. v. 23, n. 4, p. 54-59, 1990.

CROXTON, K.L.; GARCÍA-DASTUGUE, S.J.; LAMBERT, D.M.; ROGERS, D.S. The supply chain management processes. **International Journal of Logistics Management**, v.12, n.2, p.13-35, 2001.

CUTHBERTSON, R.; PIOTROWICZ, W. Supply chain best practices: identification and categorisation of measures and benefits. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 57, n. 5, 389-404, 2008.

DE TONI, A.; TONCHIA, S. Performance measurement systems: models, characteristics and measures. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 21, n. 1/2, p. 46-70, 2001.

DONG, A. H.; WONG, W. K.; CHAN, S. F.; YEUNG, P. K. W. Developing an Apparel Supply Chain Simulation System with the Application of Fuzzy Logic. **Studies in Computational Intelligence** (SCI), v.55, p.185-199, 2007.

DONG, J.; DING, H. ; REN, C.; WANG, W. IBM SMARTSCOR. A SCOR based supply chain transformation platform through simulation and optimization techniques. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference. **IEEE X-plore**, p. 650-659, 2006.

DUBOIS, D.; PRADE, H. **Fuzzy Sets and Systems**. NewYork: Academic Press, 1980.

ELDABI, T.; IRANI, Z.; PAUL, R. J.; LOVE, P. E. D. Quantitative and qualitative decision-making methods in simulation modelling. **Management Decision**, v. 40, n.1, p. 64-73, 2002.

eSCM. Disponível em: www.escm.org.sg

FIGUEIREDO, K.; ARKADER, R. Da distribuição física ao supply chain management: o pensamento, o ensino e as necessidades de capacitação em logística. **Revista Tecnológica**, n. 33, p. 16, ago. 1998.

FOGGIN, J. H.; MENTZER, J. T.; MONROE, C. L. A supply chain diagnostic tool. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 34, n. 10, p. 827-855, 2004.

GASPARETTO, V. **Proposta de uma sistemática para avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos**. 2003. 248 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2003.

GAUDENZI, B.; BORGHESI, A. Managing risks in the supply chain using the AHP method. **The International Journal of Logistics Management**, v. 17, n. 1, p. 114-136, 2006.

GIARRATANO, J.C.; RILEY, G. **Expert Systems: Principles and Programming**. 2. ed. ITP: USA, 1998.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GODSELL, J.; BIRTWISTLE, A.; VAN HOEK, R. Building the supply chain to enable business alignment Lessons from British American Tobacco (BAT). **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 15, n.1, 2010.

GODSELL, J.; VAN HOEK, R. Fudging the supply chain to hit the number: five common practices that sacrifice the supply chain and what financial analysts should ask about them. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 14, n.3, p. 171-176, 2009.

GOETSCHALCKX, M.; VIDAL, C. J.; DOGAN, K. Modeling and design of global logistics systems: a review of integrated strategic and tactical models and design algorithms. **European Journal Operational Research**, v. 143, n. 1, p. 1-18, 2002.

GOLEC, A.; TASKIN, H. Novel methodologies and a comparative study for manufacturing systems performance evaluations. **Information Sciences**, v. 177, p.5253-5274, 2007.

GOVINDU, R.; CHINNAM, R. B. MASCF: A generic process-centered methodological framework for analysis and design of multi-agent supply chain systems. **Computers & Industrial Engineering**, v. 53, p. 584-609, 2007.

GRAVES, S. C.; WILLEMS, S. P. Optimizing strategic safety stock placement in supply chains. **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 2, n.1, p. 68-83, 2000.

GUNASEKARAN, A.; PATEL, C.; MCGAUGHEY, R. E. A framework for supply chain performance measurement. **International Journal of Production Economics**, v. 87, n.3, p.333–347, 2004.

GUNASEKARAN, A.; PATEL, C.; TIRTIROGLU, E. Performance measures and metrics in a supply chain environment. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 21, n.1/2, p.71-87, 2001.

HAJI, A.; ASSADI, M. Fuzzy expert systems and challenge of new product pricing. **Computers & Industrial Engineering**, v.56, p. 616-630, 2009.

HARREL, C.; TUMAY, K. **Simulation Made Easy**. Engineering & Management press, 1994.

HARRISON, A.; VAN HOEK, R. **Estratégia e gerenciamento de logística**. São Paulo: Futura, 2003.

HAYES, R. H.; WHEELWRIGHT, S. C. **Restoring our competitive edge**. New York: John Wiley & Sons, 1984.

HERVANI, A.A.; HELMS, M.; SARKIS, J. Performance measurement for green supply chain management. **International Journal Benchmarking**, v. 12, n.4, p. 330-353, 2005.

HIEBER, R. **Supply Chain Management: A Collaborative Performance Measurement Approach**. Zurich : VDF, 2002.

HIROTA, K. ; SUGENO, M. **Industrial applications of fuzzy technology in the world**. Danvers, USA: World Scientific, 1995. (Advances in Fuzzy Systems – Applications and Theory, v.2).

HOLMBERG, S. A system perspective on supply chain measurements. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v.30, n.10, p. 847-868, 2000.

Hoovers. Disponível em: www.hoovers.com

HUANG, S. H.; SHEORAN, S. K.; KESKAR, H. Computer-assisted supply chain configuration based on supply chain operations reference (SCOR) model. **Computers & Industrial Engineering**. v. 48, n.3, p.377-394, 2005.

HUANG, S. H.; SHEORAN, S. K.; WANG, G. A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model. **An International Journal Supply Chain Management**, v. 9, n. 1, p. 23-9, 2004.

JAIN, R. **The art of computer systems performance analysis**: techniques for experimental design, measurement, simulation, and modeling. USA: John Wiley & Sons, 1991.

JAMSHIDI, M.; OSERY, A. E. Fuzzy control and stability. In: ZILOUCHIAN, A.; JAMSHIDI, M. (Editors) **Intelligente control systems using soft computing methodologies**. Boca Raton: CRC Press, 2001.

JESUS, G. P. de. **Estudo de caso sobre a medição de desempenho da cadeia de suprimentos de uma montadora de veículos**. 2003. 2157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, 2003.

KACPRZYK, J. **Multistage fuzzy control**. Chichester, UK: John Wiley Sons, 1997.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **The balanced scorecard**. Boston: Harvard Business School Press, 1996.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. Thebalanced scorecard – measures that drive performance. **Harvard Business Review**. v. 70, n. 1, p. 70-79, 1992.

KAYDOS, W. **Measuring, managing and maximizing performance**. Portland: Productivity Press, 1991.

KEEBLER, J. S.; MANRODT, K. B.; DURTSCHKE, D. A.; LEDYARD, D. M. **Keeping Score**. Measuring the business value of logistics in the supply chain. Council of Logistics USA: Management, 1999.

KEEGAN, D. P.; EILER, R. G.; JONES, C. R. Are your performance measures obsoletes? **Management Accounting**. v.70, n.1, p. 45-50, 1989.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; SADOWSKI, D. A. **Simulation with arena**. USA: WCB MacGraw-Hill, 1998. (MacGraw-Hill Series in Industrial Engineering and Management Science)

KENNERLEY, M.; NEELY, A. A framework of the factors affecting the evolution of performance measurement systems. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 11, p. 1222-1245, 2002.

KENNERLEY, M.; NEELY, A. Measuring performance in a changing business environment. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 23, n. 2, p. 213-229, 2003.

KHURI, A. I.; CORNELL, J. A. **Response Surfaces**. New York: Marcel Dekker, 1987.

KINRA, A.; KOTZAB, H. A macro-institutional perspective on supply chain environmental complexity. **International Journal of Production Economics**, v. 115, p.283– 295, 2008.

KLEIJNEN, J. P. C.; SMITS, M. T. Performance metrics in supply chain management. **Journal of the Operational Research Society**, v. 54, n. 5, p. 507-514, 2003.

KLIR, G. J.; YUAN, B. **Fuzzy sets and Fuzzy logic: theory and applications**. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall, 1995.

KOTZAB, H.; SEURING, S.; MÜLLER, M.; REINER, G. (*Editors*) **Research methodologies in supply chain management**. Heidelberg: Physica - Verlag, 2005.

KUENG, P. Process performance measurement system: a tool to support process-based organizations. **Total Quality Management**. v. 11, n.1, p. 67-85, 2000.

KUENG, P.; WETTSTEIN, T.; LIST, B. A holistic process performance analysis through a performance data warehouse. **Seventh Americas Conference on Information System**, 2001.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C. Issues in supply chain management. **Industrial Marketing Management**, v. 29, n.1, p. 65-83, 2001.

LAMBERT, D.; POHLEN, T. Supply chain metrics. **International Journal of Logistics Management**, v. 12, n. 1, p. 1-19, 2001.

LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R. **Strategic logistics management**. 3 ed. NY: McGraw-Hill, 2003.

LAPIDE, L. Connecting to the future: MIT's Supply Chain 2020 Project explores critical success factors in three alternative scenerios. **Supply Network**. Europe. n.1, p.3-6, October, 2007.

LAPIDE, L. What about measuring supply chain performance? **Achieving Supply Chain Excellence through Technology**, v. 2, p. 287-297, 2000.

LAU, H. C.; AGUSSURJA, L.; THANGARAJOO, R. Real-time supply chain control via multi-agent adjustable autonomy. **Computers & Operations Research**, v. 35, p. 3452 - 3464, 2008.

LEE, H. L.; BILLINGTON, C. Material management in decentralized supply chain. **Operational Research**, v. 41, n.5, p. 835–847, 1993.

LEE, H. L.; BILLINGTON, C. The evolution of supply-chain-management models and practice at Hewlett-Packard. **Interfaces**, v. 25, n.5, p. 42–63, 1995.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice-Hall, 2009.

LI, S.; SUBBA RAO, S.; RAGU-NATHAN, T.S.; RAGU-NATHAN, B. Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain practices. **Journal of Operations Management**, v. 23, 2005, p. 618-641, 2005.

LIAO, S. H. Expert system methodologies and applications: a decade review from 1995 to 2004. **Expert Systems with Applications**, v. 28, n.1, p. 93-103, 2005.

LIBERATORE, M. J.; MILLER, T. A framework for integrating activity-based costing and the balanced scorecard into the logistics strategy development and monitoring process. **Journal of Business Logistics**, v. 19, n. 2, p. 131-154, 1998.

LIMA, M. **Custos logísticos na economia brasileira**. (2006) Disponível em http://www.ilos.com.br/site/index.php?option=com_content&task=view&id=695&Itemid=74. Acesso em 07 jan. 2010.

LIN, C. T.; CHIU, H.; CHU, P. Y. Agility index in the supply chain. **International Journal Production Economics**, v. 100, p. 285-299, 2006.

LIN, C.T.; CHEN, C.T. A fuzzy-logic-based approach for new product Go/NoGo evaluation at the front end. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A, Systems and Humans**, v. 34, n. 1, p. 132–142, 2004.

LIN, H. Y.; HSU, P. Y.; SHEEN, G. J. A *fuzzy*-based decision-making procedure for data warehouse system selection. **Expert Systems with Applications**, v. 32, n. 3, p. 939-953, 2007.

LOCKAMY, A.; MCCORMACK, K. Linking SCOR planning practices to supply chain performance: an exploratory study. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 11/12, p. 1192-1218, 2004.

LIU, S. C.; LIU, S. Y. An efficient expert system for air compressor troubleshooting. **Expert Systems**, v. 18, n. 4, p. 203-214, 2001.

MACHACHA, L.L.; BHATTACHARYA, P. A fuzzy logic-based approach to project selection. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 47, n. 1, p. 65–73, 2000.

Manufacturing Performance Institute. Disponível em: www.mpi-group.net

MARTINS, R. A. Professor Doutor do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Pesquisador na área de Sistemas de Medição de Desempenho. **Fonte Informal obtida em Congresso**. Maio, 2009.

MAYER, R. J.; BENJAMIN, P. C. Using the Taguchi paradigm for manufacturing system design using simulation experiments. **Computers and Industrial Engineering**, v. 22, n. 2, p. 195 – 209, 1992.

MCCARTHY, J. *What is Artificial Intelligence?* Disponível em: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/node1.html> . Acesso em: jun. 2009.

MENTZER, J. T.; DEWITT, W.; KEEBLER, J.; MIN, S.; NIX, N.; SMITH, C.; ZACHARIA, Z. Defining supply chain management. **Journal of Business Logistics**, v. 22, n. 2, 2001.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**. v. 17, n. 1, p. 216-229, Jan./Abr. 2007.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**: Response surface method and designs. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc, 2005.

MORGAN, C. Structure, speed and salience: performance measurement in the supply chain. **Business Process Management Journal**, v. 10, n. 5, 2004, p. 522-536, 2004.

MORGAN, C. Supply network performance measurement: future challenges? The **International Journal of Logistics Management**, v. 18, n. 2, p. 255-273, 2007.

MYERS, R.; MONTGOMERY, D. C. **Response Surface Methodology**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

NEELY, A.; ADAMS, C. **Perspectives on performance**: the performance prism. 2000. Working paper, Centre for Business Performance, School of Management, Cranfield University, Cranfield, 2000.

NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. Performance measurement systems design: a literature review and research agenda. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n. 4, p. 80-116, 1995.

NEELY, A.; MILLS, J.; PLATTS, K.; RICHARDS, H.; GREGORY, M.; BOURNE, M.; KENNERLEY, M. Performance measurement system design: developing and testing a process-based approach. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 20, n. 9-10, 2000, p. 1119-1145, 2000.

NIKOLOPOULOS, C. **Expert systems**: New York: Marcel Dekker, 1997.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. Estratégia, operação e avaliação. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

O'MARA, C. E. et al. Performance measurement and strategic change. **Managing Service Quality**, v 8, no. 3, pp 179-182, 1998.

OEHLERT, G. W. **Design and analysis of experiments**: Response surface design. New York: W.H. Freeman and Company, 2000.

OHDAR, R.; RAY, P. K. Performance measurement and evaluation of suppliers in supply chain: na evolutionary fuzzy-based approach. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 15, n.8, p. 723-734, 2004.

OLIVEIRA JUNIOR, H. A. (*Coord.*); CALDEIRA, A. M.; MACHADO, M. A. S.; SOUZA, R. C.; TANSCHKEIT, R. **Inteligência Computacional aplicada à administração, economia e engenharia em Matlab®**. São Paulo: Thomson, 2007.

ORDOOBADI, S. Application of Taguchi loss functions for supplier selection. **International Journal Supply Chain Management**, v. 14, n.1, p. 22-30, 2009.

PADOVANI, C. B. **O papel da governança na cadeia de suprimento automotiva nos fornecedores de primeiro e segundo nível**. 2007. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo (USP), 2007.

PAIVA, E. J. de; FERREIRA, J. R.; PAIVA, A. P. de. Otimização de múltiplas respostas utilizando-se o índice de capacidade com. *In*: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...** Foz do Iguaçu, Brasil, 2007.

PARDALOS, P. M.; ZOPOUNIDIS, C.; BAOURAKIS, G. (Orgs.) **Fuzzy Sets In Management, Economics And Marketing**. 1. ed. River Edge, NJ: World Scientific Pub, 2001.

PARK, J. H.; LEE, J. K.; YOO, J. S. A framework for designing the balanced supply chain scorecard. **European Journal of Information Systems**, v. 14, n.4, p. 335-346, 2005.

PARK, J. H.; LEE, J. K.; YOO, J. S. A framework for designing the balanced supply chain scorecard. **European Journal of Information Systems** , v. 14, p. 335-346, 2005.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design**. *Massachusetts*: MIT Press, 1998.

