

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PLANEJAMENTO CONJUNTO E COLABORATIVO DA CADEIA DE
SUPRIMENTOS: MODELO DE CONTROLE ÓTIMO
MULTIOBJETIVO COM CUSTOS DE TRANSPORTE**

Gláucia Michel de Oliva

**PORTO ALEGRE
Dezembro de 2005**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PLANEJAMENTO CONJUNTO E COLABORATIVO DA CADEIA DE
SUPRIMENTOS: MODELO DE CONTROLE ÓTIMO
MULTIOBJETIVO COM CUSTOS DE TRANSPORTE**

Gláucia Michel de Oliva

Orientador: Professor Luis Antonio Lindau, Ph.D.

Banca Examinadora:

Antônio Galvão Novaes, Dr.
EPS/UFSC

Edgar Augusto Lanzer, Ph.D.
UNISUL/SC

Emílio Merino, Dr.
PPGEP/UFRGS

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção como requisito parcial à obtenção do título de
DOUTOR EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Área de concentração: Logística e Transportes

Porto Alegre, 16 de dezembro de 2005

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof. Luis Antonio Lindau, Ph.D.

PPGEP / UFRGS

Orientador

Prof. Luis Antonio Lindau, Dr.

Coordenador PPGEP / UFRGS

Banca Examinadora:

Antônio Galvão Novaes, Dr.

EPS/UFSC

Edgar Augusto Lanzer, Ph.D.

UNISUL/SC

Emílio Merino, Dr.

PPGEP/UFRGS

Para atingir a individuação é preciso descobrir as características do feminino.

Carl Gustav Jung

AGRADECIMENTOS

Com muita consideração, gostaria de agradecer:

ao orientador Luis Antonio Lindau, cuja confiança e credibilidade depositada na execução deste trabalho, em mim se manifestou como um grande incentivo;

à generosidade acadêmica dos professores Edgar Augusto Lanzer e Antonio Galvão Novaes que me presentearam com valiosas críticas e sugestões para o término desta pesquisa;

ao professor António Paes Antunes pelo apoio recebido durante a realização de meu Doutorado Sanduíche na Universidade de Coimbra, em Portugal;

a todos os funcionários e professores do DEPROT pelo apoio para o desenvolvimento do doutorado;

à UFRGS e ao PPGEP que, através de seus professores e funcionários, proporcionam o desenvolvimento da pesquisa na área de Logística e Transportes;

à CAPES pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de doutorado;

à Clovis Graeff que, além de ter me incentivado na vida acadêmica, me deixou a lembrança de uma amizade incondicional;

ao meu pai que me deixou um exemplo de integridade e à minha mãe pelo imenso apoio financeiro, o qual se torna insignificante quando comparado com o amor e a segurança emocional que dela sempre obtenho;

aos meus dois filhos, Carlos e Bruno, cujas personalidades justificam e dão significado à minha existência.

RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo de otimização multiobjetivo para servir de apoio à tomada de decisão no planejamento conjunto e colaborativo de uma cadeia de suprimentos. O sistema é construído através da reunião de duas técnicas de modelagem – controle e otimização multiobjetivo. A dinâmica da cadeia de suprimentos é representada por equações à diferença que constituem as restrições do modelo de otimização multiobjetivo. Esse modelo é construído sob o critério da otimização da lucratividade total da cadeia. A função-critério é especificada considerando os custos de transporte como variáveis relevantes para as tomadas de decisão nos diferentes níveis da cadeia. O objetivo desse sistema de apoio à decisão é auxiliar os responsáveis pelas tomadas de decisão a planejarem as políticas de atuação, na direção dos objetivos estrategicamente estabelecidos, revelando informações importantes sobre o desempenho global da cadeia. Essas informações dizem respeito às trocas compensatórias, ao efeito chicote, à satisfação do consumidor final e ao nível de serviço da cadeia de suprimentos. A partir da construção de diferentes cenários, a modelagem proposta mostrou-se adequada para ser utilizada como sistema de apoio à decisão, em um processo de planejamento otimizado da cadeia de suprimentos. A participação colaborativa de todos os níveis da cadeia é pré-requisito indispensável para a aplicação prática desse sistema de modelagem.

Palavras-chave: controle ótimo, modelagem multiobjetivo, planejamento colaborativo, sistema de apoio à decisão.

ABSTRACT

This paper presents a multiobjective optimization model to support decision-making in the joint and collaborative planning of a supply chain. The system is built through combining two modelling techniques: optimal control and multiobjective models. The dynamics of the supply chain is represented by difference equations that constitute the restrictions of the multi-purpose optimization. This model is built under the criterion of optimization of the overall profitability of the chain. The criterion function is specified considering transport costs as relevant variables in the decision-making at different levels of the chain. The purpose of this support system for a collaborative decision-making is to help those responsible for decision-making to plan action policies to achieve strategically established goals, revealing important information about the global performance of the chain. This information concerns the trade-offs, the bullwhip effect, final consumer satisfaction and the level of service of the supply chain. Through the construction of different scenarios, the modelling proposed proved adequate to be used as a support system for decision-making, in a process of optimized planning of the supply chain. The collaborative participation of all levels of the chain is an indispensable pre-requisite for the practical application of this modelling system.