Performance Measurement Group (PMG). Disponível em: pmgbenchmarking.com

PERIN FILHO, C. **Introdução à simulação de sistemas**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1995.

PIRES, S. R. I. **Gestão da cadeia de suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos**. São Paulo: Atlas, 2004.

PIRES, S. R. I.; ARAVECHIA, C. Measuring supply chain performance. *In*: ANNUAL CONFERENCE OF THE PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT SOCIETY, 12. Orlando, 2001. **Anais...**

POLUHA, R. G. **Application of the SCOR Model in Supply Chain Management**. New York: Cambria Press, 2007.

RABELO, L.; ESKANDARI, H.; SHAALAN, T.; HELAL, M. Value chain analysis using hybrid simulation and AHP. **International Journal of Production Economics**, v. 105, p. 536-547, 2007.

REINER, G. Supply chain management research methodology using quantitative models based on empirical data. In: KOTZAB, H.; SEURING, S.; MÜLLER, M.; REINER, G. (Editors) **Research methodologies in supply chain management**. Heidelberg: Physica - Verlag, 2005.

RITCHIE, B.; BRINDLEY, C. Supply chain risk management and performance: a guiding framework for future development. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 27, n.3, p. 303-322, 2007.

ROBSON, S. **Real World Research: A resource for social scientists and practitioner researcher**. Blackwell Publishers, UK, 2002.

ROCCO, T. S.; BLISS, L. A.; GALLAGHER, S.; PEREZ-PRADO, A. Taking the next step: mixed methods research in organizational systems. **Information Technology Learning and Performance Journal**, v. 21, n. 1, p. 19-29, 2003.

RODER, A.; TIBKEN, B. A methodology for modeling inter-company supply chains. **European Journal of Operational Research**, v. 169, p. 1010–1029, 2006.

ROSS, T. J. **Fuzzy Logic with Engineering Applications**. New York: McGraw-Hill, 1997.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks**. New York: Springer Science, 2006.

SANTOS, S. P.; BELTON, V.; HOWICK, S. Adding value performance measurement by using system dynamics and multicriteria analysis. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 11, p. 1246-1272, 2002.

SANTOS, S. P.; BELTON, V.; HOWICK, S. Enhanced performance measurement using OR: a case study. **Journal of the Operational Research Society**, v.59, n.6, p.762 – 775, 2008.

SCHÖNSLEBEN, P. **Integral Logistics Management: Planning and Control of Comprehensive Supply Chains**. Boca Raton, FL: St Lucie Press, 2004.

SEARCY, D. L.; MENTZER, J. T. A framework for conducting and evaluating research. **Journal of Accounting Literature**, v. 22, n. 1, p. 130-67, 2003.

SEHGAL, S.; SAHAY, B.S.; GOYAL, S.K. Reengineering the supply chain in a paint company. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 55, n. 8, p. 655-670, 2006.

SELLITTO, M. A.; MENDES, L. W. Avaliação comparativa do desempenho de três cadeias de suprimentos em manufatura. **Produção**, v.16, n.3, p.552-568, 2006.

SEYDEL, J. Data envelopment analysis for decision support. **Industrial Management & Data Systems**, v. 106, n.1, p. 81-96, 2006.

SHANG, J. S.; TADIKAMALLA, P. R. Multicriteria design and control of a cellular manufacturing system through and optimization. **International Journal of Production Research**, v. 36, n. 6, p. 1515- 1528, 1998.

SHAPIRO, J. **Modeling the Supply Chain**. Duxbury: Thomson Learning, 2001.

SHARMA, M.K.; BHAGWAT, R. An integrated BSC-AHP approach for supply chain management evaluation. **Measuring Business Excellence**, v. 11, n. 3, p. 57-68, 2007.

SHEPHERD, C.; GÜNTER, H. Measuring supply chain performance: current research and future directions. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 55, n. ¾, p. 242-258, 2006.

SIDDHARTH VARMA, S.; WADHWA, S.; DESHMUKH, S. G. Evaluating petroleum supply chain performance: application of analytical hierarchy process to balanced scorecard. **Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics**, v. 20, v. 3, p. 343-356, 2008.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2007.

SLACK, N.; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

STEPHENS, S. Supply Chain Operations Reference Model 5.0: A New Tool to Improve Supply Chain Efficiency and Achieve Best Practice. **International Systems Frontiers**, v. 3, n. 4, p. 471-476, 2001.

STEPHENS, S. The supply chain council and the supply chain operations reference (SCOR) model: integrating processes, performance measurements, technology and best practice. **Logistics Spectrum**, p. 16–18, Jul.- Sept., 2000.

STEWART, G. Supply-chain operations reference model (SCOR): the first cross-industry framework for integrated supply-chain management. **Logistics Information Management**, v. 10, n. 2, p. 62-67, 1997.

THAKKAR, J.; DESHMUKH, S. G.; GUPTA, A. D.; SHANKAR, R. Development of a balanced scorecard: An integrated approach of Interpretive Structural Modeling (ISM) and Analytic Network Process (ANP). **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 56, n. 1, p. 25-59, 2007.

THEERANUPHATTANA, A.; TANG, J. C. S. A conceptual model of performance measurement for supply chains: Alternative considerations. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 19, n. 1, p. 125-148, 2008.

THOMAS, D. J.; GRIFFIN, P. M. Coordinated supply chain management. **European Journal Operational Research**, v. 94, n. 1, p. 1–15, 1996.

TRKMAN, P.; STEMBERGER, I. M.; JAKLIC, J.; GROZNIK, A. Process approach to supply chain integration. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 12, n.2, p. 116–128, 2007.

UNAHABHOKHA, C.; PLATTS, K.; TAN, K. H. Predictive performance measurement system. A fuzzy expert system approach. **An International Journal Benchmarking**, v. 14, n. 1, 2007.

VAN HOEK, R.I. Measuring the unmeasurable: measuring and improving performance in the supply chain, **An International Journal Supply Chain Management**, v. 3, n. 4, p. 187-192, 1998.

VERMA, A. K. Improving agility of supply chains using base stock model and computer based simulations. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 36, n. 6, p. 445-454, 2006.

VIDAL, C. J.; GOETSCHALCKX, M. Strategic production-distribution models: a critical review with emphasis on global supply chain models. **European Journal Operational Research**, v. 98, n. 1, p. 1–18, 1997.

VON ALTROCK, C. **Fuzzy Logic & Neurofuzzy**: Applications in Business and Finance. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1996.

WAGGONER, D.B.; NEELY, A.D.; KENNERLEY, M.P. The forces that shape organisational performance measurement systems: an interdisciplinary review. **International Journal of Production Economics**, v. 60, n. 1, p. 53-60, 1999.

Warehouse Education Research Council (WERC). Disponível em: www.werc.org

WEBER, C. A.; KOH, S. C. L.; ZAIM, S.; DEMIRBAG, M.; TATOGLU, E. Hybrid analytical hierarchy process model for supplier selection. **Industrial Management & Data Systems**, v. 108, n. 1, p.122-42, 2008.

WELCH, W. J.; BUCK R. J.; SACKS, J.; WYNN, H. P.; MITCHELL, T. J.; MORRIS, M. D. Screening, predicting, and computer experiments. **Technometrics**, v. 34, n. 1, p. 15 – 25, 1992.

WENG, Z. K.; McCLURG, T. Coordinated ordering decisions for short life cycle products with uncertainty in delivery time and demand. **European Journal of Operational Research**, v. 151, n. 1, p. 12-24, nov. 2003.

WU, W. W.; LEE, Y. T. Developing global managers' competencies using the *fuzzy* DEMATEL method. **Expert Systems with Applications**, v. 32, n. 2, p. 499-507, 2007.

WONG, W. P.; WONG, K. Y. A review on benchmarking of supply chain performance measures. **Benchmarking: An International Journal**. v. 15, n. 1, p. 25-51, 2008.

WONG, W. P.; WONG, K. Y. Supply chain performance measurement system using DEA modeling. **Industrial Management & Data System**, v. 107, n.3, p. 361-381, 2007.

XU, K.; DONG, Y.; EVERS, P. T. Towards better coordination of the supply chain. **Transportation Research Part**, v. 37, n. 1, p. 35-54, mar. 2001.

YEH, D. Y.; CHENG, C. H.; CHI, M. L. A modified two-tuple FLC model for evaluating the performance of SCM: by the six sigma DMAIC process. **Applied Soft Computing**, v. 7, p. 1027-1034, 2007.

YOSHIZAKI, H. **Supply chain management e logística**. 2000. Disponível em <http://www.vanzolini.org.br/areas/logistica/SCM-logistica.pdf>. Acesso em: jan 2002.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets as basis for a theory of possibility. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 1, n.1, p. 3-28, 1978.

ZADEH, L.A. Fuzzy Sets. **Information and Control**. v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZHU, Q.; SARKIS, J.; GENG, Y. Green supply chain management in China: pressures, practices and performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 5, p. 449-468, 2005.

ZHU, Q.; SARKIS, J.; LAI, K. H. Confirmation of a measurement model for Green supply chain management practices implementation, **International Journal of Production Economics**, v. 111, p. 261-273, 2008.

ZILOUCHIAN, A.; JAMSHID, M. (*Editors*) **Intelligente control systems using soft computing methodologies**. Boca Raton: CRC Press, 2001.

ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy set theory and its applications**. 2. ed. Boston: Kluwer Academic, 1991.

GLOSSÁRIO

Accurate Documentation: Acurácia na Documentação (Significa entregar o pedido com a documentação livre de erros na fatura, no recibo de entrega e em outras comunicações com o cliente)

Advantage: Vantagem (mediana entre superior e paridade)

AGV - Automated Guided Vehicles: veículos guiados automaticamente

Assets Supply Chain Performance: Desempenho da cadeia de suprimentos quanto à eficiência na utilização dos Ativos

Assets Turns: Giro de Ativos

Bad: ruim

Best in class: melhor desempenho da categoria

Best: melhor

Cash to Cash: Ciclo de Conversão de Caixa

Center of Area (CoA): método de defuzzificação Centro de Área

Center of Maximum (CoM): método de defuzzificação Centro dos Máximos

Cost of Goods Sold (COGS): Custo de Mercadoria Vendida (está relacionado diretamente aos custos variáveis de materiais; custos variáveis de trabalho, e custos indiretos relacionados à fabricação do produto)

Cost Supply Chain Performance: Desempenho da cadeia de suprimentos quanto à eficiência em Custos

CPFR - Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment: Planejamento, previsão e Reabastecimento Colaborativo

CR - Continuous Replenishment: Reabastecimento Contínuo

Days Payable Outstanding: dias de contas a pagar pendentes

Days Sales Outstanding: dias de contas a receber pendentes

Days: dias

Deliver: entrega

Delivery Cycle Time: Tempo de Ciclo do processo de Entrega

Delivery Performance to Customer Commit Date: Desempenho de Entrega quanto a data acordada com o Cliente

DoE – Design of Experiments: Projeto de Experimentos

ECR – Efficient Consumer Response: resposta eficiente ao consumidor

Finance and Planning Cost: custos de finanças e planejamento (composto por custos de previsão de demanda; custo de planejamento de suprimentos e custos de controle financeiro da cadeia de suprimentos)

Flexibility Supply Chain Performance: Desempenho da Cadeia de Suprimentos em Flexibilidade

Good: bom

High: alto

Information Technology Supply Chain Cost: custo de tecnologia de informação para SC (composto por custos de aplicação e custos operacionais de TI para SC)

Inventory Carrying Cost: custo de carregamento de estoques (composto por custo de oportunidade; custo de obsolescência; custo de perdas e custos e taxas de seguros)

Inventory Days of Supply: dias de suprimento de estoque de uma empresa

lean thinking: pensamento enxuto

Level 1 Metrics SCOR: métricas de nível 1 do SCOR 8.0

Level 2 Metrics SCOR: métricas de nível 2 do SCOR 8.0

Level 3 Metrics SCOR: métricas de nível 3 do SCOR 8.0

Low: baixo

Make Cycle Time: Tempo de Ciclo do processo de Fabricação

Make: fabricação

Material Acquisition Cost: custo de aquisição de material (composto por custo de compras; custo de armazenagem de matéria-prima; custo de qualidade do fornecedor; custo de transporte *inbound*, custo de contas a pagar entre outros)

MAX: máximo

Mean of maximum (MoM): método de defuzzificação Média dos Máximos

Medium high: médio alto

Medium low: médio baixo

Medium: médio

Membership Function (MBF): Função de pertinência

MIN: mínimo

MTO – Make to Order: produzir sob pedido

MTS – Make to stock: produzir para estoque

Net Profit: lucro líquido

Order Fulfillment Cycle Time: Tempo de Ciclo Total no atendimento de pedidos (Tempo entre colocação de um pedido até o recebimento deste pedido pelo Cliente, incluindo tempo de transmissão, processamento, preparação e embarque do mesmo)

Order Management Cost: custo de gerenciamento do pedido (composto por custos de serviço ao cliente; custo de armazenamento de produtos acabados nos armazéns; custo de transporte *outbound*; custo de gerenciamento de contratos; custos de execução e planejamento de instalações e custos de contas a receber)

Orders Delivered in Full: Pedidos Entregues Completos (itens e quantidades requeridas) ao cliente

Overlap: sobreposição ou simultaneidade nos processos

Parity: paridade (mediana de todas cadeias estudadas)

Percentage of revenue: porcentagem da receita

Percentage: porcentagem

Perfect Condition: Perfeita Condição (Pedidos entregues em perfeitas condições quanto a possíveis avarias no próprio produto ou embalagem)

Perfect Order Fulfillment: Pedido Perfeito

Performance attributes: atributos de desempenho do SCOR 8.0

Plan: planejamento

Postponement: estratégia de postergação

Reliability Supply Chain Performance: Desempenho da cadeia de suprimentos quanto à Confiabilidade

Response Surface Methodology – RSM: Metodologia por Superfícies de Resposta

Responsiveness Supply Chain Performance: Desempenho da cadeia de suprimentos quanto à Responsividade

Return Over Assets (ROA): Retorno sobre Ativos

RFID – Radio Frequency Identification: Identificação por rádio frequência

SC – Supply Chain: Cadeia de Suprimentos

SCM – Supply Chain Management: Gestão da cadeia de Suprimentos

Source Cycle Time: Tempo de Ciclo do processo de Abastecimento

Source: abastecimento

Strategic Profit Model: modelo do lucro estratégico

Strongest high: altíssimo

Strongest low: baixíssimo

Superior: desempenho superior (10% da categoria)

Supply Chain Flexibility: Flexibilidade de uma Cadeia de Suprimentos (significa a agilidade de uma cadeia de suprimentos em responder às mudanças de mercado para ganhar ou manter uma vantagem competitiva)

Supply Chain Performance: Desempenho da Cadeia de Suprimentos

Supply Chain Responsiveness: Responsividade de uma Cadeia de Suprimentos (está relacionada à velocidade com que uma cadeia de suprimentos fornece os produtos aos clientes)

TMS – Transportation Management System: Sistema de gerenciamento de Transportes

Total Supply Chain Management Cost: custo total da gestão da cadeia de suprimentos

Upside Deliver Flexibility: Incremento de flexibilidade no processo de entrega. (significa a capacidade de resposta [em dias] do processo entrega em se adequar à variação de demanda, sem custos e penalidades de atendimento do serviço ao cliente)

Upside Make Flexibility: Incremento de flexibilidade no processo de fabricação. (significa a capacidade de resposta [em dias] do processo de fabricação em se adequar à variação de demanda, sem custos e penalidades de atendimento do serviço ao cliente)

Upside Source Flexibility: Incremento de flexibilidade no processo de abastecimento. (significa a capacidade de resposta [em dias] do processo abastecimento em se adequar à variação de demanda, sem custos e penalidades de atendimento do serviço ao cliente)

Upside Supply Chain Flexibility: Incremento de Flexibilidade da SC é uma medida discreta que define a quantidade de tempo, geralmente em dias, que uma cadeia demoraria para responder a uma variação de demanda não planejada em torno de 20%, sem custo ou penalidade de serviço.

Very bad: muito ruim

Very good: muito bom

Very high: muito alto

Very low: muito baixo

VMI – Vender Managed Inventory: Estoque gerenciado pelo fornecedor

WHAT-IF impact analysis: *Análises do tipo “o que aconteceria...se”*

WMS – Warehouse Management System: Sistema de Gerenciamento de Armazém

Worst in class: pior desempenho da categoria

Worst: pior

A PÊNDICE

O PROCESSO DE SIMULAÇÃO

Conforme mencionado no Capítulo 5, o modelo de simulação para predição de desempenho da empresa-foco em cadeia de suprimentos foi construído por meio do *Software FuzzyTECH 5.1*.

O processo de simulação ocorre de maneira interativa e instantânea (*Interactive Debug Mode*). Essa funcionalidade do *software* permite alterar manualmente os dados de entrada (no caso deste modelo, as métricas de nível 2 do SCOR), e observar as reações do modelo quanto ao comportamento de resposta das variáveis de saída (métricas de nível 1 e atributos de desempenho do SCOR). Este tipo de análise de cenários, é denominada análises “*What if*”, mencionadas no capítulo 2, na seção “Modelagem e Simulação em *Supply Chain*”.

A Figura A1 ilustra um exemplo desse processo de simulação interativo. Neste caso, o submodelo analisado é o *Desempenho (eficiência) na utilização de ativos na cadeia de suprimentos (Supply Chain Asset Performance)*.

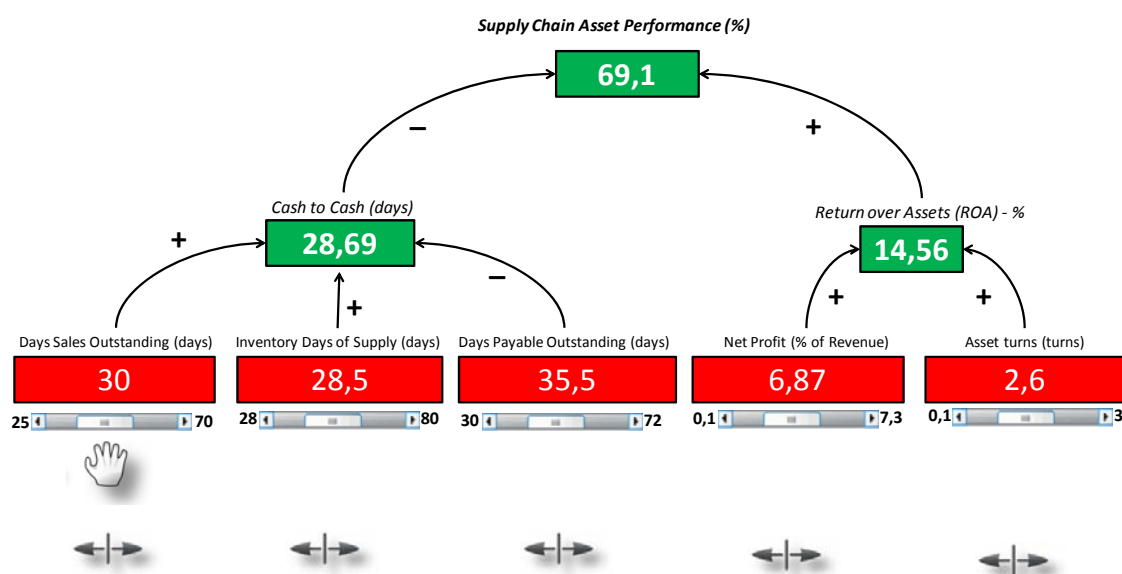


Figura A1 Processo de simulação

Fonte: Proposto pelo Autor

De acordo com a arquitetura do modelo proposto no **Capítulo 5**, o *Desempenho da SC na utilização de seus ativos*, é influenciado por duas medidas de nível 1 do SCOR, ou seja, o ciclo de conversão de caixa (*cash to cash*) e o Retorno sobre Ativos (ROA), respectivamente.

O *tempo de conversão de caixa (cash to cash)* é influenciado por três medidas de nível 2 do SCOR, Dias de Estoque (*Inventory days of supply*), dias de contas a receber (*days sales*

outstanding), e dias de contas a pagar (*days payable outstanding*). Observando as relações de causalidade entre os atributos de desempenho, métricas de nível 1 e nível 2, tem-se que:

- a) Quanto maior o *cash to cash* (em dias), pior o desempenho na utilização dos ativos;
- b) Quanto maiores forem os *dias de estoque* e os *dias de contas a receber*, pior o desempenho em ativos;
- c) Quanto maiores forem os *dias de contas a pagar*, melhor o desempenho em ativos;
- d) Quanto maiores forem os *dias de estoque* e os *dias de contas a receber*, pior o desempenho no *tempo de conversão de caixa*;
- e) Quanto maiores forem os *dias de contas a pagar*, melhor o desempenho no *tempo de conversão de caixa*.

Para chegar a essas considerações, o analista testou vários cenários (*What if*), movendo o cursor do *mouse*, ilustrado na Figura A1, de acordo com um *continuum* de variação de cada variável operacional (ilustrado por blocos vermelhos). Por exemplo, a medida *dias de estoque* (*inventory days of supply*), pode assumir valores de 28 a 80 dias, de acordo com o universo de discurso desta variável, parametrizado no modelo. Esse *range* de variação permite que o tomador de decisão, no caso, o gerente de *supply chain*, analise várias situações em que o desempenho operacional (métricas de nível 2 do SCOR) influencie o comportamento (resposta) das métricas superiores (medidas de nível 1 do SCOR), e os atributos de desempenho em cadeia de suprimentos.

Simulando valores aleatórios para *dias de estoque* (28,5 dias), *dias de contas a receber* (30 dias), e *dias de contas a pagar* (35,5 dias), obtém-se um valor de 28,69 dias para o *tempo de conversão de caixa*, como pode ser observado na Figura A1.

Analogamente ao raciocínio anterior, o *Retorno sobre Ativos* é influenciado por duas medidas de nível 2 do SCOR, *lucro líquido* ou *net profit* (% da receita), e *giro de ativos* (*asset turns*). Observando as relações de causalidade entre os atributos de desempenho, métricas de nível 1 e nível 2, tem-se que:

- a) Quanto maior o *lucro líquido* (% da receita), melhor o desempenho em Ativos;
- b) Quanto maior o *giro de ativos*, melhor o desempenho em Ativos;
- c) Quanto maior o Retorno sobre Ativos, maior o desempenho em Ativos.

Simulando valores aleatórios para *lucro líquido* (6,87 % da receita) e *giro de ativos* (2,6 giros), o sistema *fuzzy* retorna um valor de 14,56% para o ROA.

Como comportamento instantâneo do sistema, observa-se que quando os valores de *cash to cash* assumirem 28,69 dias e o *Retorno sobre Ativos* assumir 14,56%, o *Desempenho*

em Ativos da empresa-foco será de 69,1%. Observando as relações de causalidade para este nível de análise, pode-se considerar que:

- Quanto maior for o *cash to cash*, menor o desempenho em ativos;
- Quanto maior for o *Retorno sobre Investimento*, maior o desempenho em Ativos.

Tais análises permitem que os gerentes de uma SC simulem o comportamento de seu sistema mediante o posicionamento de seu desempenho operacional.

Outra funcionalidade de análise do *FuzzyTECH*, é a análise por superfícies de resposta, denominado por *3D Plot*. As Figuras A2, A3 e A4 ilustram superfícies de resposta para o exemplo citado.

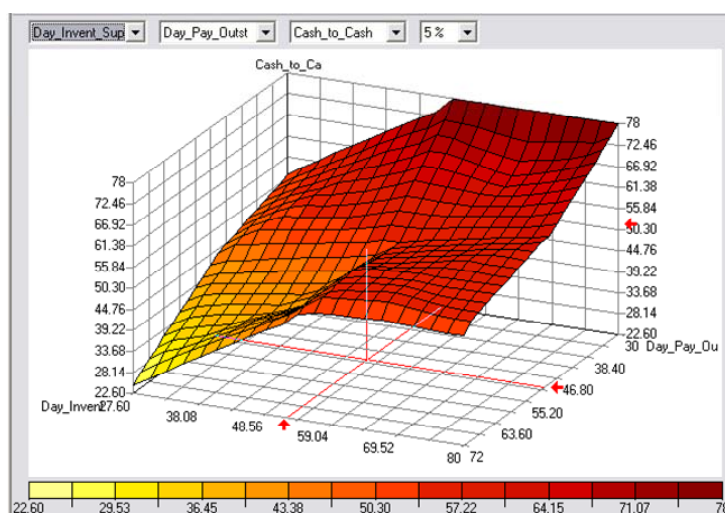


Figura A2 Superfície de Resposta para *Cash to Cash* comparando *dias de estoque* e *dias de contas a pagar*
Fonte: *FuzzyTECH 5.1*

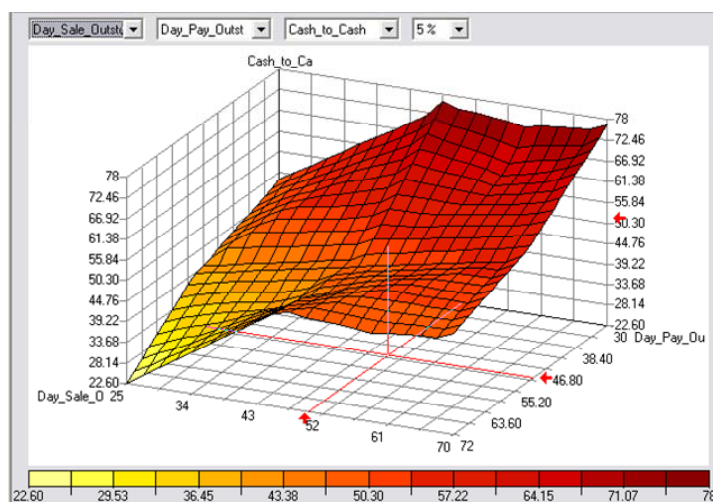


Figura A3 Superfície de Resposta para *Cash to Cash* comparando *dias de contas a receber* e *dias de contas a pagar*
Fonte: *FuzzyTECH 5.1*

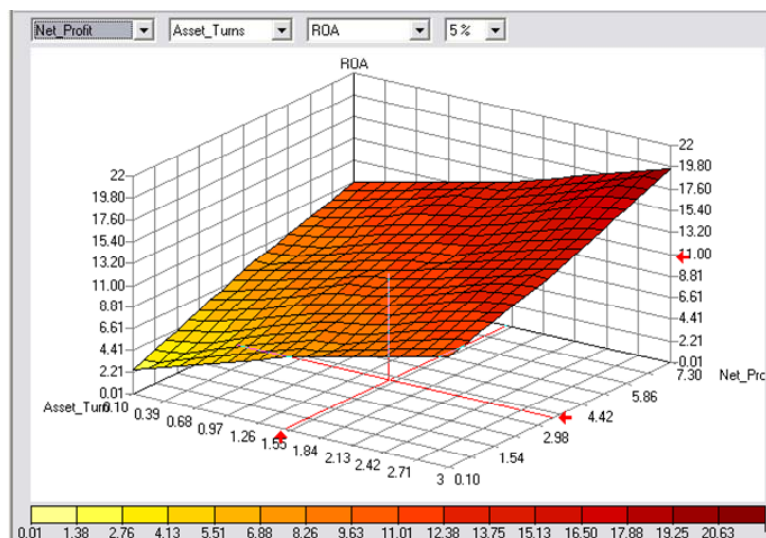


Figura A4 Superfície de Resposta para *ROA* comparando *lucro líquido* e *giro de ativos*

Fonte: *FuzzyTECH 5.1*

Estas classes de análises permitem simular interativamente e de forma gráfica as respostas do modelo para variações no comportamento das variáveis de entrada (métricas de nível 2 do SCOR).

Por fim, as Figuras A5 (a) e (b) ilustram telas do *FuzzyTECH* em seu modo interativo:

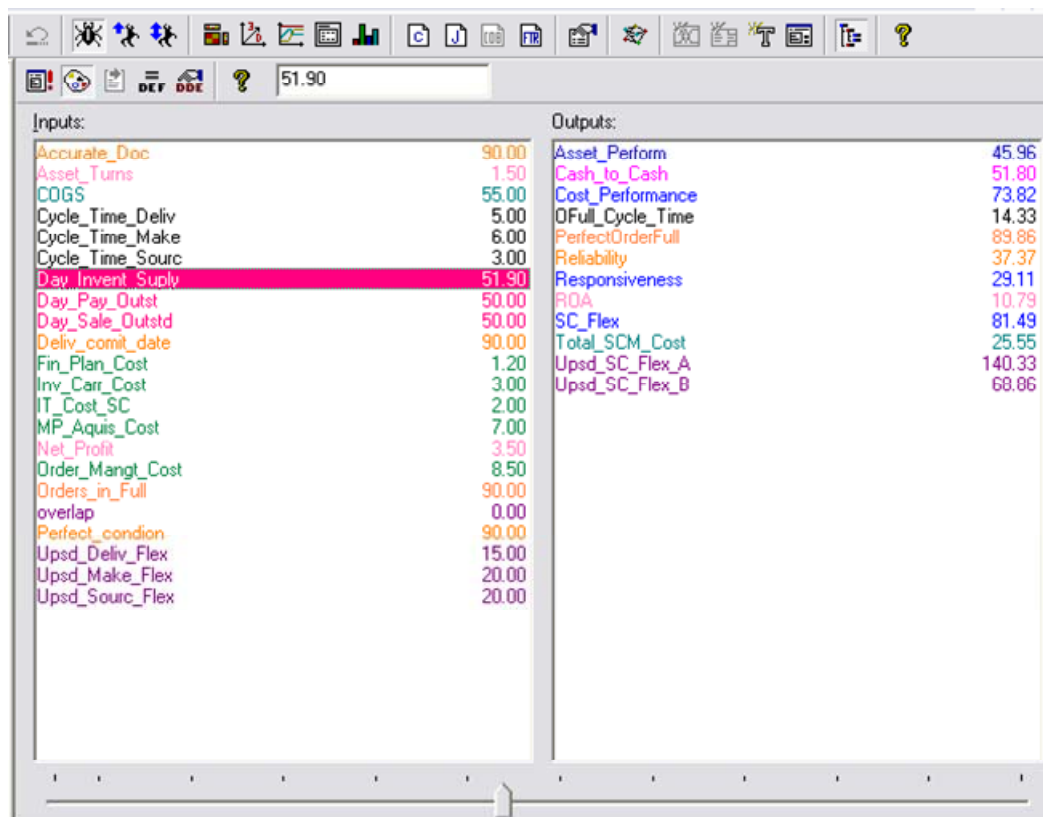


Figura A5 (a) Tela do modo interativo do *FuzzyTECH*

Fonte: *FuzzyTECH 5.1*.