Key-words: optimal control, multiobjective modelling, collaborative planning, support system decision

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Principais desafios impostos ao SCM e modelagem utilizada.....	26
Figura 2	Diferentes conformações de cadeia de suprimentos.....	27
Figura 3	Cadeia da cerveja	27
Figura 4	Estrutura do método de trabalho.....	30
Figura 5	Modelos de coordenação logística	50
Figura 6	Cadeia de suprimentos adotada	80
Figura 7	Diagrama da função de transferência.....	85
Figura 8	Cenário A: Lucratividade total da cadeia.....	109
Figura 9	Cenário A: Posição de estoque desejada	110
Figura 10	Cenário A: Custos de transporte.....	111
Figura 11	Cenário A: Nível de estoque	112
Figura 12	Cenário A: Posição do estoque	112
Figura 13	Cenário A: Vendas efetuadas nos níveis.....	113
Figura 14	Cenário A: Nível de serviço	114
Figura 15	Cenário A: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas	115
Figura 16	Cenário A: Hiato de satisfação do consumidor final.....	115
Figura 17	Cenários A e B: Lucratividade total da cadeia.....	117
Figura 18	Cenários A e B: Posição de estoque desejada	119
Figura 19	Cenários A e B: Custos de transporte.....	121
Figura 20	Cenários A e B: Taxa entre pedidos realizados e venda efetuadas.....	124
Figura 21	Cenários A e B: Efeito chicote.....	125
Figura 22	Cenário A e B: Hiato de satisfação do consumidor final	125
Figura 23	Cenários B e C: Posição de estoque desejada	127
Figura 24	Cenários B e C: Lucratividade total da cadeia.....	128

Figura 25	Cenários B e C: Custos de transporte.....	130
Figura 26	Cenários B e C: Nível de serviço da cadeia	131
Figura 27	Cenários B e C: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas	133
Figura 28	Cenários B e C: Efeito chicote.....	133
Figura 29	Cenários B e C: Hiato de satisfação do consumidor final.....	135
Figura 30	Cenários C e D: Posição de estoque desejada	137
Figura 31	Cenários B e C: Lucratividade total da cadeia.....	137
Figura 32	Cenários C e D: Custos de transporte por nível.....	140
Figura 33	Cenários C e D: Custos de transporte	141
Figura 34	Cenários C e D: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas	143
Figura 35	Cenários C e D: Efeito chicote.....	143
Figura 36	Cenários C e D: Hiato de satisfação do consumidor final	144
Figura 37	Cenários D e E: Posição de estoque desejada	146
Figura 38	Cenários D e E: Lucratividade total da cadeia.....	147
Figura 39	Cenários D e E: Custos de transporte.....	150
Figura 40	Cenários D e E: Participação relativa das variáveis parciais.....	151
Figura 41	Cenários D e E: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas	152
Figura 42	Cenários D e E: Efeito chicote.....	152
Figura 43	Cenários D e E: Hiato de satisfação do consumidor final.....	153
Figura 44	Cenários B e E: Efeito chicote	156
Figura 45	Cenários B e E: Hiato de satisfação do consumidor final.....	156
Figura 46	Cenários D e F: Posição de estoque desejada.....	159
Figura 47	Cenários D e F: Lucratividade total da cadeia	160
Figura 48	Cenários D e F: Custos de transporte.....	162
Figura 49	Cenários D e F: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas.....	164

Figura 50	Cenários D e F: Efeito chicote	164
Figura 51	Cenários D e F: Hiato de satisfação do consumidor final.....	165
Figura 52	Cenários A e G: Posição de estoque desejada.....	169
Figura 53	Cenários A e G: Lucratividade total da cadeia.....	169
Figura 54	Cenários A e G: Custos de transporte.....	172
Figura 55	Cenários A e G: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas.....	174
Figura 56	Cenários A e G: Efeito chicote	174
Figura 57	Cenários A e G: Hiato de satisfação do consumidor final	175
Figura 58	Cenários B e H: Posição de estoque desejada	177
Figura 59	Cenários B e H: Lucratividade total da cadeia.....	178
Figura 60	Cenários B e H: Custos de transporte	180
Figura 61	Cenários B e H: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas.....	182
Figura 62	Cenários B e H: Efeito chicote.....	182
Figura 63	Cenários B e H: Hiato de satisfação do consumidor final	183
Figura 64	Cenários G e H: Lucratividade total da cadeia	184
Figura 65	Cenários G e H: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas.....	187
Figura 66	Cenários G e H: Efeito chicote	187
Figura 67	Cenários G e H: Hiato de satisfação do consumidor final.....	188
Figura 68	Cenário I: Lucratividade total da cadeia	190
Figura 69	Cenário I: Posição de estoque desejada.....	191
Figura 70	Cenário I: Custos de transporte.....	192
Figura 71	Cenário I: Nível de estoque.....	192
Figura 72	Cenários I e J: Lucratividade total da cadeia	194
Figura 73	Cenários I e J: Posição de estoque desejada.....	196
Figura 74	Cenários I e J: Custos de transporte.....	197