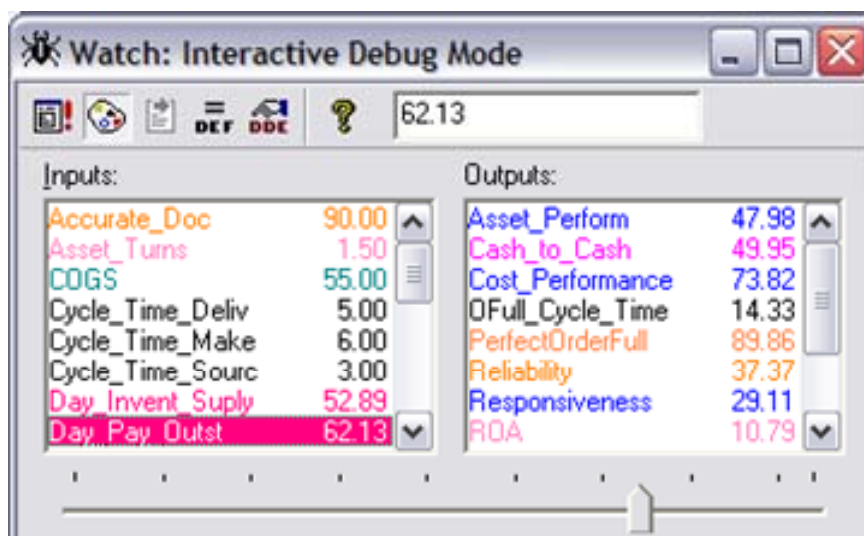


Figura A5 (b) Tela do modo interativo do *FuzzyTECH*

Fonte: *FuzzyTECH 5.1*

Tabela A1 Resultados gerados pelo Modelo: experimentos 1-8

Métricas	Experimentos Realizados							
	exp1	exp2	exp3	exp4	exp5	exp6	exp7	exp8
Accurate Documentation	84	86	96	89	95	95	90	88
Delivery to Customer Commit Date	87	93	87	91	90	92	97	89
% Orders Delivered in Full	96	90	93	97	94	86	88	94
Perfect Condition	86	88	87	98	88	92	95	95
Perfect Order Fulfillment	88,84	88,96	91,40	93,30	91,43	91,27	92,26	91,43
Reliability Supply Chain Performance	29,52	30,46	49,20	63,81	49,94	48,27	55,84	49,49
Assets Turns	0,57	0,86	0,43	1,84	1,64	0,33	2,00	2,39
Net Profit	0,90	6,01	1,96	6,61	3,15	4,43	2,23	1,11
Return Over Assets (ROA)	4,56	11,77	5,72	14,95	10,67	8,33	10,60	10,42
Inventory Days of Supply	70	68	78	41	70	50	41	70
Days Payable Outstanding	56	44	53	47	53	70	52	31
Days Sales Outstanding	54	65	63	65	67	46	40	53
Cash to Cash	61,13	66,24	70,36	56,05	68,76	46,06	40,29	74,91
Assets Supply Chain Performance	14,16	33,41	19,98	58,65	30,45	42,98	57,37	25,10
Delivery Cycle Time	1	5	6	7	1	3	7	4
Make Cycle Time	1	2	2	6	3	3	3	5
Source Cycle Time	1	4	1	1	2	1	3	6
Order Fulfillment Cycle Time	3,00	8,67	11,50	14,33	8,67	11,50	14,33	11,50
Responsiveness SC Performance	99,99	54,19	55,52	38,85	78,56	66,70	38,90	44,43
Finance and Planning Cost	1,15	1,38	1,43	1,11	1,26	1,54	0,81	1,07
Inventory Carrying Cost	3,35	4,15	5,48	3,41	4,30	3,48	4,39	3,54
IT Supply Chain Cost	3,21	1,82	2,32	3,36	1,99	2,09	2,32	2,36
Material Acquisition Cost	9,89	8,10	5,96	9,49	8,07	9,80	10,15	9,39
Order Management Costs	10,35	16,25	8,81	9,63	17,83	13,56	8,50	9,42
Total SCM Costs	29,49	30,65	26,91	29,19	31,08	30,79	28,96	27,91
COGS	57,89	62,57	56,49	66,12	59,65	59,91	63,86	54,63
Cost Supply Chain Performance	45,70	39,26	66,06	42,93	34,91	41,05	43,07	62,96
Upside Deliver Flexibility	20	47	33	47	24	26	16	34
Upside Make Flexibility	76	49	35	33	26	17	15	49
Upside Source Flexibility	51	61	75	39	19	22	57	65
Upside Supply Chain Flexibility (B)	141,8	149,0	128,8	127,8	82,8	80,6	112,0	140,8
Upside SC Flexibility (A)								
Flexibility Supply Chain Performance	46,78	43,33	52,97	53,45	74,83	75,89	60,95	47,22

Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela A2 Resultados gerados pelo Modelo: experimentos 9-17

Métricas	Experimentos Realizados								
	exp9	exp10	exp11	exp12	exp13	exp14	exp15	exp16	exp17
Accurate Documentation Delivery to Customer Commit Date	86	95	84	88	91	92	85	94	90
% Orders Delivered in Full Perfect Condition	93	95	88	91	91	87	93	85	90
Perfect Order Fulfillment	87	98	86	95	91	89	95	90	95
Reliability Supply Chain Performance	94	94	88	93	94	90	85	88	92
	90,83	94,64	86,97	91,15	91,16	89,03	90,90	89,28	91,11
Assets Supply Chain Performance	44,85	74,18	15,11	47,30	48,12	30,99	45,39	32,88	46,97
Assets Turns	0,95	2,61	2,60	1,73	1,22	1,65	1,35	1,99	2,41
Net Profit	2,90	6,76	2,82	5,27	3,12	1,44	4,84	2,96	1,32
Return Over Assets (ROA)	8,72	17,98	13,17	13,03	9,84	8,85	11,70	11,40	10,72
Inventory Days of Supply	71	56	28	39	63	75	28	45	34
Days Payable Outstanding	71	37	44	72	70	50	63	42	41
Days Sales Outstanding	36	58	36	26	28	44	36	58	62
Cash to Cash	40,57	65,14	36,79	24,60	34,05	50,76	31,32	57,71	55,51
Assets Supply Chain Performance	46,21	59,13	72,47	79,76	54,31	35,29	65,81	42,15	36,92
Delivery Cycle Time	4	6	1	6	1	5	1	4	4
Make Cycle Time	7	6	2	2	2	7	3	4	2
Source Cycle Time	2	1	6	1	3	3	5	2	6
Order Fulfillment Cycle Time	11,50	14,33	8,67	11,50	3,00	14,33	11,50	11,50	11,50
Responsiveness Performance	43,37	38,85	61,15	55,52	88,96	26,84	67,49	50,00	50,00
Finance and Planning Cost	1,05	0,95	1,62	1,49	1,70	1,20	1,57	1,29	1,38
Inventory Carrying Cost	3,16	2,80	3,64	5,34	2,64	3,01	2,77	4,46	3,53
IT Supply Chain Cost	2,87	3,23	2,37	3,44	2,26	3,01	2,11	3,69	2,15
Material Acquisition Cost	11,05	9,25	7,11	9,16	5,22	10,34	7,55	6,08	6,46
Order Management Costs	15,16	16,55	11,46	15,89	9,08	14,77	13,29	12,65	11,15
Total SCM Costs	31,72	31,36	27,61	32,35	25,05	31,35	29,10	29,21	27,24
COGS	57,44	61,78	55,46	65,45	66,28	60,97	69,86	65,79	50,54
Cost Supply Chain Performance	42,39	33,74	67,46	25,11	55,83	38,87	38,42	40,53	70,78
Upside Deliver Flexibility	27	53	71	66	67	73	38	64	58
Upside Make Flexibility	40	69	70	49	53	47	22	65	70
Upside Source Flexibility	24	62	45	31	38	52	80	10	15
Upside Supply Chain Flexibility (B)	106,1	168,4	160,0	140,6	144,3	147,3	135,0	135,0	141,5
Upside SC Flexibility (A)									
Flexibility Supply Chain Performance	63,75	34,11	38,09	47,33	45,56	44,14	50,00	50,00	46,92

Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela A3 Resultados gerados pelo Modelo: experimentos 18-26

Métricas	Experimentos Realizados								
	exp18	exp19	exp20	exp21	exp22	exp23	exp24	exp25	exp26
Accurate Documentation	86	95	85	98	92	95	88	92	98
Delivery to Customer									
Commit Date	98	87	97	97	90	96	87	89	97
% Orders Delivered in									
Full	91	89	96	96	90	85	86	97	93
Perfect Condition	95	94	91	88	89	96	95	97	89
Perfect Order Fulfillment	92,68	91,44	92,55	93,26	89,58	92,01	88,86	93,25	94,33
Reliability Supply Chain									
Performance	59,07	49,49	58,06	63,53	35,25	53,95	29,71	64,25	71,77
Assets Turns	2,88	0,14	0,52	0,34	1,99	0,65	1,36	1,99	0,83
Net Profit	0,41	0,46	6,97	1,55	0,88	5,25	7,14	3,33	2,25
Return Over Assets (ROA)	11,02	2,91	11,78	4,84	8,93	10,13	14,16	11,77	7,45
Inventory Days of Supply	76	51	57	75	64	29	79	65	63
Days Payable Outstanding	52	59	63	48	44	72	36	66	56
Days Sales Outstanding	45	32	62	32	34	50	58	38	41
Cash to Cash	55,06	37,86	56,82	50,65	54,75	26,05	70,50	42,49	46,24
Assets Supply Chain									
Performance	40,51	33,41	40,51	32,62	29,16	62,05	46,09	60,57	39,44
Delivery Cycle Time	6	5	3	1	7	7	3	5	5
Make Cycle Time	6	2	3	6	5	4	5	6	4
Source Cycle Time	1	5	5	6	2	2	5	3	6
Order Fulfillment Cycle									
Time	14,33	11,50	11,50	11,50	11,50	11,50	11,50	14,33	11,50
Responsiveness									
Performance	38,85	50,83	67,53	50,00	32,80	43,37	50,00	29,11	44,93
Finance and Planning Cost	1,27	1,45	0,86	1,01	1,02	0,96	1,32	1,61	0,90
Inventory Carrying Cost	4,20	3,32	5,41	3,99	5,36	4,64	5,34	4,12	4,27
IT Supply Chain Cost	1,93	3,66	3,48	2,24	2,61	3,35	3,48	3,00	1,95
Material Acquisition Cost	8,81	5,75	7,74	9,47	7,94	5,23	7,37	9,21	9,79
Order Management Costs	15,13	13,82	9,49	17,19	15,80	9,62	13,83	13,58	13,81
Total SCM Costs	30,99	28,92	28,32	32,00	30,27	26,21	30,66	30,61	30,91
COGS	69,04	56,87	49,62	67,99	57,45	51,27	50,02	51,20	62,80
Cost Supply Chain									
Performance	28,58	51,85	61,12	24,19	43,49	80,13	47,05	45,86	37,21
Upside Deliver Flexibility	63	71	39	32	13	63	68	24	46
Upside Make Flexibility	17	71	27	64	58	19	73	13	51
Upside Source Flexibility	18	39	53	29	38	12	29	27	56
Upside Supply Chain									
Flexibility (B)	118,0	161	126,3	120,8	126,6	118	154	84,28	145,2
Upside SC Flexibility (A)									
Flexibility Supply Chain									
Performance	58,09	37,61	54,16	56,77	54,02	58,09	40,95	74,15	45,16

Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela A4 Resultados gerados pelo Modelo: experimentos 27-35

Métricas	Experimentos Realizados								
	exp27	exp28	exp29	exp30	exp31	exp32	exp33	exp34	exp35
Accurate Documentation Delivery to Customer Commit Date	84	88	95	91	98	89	96	95	97
% Orders Delivered in Full Perfect Condition	97	95	87	85	93	97	92	85	95
Perfect Order Fulfillment	98	89	87	96	96	98	86	88	87
Reliability Supply Chain Performance	93,35	88,96	89,03	90,73	96,04	96,02	91,07	91,14	91,84
Assets Turns	64,21	30,48	30,99	44,05	84,92	84,74	46,66	47,22	52,62
Net Profit	1,21	0,68	1,38	0,21	1,46	2,52	0,89	2,47	1,81
Return Over Assets (ROA)	5,53	6,57	1,28	1,39	6,31	2,74	5,73	1,35	4,86
Inventory Days of Supply	12,16	11,81	8,01	4,34	13,57	12,83	11,54	10,93	12,69
Days Payable Outstanding	44	36	68	47	77	60	38	61	76
Days Sales Outstanding	65	48	41	43	56	43	63	35	68
Cash to Cash	53	69	68	38	46	59	47	62	52
Assets Supply Chain Performance	43,42	55,91	68,06	49,96	54,33	61,36	36,41	68,20	56,21
Delivery Cycle Time	65,05	38,88	18,03	25,07	50,22	39,88	65,39	29,07	47,07
Make Cycle Time	4	1	4	7	2	7	3	2	1
Source Cycle Time	1	5	1	5	2	4	2	2	4
Order Fulfillment Cycle Time	6	5	2	3	6	4	1	5	3
Responsiveness Performance	11,50	11,50	8,67	14,33	8,67	14,33	8,67	8,67	8,67
Finance and Planning Cost	50,00	56,63	66,67	26,84	61,15	33,33	70,89	72,48	66,67
Inventory Carrying Cost	0,86	1,67	1,32	0,93	1,44	0,90	1,66	1,46	0,94
IT Supply Chain Cost	5,55	3,04	2,90	3,69	3,66	4,45	5,32	4,64	2,88
Material Acquisition Cost	2,04	1,82	2,68	2,54	1,96	3,69	1,97	1,84	2,59
Order Management Costs	11,20	8,70	6,18	6,68	10,16	8,20	5,90	6,25	8,16
Total SCM Costs	12,42	17,16	10,37	15,83	11,61	10,14	16,31	10,34	15,58
COGS	30,84	30,65	26,55	29,58	28,35	28,29	30,89	26,59	29,90
Cost Supply Chain Performance	67,63	49,94	69,00	52,14	62,69	63,71	57,33	67,98	60,54
Upside Deliver Flexibility	36,22	47,45	46,34	51,89	50,00	44,10	43,79	47,91	44,09
Upside Make Flexibility	14	72	47	14	55	57	64	24	37
Upside Source Flexibility	38	19	65	42	30	49	56	55	32
Upside Supply Chain Flexibility (B)	77	70	41	45	19	60	42	43	73
Upside SC Flexibility (A)	131,6	144,3	138,2	131,9	120	158,3	147,8	132	126,6
Flexibility Supply Chain Performance	51,61	45,59	48,49	51,47	57,15	38,89	43,89	51,45	54,02

Fonte: Dados da Pesquisa.

A NEXO

SCORcard

SCOR[®] 8.0

Model Reference

Supply-Chain Council

Supply Chain Operations Reference Model SCOR[®] Version 8.0

© Supply-Chain Council, 2006. All rights reserved. The Supply-Chain Council has made every effort to assure the accuracy and usefulness of the information and metrics contained herein and is provided on an "AS IS" basis. The Supply-Chain Council makes no warranty, express or implied, of merchantability, fitness for a particular purpose, or accuracy. The Supply-Chain Council makes no representation as to the results obtained or obtainable and disclaims all liability for direct, indirect, special or consequential damage, including lost profits, lost business or the like, whether based in contract, tort (including negligence), product liability or otherwise.

®SCOR is a registered trademark in the United States and Canada

© Copyright 2006 Supply-Chain Council, Inc.¹

¹ Autorizado por Andres Eduardo von Simson - Supply-Chain Council - America Latina em 20/04/2010. e-mail: asimson@supply-chain.org

APPENDIX A - METRICS

Performance Attributes and Associated Level 1 Metrics

Performance Attribute	Performance Attribute Definition	Level 1 Metric
Supply Chain Reliability	The performance of the supply chain in delivering: the correct product, to the correct place, at the correct time, in the correct condition and packaging, in the correct quantity, with the correct documentation, to the correct customer.	Perfect Order Fulfillment
Supply Chain Responsiveness	The speed at which a supply chain provides products to the customer.	Order Fulfillment Cycle Time
Supply Chain Flexibility	The agility of a supply chain in responding to marketplace changes to gain or maintain competitive advantage.	Upside Supply Chain Flexibility
		Upside Supply Chain Adaptability
		Downside Supply Chain Adaptability
Supply Chain Costs	The costs associated with operating the supply chain	Supply Chain Management Cost
		Cost of Goods Sold
Supply Chain Asset Management	The effectiveness of an organization in managing assets to support demand satisfaction. This includes the management of all assets: fixed and working capital.	Cash-to-Cash Cycle Time
		Return on Supply Chain Fixed Assets
		Return on Working Capital

Performance Attributes and Level 1 Metrics

Level 1 Metrics are primary, high level measures that may cross multiple SCOR processes. Level 1 Metrics do not necessarily relate to a SCOR Level 1 process (PLAN, SOURCE, MAKE, DELIVER, RETURN).

Level 1 metrics	Performance Attributes				
	Customer-Facing			Internal-Facing	
	Reliability	Responsiveness	Flexibility	Costs	Assets
Perfect Order Fulfillment	X				
Order Fulfillment Cycle Time		X			
Upside Supply Chain Flexibility			X		
Upside Supply Chain Adaptability			X		
Downside Supply Chain Adaptability			X		
Supply Chain Management Cost				X	
Cost of Goods Sold				X	
Cash-to-Cash Cycle Time					X
Return on Supply Chain Fixed Assets					X
Return on Working Capital					X

Key to Template for Appendix A

Specification:
This template was used to develop the hierarchical structure between SCOR level 1, 2, and 3 metrics.
Metric Definition
Intended to provide clear, concise, benchmarkable, definitions of the metric.
Hierarquical Metric Structure
<p>These diagrams express the hierarchical structure of metrics from different levels by digraph. A causal link (arrow) from one metric A to another metric B means that metric A could affect metric B.</p> <p>For a level 1 metric, it needs to drill down to level 2 metrics.</p> <p>For a level 2 metric, it needs to drill down to level 3 metrics, and also, should roll up to level 1 metrics (dashed link).</p> <p>* The dashed line boxes represent optional metrics associated with the Level 3 processes.</p>
Qualitative Relationship Description
If the relationships between metrics cannot clearly quantitatively expressed by mathematical equations, qualitative description of the relationships is required.
Quantitative Relationship (optional, if calculable)
Lists the quantitative relationships between metrics by mathematical equations, if calculable.
Calculation
Provides an operable method to calculate the metric, typically a formula.
Data Collection
Illustrates how to collect data for metric calculation.
Discussion
Additional descriptions which are necessary.

Performance Attribute: Supply Chain Reliability¹											
Level 1 Metric: Perfect Order Fulfillment											
Metric Definition											
The percentage of orders meeting delivery performance with complete and accurate documentation and no delivery damage. Components include all items and quantities on-time using the customer's definition of on-time, and documentation – packing slips, bills of lading, invoices, etc.											
Hierarchical Metric Structure											
<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">Level 1</td> <td colspan="4" style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Perfect Order Fulfillment</div> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Level 2</td> <td style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">% of Orders Delivered in Full</div> </td> <td style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Delivery Performance to Customer Commit Date</div> </td> <td style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Documentation Accuracy</div> </td> <td style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Perfect Condition</div> </td> </tr> </table>	Level 1	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Perfect Order Fulfillment</div>				Level 2	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">% of Orders Delivered in Full</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Delivery Performance to Customer Commit Date</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Documentation Accuracy</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Perfect Condition</div>	
Level 1	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Perfect Order Fulfillment</div>										
Level 2	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">% of Orders Delivered in Full</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Delivery Performance to Customer Commit Date</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Documentation Accuracy</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Perfect Condition</div>							
Qualitative Relationship Description											
<ul style="list-style-type: none"> ▪ An order is considered perfect if the products ordered are the products provided and the quantities ordered match the quantities provided (% In Full); ▪ A delivery is considered perfect if the location, specified customer entity and delivery time ordered is met upon receipt (Delivery Performance to Customer Commit Date); ▪ Documentation supporting the order line is considered perfect if it is all accurate, complete, and on time (Accurate Documentation); ▪ The product condition is considered perfect if the product is delivered / faultlessly installed (as applicable) on specification, with the correct configuration, with no damage, customer ready, and is accepted by the customer (Perfect Condition). 											
Quantitative Relationship (optional, if calculable)											
Calculation											
$\frac{[\text{Total Perfect Orders}]}{[\text{Total Number of Orders}]} \times 100\%$											
<p>Note, an Order is Perfect if the individual line items making up that order are all perfect. The Perfect Order Fulfillment calculation is based on the performance of each Level 2 component of the order line to be calculated (product & quantity, date & time & Customer, documentation and condition). For an order line to be perfect, all of the individual components must be perfect. The calculation of line item perfect order line fulfillment is based on the Level 2 components:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Each component receives a score of 1 if it is judged to be perfect; • It receives a score of 0 if not perfect; <p>If the sum of the scores equal the number of components (in this case, 4) the order line is perfectly fulfilled.</p>											
Data Collection											
Data for the components that are used to drive the calculation of supply chain performance are primarily taken from Deliver and impact Deliver Enable process elements. These are primarily associated with the original commitment (Customer Order Processing – D1.2, D 2.2, D3.3) and the satisfaction of that commitment (Receipt and Installation (as appropriate) – D1.11, D1.13, D1.14, D1.15, D2.11, D2.13, D2.14, D2.15, D3.11, D3.13, D3.14, D3.15). In addition, the documents necessary for support of the supply chain process should be scored across the set of Deliver process elements. The Enable Deliver Process Element Assess Delivery Performance (ED.2) should be updated from metrics derived.											
Discussion											
<p>The performance of the supply chain is considered “perfect” if the original commitment made to a customer is met through the supply chain.</p> <p>An order is defined as a collection of one or more order lines representing a request to deliver specified quantities of goods or to render specific services. The order can further be defined as a request (with a specific identifier as a reference) to deliver specified items or to render specific services with specific</p>											

¹ Este documento destaca apenas as métricas utilizadas no modelo proposto nesta Tese. Para maiores detalhes consultar o site do *Supply Chain Council*.

prices, dates, and quantities. Commitments are made to a customer at the order line level, where an order line is defined as a line representing a commitment on a sales order. An order line always references a product or service.

For an order to be considered perfect the following standards must be met:

- Delivered complete; all items on the order line are delivered in the quantities specified
- Delivered on time to the initial commitment date, using the customer's definition of on-time delivery
- Documentation supporting the order including packing slips, bills of lading, invoices, quality certifications, etc., is complete and accurate
- Faultlessly installed (as applicable), correct configuration, customer-ready and accepted, no damage, on specification

Orders canceled by the customer are excluded from the metric. Order changes initiated by the customer and agreed to by the supplier supersede initial commitments and form a new comparative basis for the metric.

Often for date and quantity issues (and occasionally product), a range rather than a strict value is used.

This is acknowledged as a standard practice; in those situations the standard measured is considered to be met perfectly if the range specified is satisfied.

The term "customer-ready" for the perfect condition standard may imply a subjective component based on the customer's satisfaction. Although condition may not be as rigorously measured as time or quantity it should be considered as a component if available, especially since this attribute measures performance of the supply chain which is, of course, ultimately measured by its customers.

It should also be noted that a corresponding evaluation of suppliers' performances could be determined by extending these standards to each supplier's ability to source products.

Performance Attribute: Supply Chain Reliability	
Level 2 Metric: % of Orders In Full	
Metric Definition	
Percentage of orders which all of the items are received by customer in the quantities committed	
Hierarchical Metric Structure	
Level 1	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Perfect Order Fulfillment</div>
Level 2	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">% of Orders Delivered in Full</div>
Level 3	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content;">Delivery Item Accuracy</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content;">Delivery Quantity Accuracy</div> </div>
Qualitative Relationship Description	
An order is considered delivered “in full” if:	
<ul style="list-style-type: none"> • All items ordered are the items actually provided, and no extra items are provided • All quantities received by the customer match the order quantities (within mutually agreed tolerances) 	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
Calculation	
$\frac{[\text{Total number of orders delivered in full}]}{[\text{Total number of orders delivered}]} \times 100\%$	
Data Collection	
Data for the components that are used to drive the calculation of % In Full are primarily associated with the original order processing step of ‘Reserve inventory and Determine Delivery Date’ (D1.3, D2.3 & D3.3), inventory availability (D1, M2.1, M3.1) including inventory location accuracy, (ED.4), and the satisfaction of that commitment through the shipment and customer receiving processes (D 1.12, D1.13, D2.12, D.2.13, D3.12, D3.13).	
Discussion	
<p>Order quantities are based on item / quantity original commitments agreed to by the customer. Orders canceled by the customer are excluded from the metric. Order changes initiated by the customer and agreed to by the supplier supersede original commitments and form a new comparative basis for the metric.</p> <p>This metric has no “timing” element, such that orders deliberately split by the supplier should still be considered “in full” so long as all metric criteria are met. In some cases, such as for supplying bulk materials, committed quantities refer to a range that is acceptable to the customer rather than a strict value.</p> <p>Several SCOR diagnostic metrics exist that can be used to focus “% In Full” improvement efforts. Some of these include:</p> <ul style="list-style-type: none"> • % Orders Scheduled to Requested Quantity • Schedule Achievement • Yield variability • Planned Shipment Fill Rate (not yet defined) • % Stock Outs (not yet defined) • Inventory Cycle Count Accuracy (not yet defined) <p>Orders may not be filled completely to the customer’s original request quantity due to the inability to schedule to the initial request. Breakdown may also occur from the inventory availability (including stockouts for MTS and schedule achievement for MTO and ETO) and inventory location accuracy. Lastly, a deviation from the shipment plan may lead to inability to fulfill an order completely.</p>	

Performance Attribute: Supply Chain Reliability	
Level 2 Metric: Delivery Performance to Customer Commit Date	
Metric Definition	
The percentage of orders that are fulfilled on the customer's originally scheduled or committed date	
Hierarquical Metric Structure	
Level 1	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Perfect Order Fulfillment</div>
Level 2	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Delivery Performance to Customer Commit Date</div>
Level 3	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 40%; text-align: center;">Customer Commit Date Achievement Time Customer Receiving</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 40%; text-align: center;">Delivery Location Accuracy</div> </div>
Qualitative Relationship Description	
An order is considered delivered to the original Customer commitment date if:	
<ul style="list-style-type: none"> • The order is received on time as defined by the customer • The delivery is made to the correct location and Customer entity 	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
Calculation	
$\frac{[\text{Total number of orders delivered on the original commitment date}]}{[\text{Total number of orders delivered}]} \times 100\%$	
Data Collection	
Data for the components that are used to drive the calculation of Delivery Performance to Customer Commit Date are primarily associated with the original order processing step of 'Reserve inventory and Determine Delivery date' (D1.3, D2.3 & D3.3), and the satisfaction of that commitment through the shipment and customer receiving processes (D 1.12, D1.13, D2.12, D2.13, D3.12, D3.13).	
Discussion	
<p>Order delivery performance from a timing perspective is based on original commitments agreed to by the customer. The acceptable window for delivering on time should be defined in the customer's service level agreement. Orders canceled by the customer are excluded from the metric. Order changes impacting the timing of a delivery that are initiated by the customer and agreed to by the supplier supersede original commitments and form a new comparative basis for the metric. The original commitment date can refer to a range, rather than a strict date and time, that is acceptable to the customer (e.g. advanced shipments). This metric has no "In Full" element, such that partial deliveries can still be considered as meeting the Customer Commit Date so long as all metric criteria are met. Measuring the frequency of accepting the customer's original request date, vs. commit date, can be an important measure of customer satisfaction.</p> <p>Several SCOR diagnostic metrics exist that can be used to focus delivery performance improvement efforts. Some of these include:</p> <ul style="list-style-type: none"> • % Orders Scheduled to Request • % Orders Shipped on time (not yet defined) • Carrier Performance Reliability (not yet defined) <p>Orders may not be delivered to the Customer Commit Date due to breakdowns in the order fulfillment and shipment process (e.g. Transportation availability). Orders may also be delivered late due to carrier delivery performance / issues.</p>	

Performance Attribute: Supply Chain Reliability							
Level 2 Metric: Perfect Condition							
Metric Definition							
Percentage of orders delivered in an undamaged state that meet specification, have the correct configuration, are faultlessly installed (as applicable), and accepted by the customer							
Hierarchical Metric Structure							
<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">Level 1</td> <td style="text-align: center;">Perfect Order Fulfillment</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Level 2</td> <td style="text-align: center;">Perfect Condition</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Level 3</td> <td> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Orders Delivered Damage Free Conformance</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Warrant & Returns</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Orders Delivered Defect Free Conformance</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">% Orders Received Damage Free</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">% Faultless Installations</div> </div> </td> </tr> </table>	Level 1	Perfect Order Fulfillment	Level 2	Perfect Condition	Level 3	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Orders Delivered Damage Free Conformance</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Warrant & Returns</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Orders Delivered Defect Free Conformance</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">% Orders Received Damage Free</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">% Faultless Installations</div> </div>	
Level 1	Perfect Order Fulfillment						
Level 2	Perfect Condition						
Level 3	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Orders Delivered Damage Free Conformance</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Warrant & Returns</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Orders Delivered Defect Free Conformance</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">% Orders Received Damage Free</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">% Faultless Installations</div> </div>						
Qualitative Relationship Description							
An order is considered to be delivered in perfect condition if all items meet the following criteria:							
<ul style="list-style-type: none"> • Undamaged • Meet specification and has correct configuration (as applicable) • Faultlessly installed (as applicable) and accepted by the customer • Not returned for repair or replacement (within the warranty period) 							
Quantitative Relationship (optional, if calculable)							
Calculation							
[Number of orders delivered in Perfect Condition] / [Number of orders delivered] x 100%							
Data Collection							
Data for the components that are used to drive the calculation of “Perfect Condition” are primarily associated with the receipt, installation (as applicable) and satisfaction of the order commitment (D1.13, D1.14, D2.13, D2.14, D3.13, D3.14). The Enable Deliver Process Element - Assess Delivery Performance (ED.2) should be updated to reflect this metric and its components. This data is typically available from a complaints, claims, or warranty/returns database.							
Discussion							
<p>This metric, calculated at the order level, assesses the quality of products delivered through the supply chain from the customer’s perspective. Justified and non-justified product quality issues, claims and returns within the warranty period are included and count against this metric. Improving this metric lowers the supply chain cost associated with claims and returns.</p> <p>Several SCOR diagnostic metrics exist that can be used to focus Perfect Condition improvement efforts. Some of these include:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cost of Noncompliance • Damage and Shrinkage • Scrap Expense • Warranty Costs • Yield Variability 							

Performance Attribute: Supply Chain Reliability	
Level 2 Metric: Accurate Documentation	
Metric Definition	
Percentage of orders with accurate documentation supporting the order, including packing slips, bills of lading, invoices, etc.	
Hierarchical Metric Structure	
Level 1	Perfect Order Fulfillment
Level 2	Accurate Documentation
Level 3	Shipping Documentation Accuracy Payment Documentation Accuracy Compliance Documentation Accuracy Other Required Documentation Accuracy
Qualitative Relationship Description	
An order is considered to have accurate documentation when the following are accepted by the customer:	
<ul style="list-style-type: none"> • Shipping documentation • Payment documentation • Compliance documentation • Other required documentation 	
All documentation must be complete, correct, and readily available when and how expected by the customer, Government and other supply chain regulatory entities.	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
Calculation	
$\frac{[\text{Total number of orders delivered with accurate documentation}]}{[\text{Total number of orders delivered}]} \times 100\%$	
Document supporting the order includes:	
<ul style="list-style-type: none"> • Shipping documentation: <ul style="list-style-type: none"> o Packing slips (Customers) o Bill of lading (Carriers) o Government or Customs documentation / forms • Payment Documentation: <ul style="list-style-type: none"> o Invoice o Contractual outline agreement • Compliance documentation <ul style="list-style-type: none"> o Material Safety Data Sheets • Other required documentation <ul style="list-style-type: none"> o Quality certification 	
Data Collection	
Data for the components that are used to drive the calculation of Accurate Documentation are primarily associated with the Deliver processing step of 'Load Product & Generate Shipping Documentation' (D1.11, D2.11, D3.11), and 'Invoice' (D1.15, D2.15, D3.15). The data collection step is part of Assess Delivery Performance (ED2) and Manage Deliver Information (ED3)	
Discussion	
This metric is calculated at the order level. The timeliness and quality of the documentation is measured	

from the perspective of the customer, Government, and other regulatory entities. Documentation may be late or incomplete due to the inability to prepare / process the correct documentation on time. Inaccurate or late shipping documentation may prevent the product to be loaded or shipped, increase the customs delay, and delay the customer's acceptance of the order. Inaccurate or late invoices may also lead to the inability to fulfill the customer request.

The definition encompasses On time and Accurate documentation. However, on-time documentation implies a scheduled ship date and scheduled invoice date.

Accurate documentation metrics are similar to what exists for SOURCE process metrics

Possible diagnostic metrics that can be used to focus Accurate Documentation improvement efforts include:

- % orders documentation (shipping and invoice) processed on time
- % faultless invoices

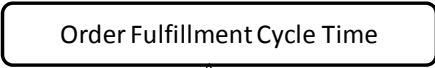
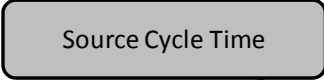
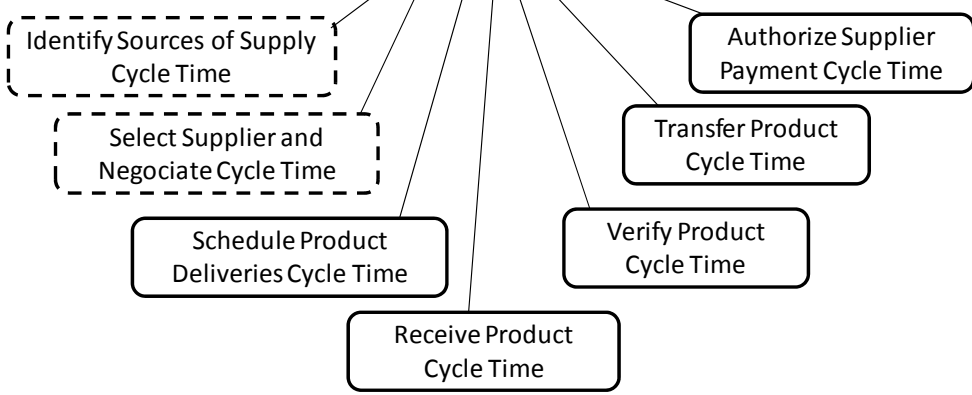
Performance Attribute: Supply Chain Responsiveness								
Level 1 Metric: Order Fulfillment Cycle Time								
Metric Definition								
The average actual cycle time consistently achieved to fulfill customer orders. For each individual order, this cycle time starts from the order receipt and ends with customer acceptance of the order.								
Hierarchical Metric Structure								
<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">Level 1</td> <td style="text-align: center;">Order Fulfillment Cycle Time</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Level 2</td> <td> <table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">Source Cycle Time</td> <td style="text-align: center;">Make Cycle Time</td> <td style="text-align: center;">Deliver Cycle Time</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	Level 1	Order Fulfillment Cycle Time	Level 2	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">Source Cycle Time</td> <td style="text-align: center;">Make Cycle Time</td> <td style="text-align: center;">Deliver Cycle Time</td> </tr> </table>	Source Cycle Time	Make Cycle Time	Deliver Cycle Time	
Level 1	Order Fulfillment Cycle Time							
Level 2	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">Source Cycle Time</td> <td style="text-align: center;">Make Cycle Time</td> <td style="text-align: center;">Deliver Cycle Time</td> </tr> </table>	Source Cycle Time	Make Cycle Time	Deliver Cycle Time				
Source Cycle Time	Make Cycle Time	Deliver Cycle Time						
Qualitative Relationship Description								
Quantitative Relationship (optional, if calculable)								
Order Fulfillment Cycle Time \approx Source Cycle Time + Make Cycle Time + Deliver Cycle Time								
Calculation								
[Sum Actual Cycle Times For All Orders Delivered] / [Total Number Of Orders Delivered]								
Data Collection								
Data for the components that are used to drive the calculation of responsiveness are taken from the Source, Make and Deliver process elements.								
Discussion								
<p>The order fulfillment cycle time as captured from the moment a customer places the order to the moment the order is fulfilled is considered to be a 'gross' cycle time. It represents all the time passed between these two events, regardless of whether this represented cycle time for the activities performed by the organisation to fulfill the order (both value-add and non-value-add) or dwell time because the order was placed well in advance by the customer. As such, this gross order fulfillment cycle time does not truly reflect the responsiveness of the organisation. Take for example an organisation that needs six days to fulfill a certain customer order. If the customer places the order one day in advance, the gross order fulfillment cycle time will be seven days. If the customer places the order 3 months ahead (pre-ordering), the gross fulfillment cycle time will be 96 days. However, the fact that the customer pre-orders does not reduce the responsiveness of the organisation. On the contrary, one can argue that it may increase the ability of the organisation to meet that order as it allows the organisation to plan ahead and fulfill the order in a more optimal way.</p> <p>The responsiveness of the organisation is determined by the cumulative cycle time for all activities that are required to fulfill the order, but should exclude any dwell time where no activity takes place.</p> <p>Therefore the definition of Order Fulfillment Cycle Time consists of a 'gross' component and a 'net' component named Order Fulfillment Process Time, according to the following formula: Order Fulfillment Cycle Time = Order Fulfillment Process Time + Order Fulfillment Dwell Time. Note that dwell time will equal 0 for companies who do not utilize this metric, so Order Fulfillment Cycle Time will equal Order Fulfillment Process Time.</p> <p>Order fulfillment dwell time is defined as 'any lead time during the order fulfillment process where no activity takes place, which is imposed by customer requirements'. Note that this dwell time is different from 'idle time' or 'non-value-add lead time', which is caused by inefficiencies in the organization's processes and therefore ultimately under responsibility of the organisation. This kind of idle time should not be deducted from the gross order fulfillment cycle time.</p> <p>Dwell time is mostly associated with the ordering process, where a customer may place an order in advance to reserve capacity/materials etc, but where the actual steps in the order fulfillment process take place later Order Fulfillment Cycle Time, Source Cycle Time, Make Cycle Time, Deliver Cycle Time on. It is also common in the delivery process where the organisation may be in principle ready to ship the product/service, but is requested by the customer to wait (for example to follow a certain shipment</p>								

schedule).

Note that for those organisations where dwell time does not play a role, the dwell time can be taken as zero days which results in the net order fulfillment cycle time to be equal to the gross order fulfillment cycle time.

For benchmarking purposes it is recommended to use the Order Fulfillment Process Time, as this is the cycle time reflecting most accurately the responsiveness of the organisation. It will also ensure that those organisations in industries where dwell time is a factor can be benchmarked against organisations in industries where dwell time does not play a role.

The concept of dwell time applies not only to the level 1 metric, but also to all lower level metrics. This means that each lower level metric can have a gross component, consisting of the net component and dwell time. Because the lower level metrics are hierarchical (the cumulative sum of cycle times at level 2 or 3 should be equal to the cycle time at level 1), the cumulative sum of dwell times at level 2 or 3 should total up to the dwell time at level 1.

Performance Attribute: Supply Chain Responsiveness	
Level 2 Metric: Source Cycle Time	Process Numbers: S1, S2, S3
Metric Definition	
The average time associated with Source Processes.	
Hierarquical Metric Structure	
Level 1	
Level 2	
Level 3	
* The dashed line boxes represent optional metrics associate with the level 3 process (The same hereinafter)	
Qualitative Relationship Description	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
$\text{Source Cycle Time} \approx (\text{Identify Sources of Supply Cycle Time} + \text{Select Supplier and Negotiate Cycle Time}) + \text{Schedule Product Deliveries Cycle Time} + \text{Receive Product Cycle Time} + \text{Verify Product Cycle Time} + \text{Transfer Product Cycle Time} + \text{Authorize Supplier Payment Cycle Time}$	
Calculation	
Data Collection	
Discussion	
<p>Metrics in Level 3 that are used to drive the calculation of ‘Source Cycle time’ are taken from the Source process elements, depending on the possible strategies deployed by companies to fulfill orders such as make-to-stock, make-to-order or engineer-to-order. When make-to-stock or make-to-order strategy is deployed, the dashed optional metrics ‘Identify Sources of Supply Cycle Time’ and ‘Select Supplier and Negotiate Cycle Time’ are not used in the calculation.</p>	

Performance Attribute: Supply Chain Responsiveness	
Level 2 Metric: Make Cycle Time	Process Numbers: M1, M2, M3
Metric Definition	
The average time associated with Make Processes.	
Hierarquical Metric Structure	
Level 1	
Level 2	
Level 3	
Qualitative Relationship Description	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
$\text{Make Cycle Time} \approx (\text{Finalize Production Engineering Cycle Time}) + \text{Schedule Production Activities Cycle Time} + \text{Issue Material/Product Cycle Time} + \text{Produce and Test Cycle Time} + \text{Package Cycle Time} + \text{Stage Finished Product Cycle Time} + \text{Release Finished Product To Deliver Cycle Time}$	
Calculation	
Data Collection	
Discussion	
<p>Metrics in Level 3 that are used to drive the calculation of ‘Make Cycle time’ are taken from the Make process elements, depending on the possible strategies deployed by companies to fulfill orders such as make-to-stock, make-to-order or engineer-to-order. When make-to-stock or make-to-order strategy is deployed, the dashed optional metric ‘Finalize Production Engineering Cycle Time’ is not used in the calculation. And also, the data for the calculation of Level 3 metrics may also depends on different make strategies, e.g., when make-to-stock strategy is deployed, the metric ‘Issue Material/Product Cycle Time’ means the time for issuing material; while when make-to-order or engineer-to-order is deployed, it will be a measure for calculating the cycle time for issuing sourced or in-process product.</p> <p>In Make Cycle Time, there may be overlaps in the processes, so the “least amount of time” should be applied rather than the total sum.</p>	

Performance Attribute: Supply Chain Responsiveness	
Level 2 Metric: Delivery Cycle Time	Process Numbers: D1, D2, D3
Metric Definition	
The average time associated with Deliver Processes.	
Hierarquical Metric Structure	
Level 1	Order Fulfillment Cycle Time
Level 2	Deivery Cycle Time
Level 3	
Qualitative Relationship Description	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
$\text{Delivery Cycle Time} \approx \text{MAX} \{ [\text{Receive, Configure, Enter and Validate Order Cycle Time} + \text{Reserve Resources \& Determine Delivery Date Cycle Time} + (\text{Consolidate Orders Cycle Time} + \text{Schedule Installation Cycle Time}) + \text{Build Loads Cycle Time} + \text{Route Shipments Cycle Time} + \text{Select Carriers and Rate Shipments Cycle Time}], \text{Receive Product from Make/Source Cycle Time} \} + \text{Pick Product Cycle Time} + \text{Pack Product Cycle Time} + \text{Load Vehicle \& Generate Shipping Documentation Cycle Time} + \text{Ship Product Cycle Time} + (\text{Receive \& Verify Product Cycle Time}) + (\text{Install Product Cycle Time})$	
*The MAX function above is to indicate that Dx.3-Dx.7 may be in parallel with Dx.8 and whichever takes longer should determine the cycle time.	
Calculation	
Data Collection	
Discussion	
<p>Metrics in Level 3 that are used to drive the calculation of ‘Deliver Cycle time’ are taken from the Deliver process elements, depending on the possible strategies deployed by companies to fulfill orders such as make-to-stock, make-to-order or engineer-to-order. When make-to-stock or make-to-order strategy is deployed, the optional metric ‘Schedule Installation Cycle Time’ is not used in the calculation, otherwise the metric ‘Consolidate Orders Cycle Time’ will not be used.</p> <p>And also, the data for the calculation of Level 3 metrics may also depends on different make strategies, e.g., when make-to-stock strategy is deployed, the metric ‘Receive, Configure, Enter and Validate Order Cycle Time’ may not include the Configure process.</p>	

Performance Attribute: Supply Chain Flexibility	
Level 1 Metric: Upside Supply Chain Flexibility	
Metric Definition	
The number of days required to achieve an unplanned sustainable 20% increase in quantities delivered. Note - 20% is a number provided for benchmarking purposes. For some industries and some organizations 20% may be in some cases unobtainable or in others too conservative. Note - component metrics (Upside Source Flexibility, Upside Make Flexibility, etc) can be improved in parallel and as a result, this calculation requires the result to be the least amount of time to achieve the desired result).	
Hierarchical Metric Structure	
Level 1	<pre> graph BT subgraph Level1 [Level 1] A[Upside Supply Chain Flexibility] end subgraph Level2 [Level 2] B[Upside Source Flexibility] C[Upside Make Flexibility] D[Upside Deliver Flexibility] E[Upside Source Return Flexibility] F[Upside Deliver Return Flexibility] end B --> A C --> A D --> A E --> A F --> A </pre>
Level 2	
Qualitative Relationship Description	
Calculation: Total elapsed days between the occurrence of the unplanned event and the achievement of sustained plan, source, make, deliver and return performance. Note: Elapsed days are not necessarily the sum of days required for all activities as some may occur simultaneously. Upside Source Flexibility: The number of days required to achieve an unplanned sustainable 20% increase in quantity of raw materials. Upside Make Flexibility: The number of days required to achieve an unplanned sustainable 20% increase in production with the assumption of no raw material constraints. Upside Deliver Flexibility: The number of days required to achieve an unplanned sustainable 20% increase in quantity delivered with the assumption of no other constraints. Upside Source Return Flexibility: The number of days required to achieve an unplanned sustainable 20% increase in the return of raw materials to suppliers. Upside Deliver Return Flexibility: The number of days required to achieve an unplanned sustainable 20% increase in the return of finished goods from customers.	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
Calculation	
The calculation of supply chain flexibility requires the calculation to be the least time required to achieve the unplanned sustainable increase when considering Source, Make, and Deliver components. For example, if it requires 90 days achieve a 20% increase in raw material volume, 60 days for adding capital to support production, and no time to increase the ability to deliver, upside supply chain flexibility would be 90 days (if production changes can run concurrently with material acquisition activities) or as much as 150 days if production changes and material acquisition changes must run sequentially.	
Data Collection	
Data for the components that are used to drive the calculation of supply chain flexibility are taken from the actual planning activities incurred in devising the actions to be taken and the execution activities themselves. Neither the complete set of activities nor any given subset of those activities can be identified except in either contingency plans (in which case they are hypothetical), special analytical simulations conducted for the purpose of predicting total elapsed time, or after the fact (when they have actually occurred and are unlikely to reoccur in the same combination). Flexibility measures are assumption based or based on historic events. Some elements can be measured and taken as a basis for further considerations, e.g.	
Discussion	
Certainly enterprises deal with change all the time. In most cases, these changes are minor deviations from the “norm” or fleeting “blips” in the marketplace. Also, certainly, most supply chains move through these changes almost effortlessly and, in this regard, demonstrate equivalent flexibility. In many extreme cases, however, it is possible that a particular supply chain has reached a condition of relative rigidity (say, at capacity or rigid, constraining agreements with partners) and a seemingly minor increase in production requirement can consume much time and effort as the supply chain struggles to restore its capability to perform.	

It is evidenced that enterprises engaged in appropriate business risk and competitive contingency planning activities will usually be in a better position to optimize overall supply chain performance and these activities are presented as best practices later in this document.

When change is known in advance (such as Wal-Mart requiring RFID devices on all delivered cases, or a major sourcing change is planned to occur), and is incorporated in the enterprise's operating plan, then the time incurred to undertake the adaptation isn't necessarily a reflection of the supply chain's flexibility. While flexibility is still addressed, it is frequently clouded by other considerations in the operating plan. Unplanned change is the primary consideration in measuring the supply chain's flexibility.

Performance Attribute: Upside Supply Chain Flexibility	
Level 2 Metric: Upside Source Flexibility	
Metric Definition	
The number of days required to achieve an unplanned sustainable 20% increase in quantity of raw materials. Note: This is a planning activity normally considering constraints to increase delivery that results in an estimate. Possible constraint factors are included in this section.	
Hierarchical Metric Structure	
Level 1	Upside Supply Chain Flexibility
Level 2	Upside Source Flexibility
Constraints Factors	
Qualitative Relationship Description	
Least time to pursue all necessary activities.	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
Calculation	
Data Collection	
Discussion	
Source: Input	
Current elements needed to fully understand future requirements, to establish 20% gap, based on the question “How long will it take for the company to sustain a 20% increase in quantities sourced?”. These elements are mainly output metrics from other attributes . . . responsiveness, reliability, cost, asset management.	
<u>Demand</u> <ul style="list-style-type: none"> o Current source volumes <ul style="list-style-type: none"> Amount of each item purchased 	
<u>Staffing</u> <ul style="list-style-type: none"> o Staff needed to meet current demand <ul style="list-style-type: none"> Productivity-purchase orders per FTE <i>Needed, but may be underutilized</i> 	
<u>Capital</u> <ul style="list-style-type: none"> o Current capital requirements <ul style="list-style-type: none"> Credit line 	

Cash on hand
Accounting procedures

Materials

- o All else equal in make, deliver, return, current inventory on hand (raw material and purchased finished goods), including safety stock required to sustain current order fulfillment.
Assuming optimized inventory practices (*no excess inventory*)
- o Current sourcing/supplier constraints
Current contract terms.
Nature of items; commodity/sole source.

Cycle Time

- o Current procurement cycle time
Time to place a purchase order
Supplier lead time

Source: Resource Availability Assessment & Ramp-up/Lead Time

Elements needed to establish 20% delta in resources and what is required to meet the 20% delta based on the question "How long will it take for the company to sustain a 20% increase in quantities sourced?"

Demand:

- o Additional source volume

Staffing

- o Staff availability in procurement (*underutilized FTE's*)
- o Amount of time needed to recruit/hire/train additional staff to fill gap between underutilized FTE's and staff needed to sustain 20% increase in quantities delivered

Capital

- o Current capital availability
Credit line
Cash on hand
Accounting procedures
- o Amount of time needed to obtain capital to fill gap between current capital availability and capital needed to sustain 20% increase in quantities ordered

Materials

- o Sourcing Constraints
Time required in negotiating new source/volume contracts/terms
Time required to find/obtain additional sources
- o All else equal in make, deliver, return, amount of time needed to obtain, deliver and phase in inventory (raw material and purchased finished goods) for order fulfillment, including safety stock to sustain 20% increase in quantities sourced.

Cycle Time

- o Amount of time needed to reach and sustain current procurement cycle time
Time to place a purchase order
Supplier lead time

Performance Attribute: Upside Supply Chain Flexibility Level 2 Metric: Upside Make Flexibility	
Metric Definition The number of days required to achieve an unplanned sustainable 20% increase in production with the assumption of no raw material constraints. Note: This is a planning activity normally considering constraints to increase delivery that results in an estimate.	
Hierarchical Metric Structure	
Level 1 Level 2 Constraints Factors	<p>The diagram illustrates the hierarchical structure of the metric. At Level 1 is 'Upside Supply Chain Flexibility'. At Level 2 is 'Upside Make Flexibility', which is directly influenced by 'Upside Supply Chain Flexibility'. At Level 3, under 'Constraints Factors', are numerous sub-factors: Current make volume, Productivity units/orders produced per FTE, Internal and External manufacturing equipment capacity needed for current make volume, Internal and External facilities, storage capacity needed for current make volume, Current capital requirements, Current inventory on hand (WIP, FG), Current manufacturing order cycle time, Time to reach and sustain current manufacturing order cycle time, Time needed to increase inventory (WIP, FG) for additional order fulfillment, Time needed to obtain supplemental outsourced or leased resources or facilities, Additional make volumes, Direct labor availability, Percent of labor used in manufacturing, not used in direct activity, Time needed to recruit/hire/train additional labor, Current internal equipment capacity utilization, Current internal facility/storage capacity utilization, Capital availability, Time needed to obtain additional capital, Time needed to obtain additional equipment, Time needed to obtain additional internal space, and Supplemental outsource/leased availability.</p>
Qualitative Relationship Description Least time to pursue all necessary activities.	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
Calculation	
Data Collection	
Discussion Make: Input Current elements needed to fully understand future requirements, to establish 20% gap, based on the question "How long will it take for the company to sustain a 20% increase in quantities produced?". These elements are mainly output metrics from other attributes . . . responsiveness, reliability, cost, asset management.	
<ul style="list-style-type: none"> <u>Demand</u> <ul style="list-style-type: none"> o Current make volumes Amount of each item manufactured <u>Labor</u> <ul style="list-style-type: none"> o Labor needed to meet current demand Productivity-units/orders per FTE <i>Needed, but may be underutilized</i> <u>Capital/Assets</u> <ul style="list-style-type: none"> o Internal and External (outsourced) capacity needed for current demand throughput Facilities, space Manufacturing equipment, materials handling and packaging equipment, etc. 	

Needed, but may be underutilized

- o Current capital requirements
 - Credit line
 - Cash on hand
 - Accounting procedures
 - Finance Procedures (outsource vs. in-source, make vs. buy, lease vs. purchase)

Materials

- o All else equal in source, deliver and return, current inventory on hand (WIP and finished goods), including safety stock required to sustain current order fulfillment.
Assuming optimized inventory practices (*no excess inventory*)

Cycle Time

- o Current manufacturing cycle time (all else equal including procurement order cycle time and supplier lead time)

Make: Resource Availability Assessment & Ramp-up/Lead Time

Elements needed to establish 20% delta in resources and what is required to meet the 20% delta based on the question "How long will it take for the company to sustain a 20% increase in quantities produced?"

Demand:

- o Additional make volume

Labor

- o Direct labor availability and percent of labor used in manufacturing, not used in direct activity (*underutilized FTE's*)
- o Amount of time needed to recruit/hire/train additional labor to fill gap between underutilized FTE's and labor needed to sustain 20% increase in quantities manufactured

Capital/Assets

- o Current Internal Capacity utilization facilities, space Manufacturing equipment, materials handling and packaging equipment, etc.
- o Current capital availability
 - Credit line
 - Cash on hand
 - Accounting procedures
 - Finance Procedures (outsource vs. in-source, lease vs. purchase)
- o Amount of time needed to obtain capital to fill gap between underutilized asset capacity and assets needed to sustain 20% increase in quantities delivered
- o Amount of time needed to obtain assets/capacity to fill gap between underutilized asset capacity and assets needed to sustain 20% increase in quantities delivered
 - Facilities, space
 - Manufacturing equipment, materials handling and packaging equipment, etc.

Outsourcing Alternatives to capital

- o Supplemental Outsource/lease availability
 - Facilities, lease building, etc.
 - Lease manufacturing equipment, materials handling and packaging equipment, etc.
 - Co-packers
- o Amount of time needed to obtain supplemental outsourced or leased resources or facilities to sustain 20% increase in quantities made

Materials

- o All else equal in source, deliver and return, amount of time needed to receive and phase in raw material inventory for manufacturing and make WIP and FG inventory, including safety stock to sustain 20% increase in quantities manufactured)

Cycle Time

- o Amount of time needed to reach and sustain current manufacturing cycle time (all else equal including procurement order cycle time and supplier lead time)

Performance Attribute: Upside Supply Chain Flexibility							
Level 2 Metric: Upside Deliver Flexibility							
Metric Definition							
The number of days required to achieve an unplanned sustainable 20% increase in quantity delivered with the assumption of no other constraints.							
Note: This is a planning activity normally considering constraints to increase delivery that results in an estimate.							
Hierarchical Metric Structure							
<table border="1"> <tr> <td style="width: 50px;">Level 1</td> <td style="text-align: center;">Upside Supply Chain Flexibility</td> </tr> <tr> <td>Level 2</td> <td style="text-align: center;">Upside Deliver Flexibility</td> </tr> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Constraints Factors</td> <td> </td> </tr> </table>	Level 1	Upside Supply Chain Flexibility	Level 2	Upside Deliver Flexibility	Constraints Factors		
Level 1	Upside Supply Chain Flexibility						
Level 2	Upside Deliver Flexibility						
Constraints Factors							
Qualitative Relationship Description							
Least time to pursue all necessary activities.							
Quantitative Relationship (optional, if calculable)							
Calculation							
Data Collection							
Discussion							
Deliver: Input							
Current elements needed to fully understand future requirements, to establish 20% gap, based on the question “How long will it take for the company to sustain a 20% increase in quantities delivered?”. These elements are mainly output metrics from other attributes . . . responsiveness, reliability, cost, asset management.							
<ul style="list-style-type: none"> <u>Demand</u> <ul style="list-style-type: none"> o Current delivery volume <ul style="list-style-type: none"> Number of orders shipped Labor o Labor needed to meet current demand <ul style="list-style-type: none"> Productivity-orders per FTE <i>Needed, but may be underutilized</i> <u>Capital/Assets</u> <ul style="list-style-type: none"> o Internal and External (3PL) capacity needed for current demand throughput <ul style="list-style-type: none"> Facilities, space 							

Fleet equipment, outside carrier loads, materials handling equipment, etc.
Needed, but may be underutilized

- o Current capital requirements
 - Credit line
 - Cash on hand
 - Accounting procedures
 - Finance Procedures (outsource vs. in-source, make vs. buy, lease vs. purchase)

Materials

- o All else equal in source, make, return, current finished goods inventory on hand (including safety stock required to sustain current order fulfillment)
- o Assuming optimized inventory practices (*no excess inventory*)

Cycle Time

- o Current logistics order cycle time (all else equal including procurement order cycle time, supplier lead time, manufacturing cycle time, etc.)
 - Customer order processing cycle time (logistics only)
 - Dock-to-stock cycle time
 - Pick-to-ship cycle time
 - Transit time

Deliver: Resource Availability Assessment & Ramp-up/Lead Time

Elements needed to establish 20% delta in resources and what is required to meet the 20% delta based on the question “How long will it take for the company to sustain a 20% increase in quantities delivered?”

Demand:

- o Additional delivery volume

Labor

- o Direct labor availability and percent of labor used in logistics, not used in direct activity (*underutilized FTE's*)
- o Amount of time needed to recruit/hire/train additional labor to fill gap between underutilized FTE's and labor needed to sustain 20% increase in quantities delivered

Capital/Assets

- o Current Internal Capacity utilization
 - Facilities, space
 - Fleet equipment, materials handling equipment, etc.
- o Current capital availability
 - Credit line
 - Cash on hand
 - Accounting procedures
 - Finance Procedures (outsource vs. in-source, lease vs. purchase)
- o Amount of time needed to obtain capital to fill gap between underutilized asset capacity and assets needed to sustain 20% increase in quantities delivered
- o Amount of time needed to obtain assets/capacity to fill gap between underutilized asset capacity and assets needed to sustain 20% increase in quantities delivered
 - Facilities, space
 - Fleet equipment, materials handling equipment, etc.

Outsourcing Alternatives to capital

- o Supplemental Outsource/lease availability
 - 3PL facilities, lease building, etc.
 - Full service lease fleet, materials handling, etc. equipment
 - Outside carriers
- o Amount of time needed to obtain supplemental outsourced or leased resources or facilities to sustain 20% increase in quantities delivered

Materials

- o All else equal in source, make, return, amount of time needed to increase finished inventory for order fulfillment (time to receive/stock inventory, including safety stock to sustain 20% increase in quantities delivered)

Cycle Time

- o Amount of time needed to reach and sustain current logistics order cycle time (all else equal including procurement order cycle time, supplier lead time, manufacturing cycle time, etc.)
 - Customer order processing cycle time (logistics only)
 - Dock-to-stock cycle time
 - Pick-to-ship cycle time

Transit time

Performance Attribute: Supply Chain Costs	
Level 1 Metric: Total Supply Chain Management Cost	
Metric Definition	
The sum of the costs associated with the SCOR Level 2 processes to Plan, Source, Deliver, and Return. Note - Cost of Raw Material and Make Costs are generally accounted for in COGS. It is recognized that there is likely to be overlap/ redundancy between supply chain management costs and COGS.	
Hierarchical Metric Structure	
Level 1	
Level 2	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">Cost to Plan</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">Cost to Source</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">Cost to Make</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">Cost to Deliver</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">Cost to Return</div> </div>
Qualitative Relationship Description	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
TSCMC = Cost to Plan + Source + Make + Deliver + Return	
Calculation	
TSCMC = Sales – Profits – Cost to Serve (e.g., marketing, selling, administrative)	
Data Collection	
Resource expenses (e.g., salaries, supplies, etc.) are initially captured in the organization’s general ledger accounting system. Then these expenses are traced and assigned (i.e., distributed) to the organizations “horizontal” core processes based employee time and non wage-related factors (drivers; e.g., # of units consumed). Data for these expense distribution assignments are collected from (1) employee time collection systems (or % split estimates), and (2) operational systems (e.g., enterprise resource planning [ERP] systems).	
Discussion	
Collecting transactional information, primarily resource expenses and operational “drivers”, is now commonplace. The challenging task is to logically transform these expenses into calculated costs of the “horizontal” processes based on cause-and-effect relationships without the temptation of using broad averages or arbitrary factors.	

Performance Attribute: Supply Chain Costs	
Level 2 Metric: Cost to Plan	Process Number: P1, P2, P3, P4, P5
Metric Definition	
The sum of the costs associated with Plan.	
Hierarchical Metric Structure	
Level 1	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Total Supply Chain Management Cost (TSCMC)</div>
Level 2	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Cost to Plan</div>
Level 3	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 150px; height: 30px; margin-bottom: 10px;">Cost to Plan Source</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 150px; height: 30px; margin-bottom: 10px;">Cost to Plan Make</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 150px; height: 30px; margin-bottom: 10px;">Cost to Plan Deliver</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 150px; height: 30px; margin-bottom: 10px;">Cost to Plan Return</div> </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 200px; height: 30px; margin: 0 auto;">Cost to Plan Supply Chain</div>
Qualitative Relationship Description	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
Cost to Plan = Sum of Cost to Plan (Plan + Source + Make + Deliver + Return)	
Calculation	
Data Collection	
Resource expenses (e.g., salaries, supplies, etc.) are initially captured in the organization's general ledger accounting system. Then these expenses are traced and assigned (i.e., distributed) to the organizations "horizontal" core processes based employee time and non wage-related factors (drivers; e.g., # of units consumed). Data for these expense distribution assignments are collected from (1) employee time collection systems (or % split estimates), and (2) operational systems (e.g., enterprise resource planning [ERP] systems).	
Discussion	
Collecting transactional information, primarily resource expenses and operational "drivers", is now commonplace. The challenging task is to logically transform these expenses into calculated costs of the "horizontal" processes based on cause-and-effect relationships without the temptation of using broad averages or arbitrary factors.	

Performance Attribute: Supply Chain Costs		Process Number: S1, S2, S3
Level 2 Metric: Cost to Source		
Metric Definition		
The sum of the costs associated with Source.		
Hierarchical Metric Structure		
Level 1	<pre> graph TD SM[Supplier Management (See process under Source)] --> CTSC[Cost to Source] MAM[Material Acquisition Management (See process under Source)] --> CTSC CTSC -.-> TSCMC[Total Supply Chain Management Cost (TSCMC)] </pre>	
Level 2		
Level 3		
Qualitative Relationship Description		
Quantitative Relationship (optional, if calculable)		
Cost to Source = Sum of Cost for (Supplier Management + Material Acquisition Management)		
Calculation		
Supplier Management = material planning + planning procurement staff + supplier negotiation and qualification + etc.		
Material Acquisition Management = bidding and quotations + ordering + receiving + incoming material inspection + material storage + payment authorization + sourcing business rules and rqrmts. + inbound freight and duties + etc.		
Data Collection		
Resource expenses (e.g., salaries, supplies, etc.) are initially captured in the organization's general ledger accounting system. Then these expenses are traced and assigned (i.e., distributed) to the organizations "horizontal" core processes based employee time and non wage-related factors (drivers; e.g., # of units consumed). Data for these expense distribution assignments are collected from (1) employee time collection systems (or % split estimates), and (2) operational systems (e.g., enterprise resource planning [ERP] systems).		
Discussion		
Collecting transactional information, primarily resource expenses and operational "drivers", is now commonplace. The challenging task is to logically transform these expenses into calculated costs of the "horizontal" processes based on cause-and-effect relationships without the temptation of using broad averages or arbitrary factors.		

Performance Attribute: Supply Chain Costs		Process Number: M1, M2, M3
Level 2 Metric: Cost to Make		
Metric Definition		
The sum of the costs associated with Make.		
Note - Cost of Raw Material and Make Costs are generally accounted for in COGS. It is recognized that there is likely to be overlap/ redundancy between supply chain management costs and COGS.		
Hierarchical Metric Structure		
Level 1	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Total Supply Chain Management Cost (TSCMC)</div>	
Level 2	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Cost to Make</div>	
Level 3	See "Cost of Good Sold"	
Qualitative Relationship Description		
Quantitative Relationship (optional, if calculable)		
Calculation		
Data Collection		
Discussion		

Performance Attribute: Supply Chain Costs	
Level 2 Metric: Cost to Deliver and/or Install	
Process Number: D1, D2, D3	
Metric Definition	
The sum of the costs associated with Deliver and/or Install	
Hierarchical Metric Structure	
Level 1	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Total Supply Chain Management Cost (TSCMC)</div>
Level 2	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Cost to Deliver</div>
Level 3	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 40%; text-align: center;">Sales (order) Management (See process under Deliver)</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 40%; text-align: center;">Customer Management (See process under Delivery)</div> </div>
Qualitative Relationship Description	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
Cost to Deliver = Sum of Cost of (Sales order management + Customer Management)	
Calculation	
<ul style="list-style-type: none"> - Sales order management = inquiry & quotations + order entry & maintenance + channel management + order fulfillment + distribution + transportation + outbound freight and duties + installation + customer invoicing / accounting + new product release / phase-in + etc. - Customer Management = financing + post-sales customer service + handling disputes + field repairs + enabling technologies + etc. 	
Data Collection	
Resource expenses (e.g., salaries, supplies, etc.) are initially captured in the organization's general ledger accounting system. Then these expenses are traced and assigned (i.e., distributed) to the organizations "horizontal" core processes based employee time and non wage-related factors (drivers; e.g., # of units consumed). Data for these expense distribution assignments are collected from (1) employee time collection systems (or % split estimates), and (2) operational systems (e.g., enterprise resource planning [ERP] systems).	
Discussion	
Collecting transactional information, primarily resource expenses and operational "drivers", is now commonplace. The challenging task is to logically transform these expenses into calculated costs of the "horizontal" processes based on cause-and-effect relationships without the temptation of using broad averages or arbitrary factors.	

Performance Attribute: Supply Chain Costs	
Level 1 Metric: Cost of Goods Sold (COGS)	
Metric Definition	
The cost associated with buying raw materials and producing finished goods. This cost includes direct costs (labor, materials) and indirect costs (overhead).	
Note - Cost of Raw Material and Make Costs are generally accounted for in COGS. It is recognized that there is likely to be overlap/ redundancy between supply chain management costs and COGS.	
Hierarchical Metric Structure	
Level 1	<pre> graph BT C2M[Cost to Make] --> COGS[Cost of Goods Sold (COGS)] </pre>
Level 2	
Qualitative Relationship Description	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
Cost of Goods Sold (COGS) = Cost to Make	
Calculation	
COGS = direct material costs + direct labor costs + indirect costs related to making product	
Data Collection	
Resource expenses (e.g., salaries, supplies, etc.) are initially captured in the organization’s general ledger accounting system. Then these expenses are traced and assigned (i.e., distributed) to the organizations “horizontal” core processes based employee time and non wage-related factors (drivers; e.g., # of units consumed). Data for these expense distribution assignments are collected from (1) employee time collection systems (or % split estimates), and (2) operational systems (e.g., enterprise resource planning [ERP] systems).	
Discussion	
Collecting transactional information, primarily resource expenses and operational “drivers”, is now commonplace. The challenging task is to logically transform these expenses into calculated costs of the “horizontal” processes based on cause-and-effect relationships without the temptation of using broad averages or arbitrary factors.	

Performance Attribute: Supply Chain Costs		Process Number: M1, M2, M3
Level 2 Metric: Cost to Make		
Metric Definition		
The sum of the costs associated with Make.		
Hierarquical Metric Structure		
Level 1	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Cost of Goods Sold (COGS)</div> </div>	
Level 2	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Cost to Make</div> </div>	
Level 3	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">Direct Material Cost</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%; text-align: center;">Indirect Cost Related to Production</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">Direct Labor Cost</div> </div>	
Qualitative Relationship Description		
Quantitative Relationship (optional, if calculable)		
Cost to Make = Sum of Direct Material, Direct Labor, and Direct non-Material Product-related Cost (equipment) and of Indirect Product-related Cost		
Calculation		
Data Collection		
Resource expenses (e.g., salaries, supplies, etc.) are initially captured in the organization’s general ledger accounting system. Then these expenses are traced and assigned (i.e., distributed) to the organizations “horizontal” core processes based employee time and non wage-related factors (drivers; e.g., # of units consumed). Data for these expense distribution assignments are collected from (1) employee time collection systems (or % split estimates), and (2) operational systems (e.g., enterprise resource planning [ERP] systems). In some cases, (1) direct material data is maintained at the “unit level” in bills of material (BOMs) or recipe formulas; and (2) direct labor and direct non-material product (equipment) data is maintained at the “unit level” in labor/machine routings or process sheets.		
Discussion		
Collecting transactional information, primarily resource expenses and operational “drivers”, is now commonplace. The challenging task is to logically transform these expenses into calculated costs of (1) the “horizontal” processes (referenced in Lean environments as “value-stream mapping”), and (2) products (or intermediate outputs) – with both types of calculations based on cause-and-effect relationships without the temptation of using broad averages or arbitrary factors.		

Performance Attribute: Supply Chain Asset Management	
Level 1 Metric: Cash-to-Cash Cycle Time	
Metric Definition	
The time it takes for an investment made to flow back into a company after it has been spent for raw materials. For services, this represents the time from the point where a company pays for the resources consumed in the performance of a service to the time that the company received payment from the customer for those services.	
Hierarchical Metric Structure	
Level 1	<pre> graph TD subgraph Level1 [Level 1] C2C[Cash-to-Cash Cycle Time] end subgraph Level2 [Level 2] DSO[Days Sales Outstanding] IDS[Inventory Days of Supply] DPO[Days Payable Outstanding] end DSO --> C2C IDS --> C2C DPO --> C2C </pre>
Level 2	
Qualitative Relationship Description	
The longer the cash-to-cash cycle, the more current assets needed (relative to current liabilities) since it takes longer to convert inventories and receivables into cash. In other words, the longer the cash-to-cash cycle, the more net working capital required.	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
The Cash-to-Cash Cycle time is measured by converting into days the supply of inventory in stock and the number of days outstanding for accounts receivable and accounts payable. The inventory days of supply is added to the days outstanding for accounts receivable. The accounts payable days outstanding is subtracted from this total to determine the cash-to-cash cycle time.	
Calculation	
Cash-to-Cash Cycle Time = Inventory Days of Supply + Days Sales Outstanding – Days Payable Outstanding	
Level 2 Metrics:	
Inventory Days of Supply = the amount of inventory (stock) expressed in days of sales. The [5 point rolling average of gross value of inventory at standard cost] / [annual cost of goods sold (COGS) / 365] Example: If 2 items a day are sold and 20 items are held in inventory, this represents 10 days' (20/2) sales in inventory. (Other names: Days cost-of-sales in inventory, Days' sales in inventory)	
Days Sales Outstanding = the length of time from when a sale is made until cash for it is received from customers. The amount of sales outstanding expressed in days. The [5 point rolling average of gross accounts receivable (AR)] / [total gross annual sales / 365]. Example: If \$5000 worth of sales were made per day and \$50,000 worth of sales were outstanding, this would represent 10 days' (\$50,000/\$5000) of sales outstanding.	
Days Payable Outstanding = the length of time from purchasing materials, labor and/or conversion resources until cash payments must be made expressed in days. The [5 point rolling average of gross accounts payable (AP)] / [total gross annual material purchases / 365]. (Other names: Average payment period for materials, Days purchases in accounts payable, Days' outstanding in accounts payable)	
The "5 point rolling average" calculation uses a combination of both historical and forward-looking data. This means that the rolling average value has to be calculated based on the average over the four previous quarters and the projection for the current or next quarter. The 5 point rolling average calculation is: [Sum of the 4 previous quarters + projection for next quarter) / 5]	
Data Collection	
Unlike the other SCOR attributes, where data requirements are specified, typically all of the cash-to-cash cycle time source data is already captured by business operating systems: <ul style="list-style-type: none"> - general ledger system - accounts receivable system 	

- accounts payable system
- purchasing system
- production reporting system
- customer relationship management system

As a result, information is 'calculated' by importing data from these systems and transforming them into the prescribed analytics/information. The transformation is accomplished using business rules.

Discussion

Cash-to-cash Cycle Time is a value metric used to measure how efficiently a company manages its working capital assets.

This metric is a generally accepted Supply Chain metric within many industries and is used to benchmark supply chain asset management performance.

The term "5 point annual average" can be confusing in that it can imply a measure over a year's period of time when the data points are taken over 5 quarters. The intent of the approach is to smooth the seasonal peaks and valleys over time and to balance projected data with historical data. The measurement can be taken quarterly or at any given consistent time frame.

Performance Attribute: Supply Chain Asset Management	
Level 1 Metric: Return on Supply Chain Fixed Assets	
Metric Definition	
Return on Supply Chain Fixed Assets measures the return an organization receives on its invested capital in supply chain fixed assets. This includes the fixed assets used in Plan, Source, Make, Deliver, and Return.	
Hierarchical Metric Structure	
Level 1	
Level 2	
Level 3	
Qualitative Relationship Description	
Quantitative Relationship (optional, if calculable)	
The return on supply chain fixed assets is measured by monetizing the supply chain revenue, cost of goods sold and supply chain management costs to determine the profit from the respective supply chain. This amount is divided by the supply chain fixed assets to determine the return generated from the respective supply chain.	
Calculation	
$\text{Return on Supply Chain Fixed Assets} = (\text{Supply Chain Revenue} - \text{COGS} - \text{Supply Chain Management Costs}) / \text{Supply-Chain Fixed Assets}$	
<p>"Supply Chain Revenue" is used in the metric rather than just Net Revenue. SC Revenue is calculated as: Supply Chain Revenue - COGS - Total Supply Chain Management Costs. This provides the revenue generated through the supply chain less the total costs associated with the supply chain.</p> <p>There is a need for a more specific "revenue" number than "Net Revenue" for use in the "Supply Chain Revenue" level 2 metric. Net Revenue could include revenue from sources other than the supply chain, such as investments, leasing real estate, court settlements, etc... Supply Chain Revenue will be used and will be only the portion of Net Revenue that is generated by the specific supply chain being measured and analyzed.</p>	
Level 2 Metrics	
Supply-Chain Revenue	
Operating revenue generated from a supply chain. This does not include non-operating revenue, such as leasing real estate, investments, court settlements, sale of office buildings, etc...	
COGS	
Calculation - Refer to the section for COGS in the Attribute for Costs.	
Supply Chain Management Costs	
Calculation - refer to the section for Supply-Chain Management Costs in the Attribute for Costs.	

Supply Chain Fixed Assets

Source Fixed Asset Value + Make Fixed Asset Value + Deliver Fixed Asset Value + Return Fixed Asset Value + Plan Fixed Asset Value

Level 3 Metrics

Plan Fixed Asset Value- The current value of the supply chain assets used in supply chain integration (See EP.5)

Source Fixed Asset Value - The current value of the supply chain assets used in the Source process. (See ES.5)

Make Fixed Asset Value- The current value of the supply chain assets used in the Make process. (See EM.5)

Deliver Fixed Asset Value - The current value of the supply chain assets used in the Deliver process. (See ED.5)

Return Fixed Asset Value - The current value of the supply chain assets used in the Return process. (See ER.5)

A Revised Capital Plan is an output of the Manage Integrated Supply Chain Fixed Assets (EP.5) process element and would contain supply chain capital asset information that could be used in measuring the Supply Chain Fixed Assets.

Data Collection

Unlike the other SCOR attributes, where data requirements are specified, typically all of the return on working capital's source data is already captured by business operating systems:

- general ledger system
- fixed asset system
- purchasing system
- labor reporting system
- production reporting system
- customer relationship management system

As a result, information is 'calculated' by importing data from these systems and transforming them into the prescribed analytics/information. The transformation is accomplished using business rules.

In order to measure Return on Supply Chain Fixed Assets, the investment in supply chain capital assets needs to be known. This requires a clear understanding of what is a "supply chain fixed asset". SCOR

Ex.5 process elements were used since these are all focused on managing SC capital assets. It is the assets managed in these Enable processes that comprise Supply Chain Fixed Assets. The value of these assets is the denominator of the metric.

Discussion

Range of fixed assets used in an organization that have the character of permanency rather than being rapidly replaced (or expensed); examples include land, warehouse, trucks, buildings, investments, and plant and machinery.

Fixed assets used to operate the Supply Chain in each of the categories (P, S, M, D, R) are tracked within the Ex.5 process elements. A Revised Capital Plan is an output of the Manage Integrated Supply Chain Fixed Assets (EP.5) process element and would contain supply chain capital asset information that could be used in measuring the Supply Chain Fixed Asset Value.

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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