Figura 75	Cenários I e J: Custo total	198
Figura 76	Cenários I e J: Pedidos recebidos pelos níveis	199
Figura 77	Cenários I e J: Vendas efetuadas pelos níveis.....	200
Figura 78	Cenários I e J: Nível de estoque	201
Figura 79	Cenários I e J: Posição de estoque nos níveis.....	202
Figura 80	Cenários I e J: Nível de serviço	203
Figura 81	Cenários I e J: Taxa entre pedidos recebidos e vendas efetuadas	205
Figura 82	Cenários I e J: Efeito chicote.....	205
Figura 83	Cenários I e J: Hiato de satisfação do consumidor final.....	206

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores das condições iniciais do modelo	102
Tabela 2	Valores dos parâmetros do modelo.....	102
Tabela 3	Previsão da demanda do consumidor final	104
Tabela 4	Cenários A e B: Variação relativa das variáveis totais.....	117
Tabela 5	Cenário A e B: Variação relativa das variáveis parciais	120
Tabela 6	Cenários A e B: Participação relativa das variáveis parciais.....	122
Tabela 7	Cenários B e C: Variação relativa das variáveis totais	128
Tabela 8	Cenários B e C: Variação relativa das variáveis parciais.....	129
Tabela 9	Cenários B e C: Participação relativa das variáveis parciais.....	132
Tabela 10	Cenários C e D: Variação relativa das variáveis totais.....	138
Tabela 11	Cenários C e D: Variação relativa das variáveis parciais.....	139
Tabela 12	Cenários C e D: Participação relativa das variáveis parciais no total.....	142
Tabela 13	Cenários D e E: Variação relativa das variáveis totais	148
Tabela 14	Cenários D e E: Variação relativa das variáveis parciais.....	148
Tabela 15	Cenários B e E: Variação relativa das variáveis totais	154
Tabela 16	Cenários B e E: Variação relativa das variáveis parciais	154
Tabela 17	Cenários D e F: Variação relativa das variáveis totais	160
Tabela 18	Cenários D e F: Variação relativa das variáveis parciais	161
Tabela 19	Cenários D e F: Participação relativa das variáveis parciais	163
Tabela 20	<i>Lead time</i> de entrega em cada nível da cadeia	168
Tabela 21	Cenários A e G: Variação relativa das variáveis totais.....	170
Tabela 22	Cenário A e G: Variação relativa das variáveis parciais.....	171
Tabela 23	Cenários A e G: Participação relativa das variáveis parciais	173
Tabela 24	Cenários B e H: Variação relativa das variáveis totais.....	178

Tabela 25	Cenários B e H: Variação relativa das variáveis parciais.....	179
Tabela 26	Cenários B e H: Participação relativa das variáveis parciais.....	181
Tabela 27	Cenários G e H: Variação relativa das variáveis totais	184
Tabela 28	Cenários G e H: Variação relativa das variáveis parciais	185
Tabela 29	Cenários G e H: Participação relativa das variáveis parciais	186
Tabela 30	Cenários I e J: Variação relativa das variáveis totais.....	194
Tabela 31	Cenários I e J: Variação relativa das variáveis parciais.....	195
Tabela 32	Cenários I e J: Participação relativa das variáveis parciais.....	204

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	16
<i>1.1 O TEMA E SUA IMPORTÂNCIA</i>	<i>16</i>
<i>1.2 OBJETIVOS</i>	<i>21</i>
1.2.1 Objetivo Geral	21
1.2.2 Objetivos Específicos.....	22
<i>1.3 JUSTIFICATIVA</i>	<i>22</i>
<i>1.4 LIMITAÇÕES</i>	<i>25</i>
<i>1.5 MÉTODO DE TRABALHO</i>	<i>29</i>
1.5.1 Etapas do Método	30
<i>1.6 ESTRUTURA DA TESE</i>	<i>32</i>
CAPÍTULO 2. DA LOGÍSTICA AO SUPPLY CHAIN MANAGEMENT:	
PRINCIPAIS DESAFIOS	33
<i>2.1 VOLATILIDADE DA DEMANDA</i>	<i>39</i>
2.1.1 Modelos de Previsão	43
2.1.1.1 Modelos descritivos de previsão de demanda	44
2.1.1.2 Modelos analíticos de previsão ou de coordenação logística.....	48
2.1.1.3 Modelos de Controle e Controle Ótimo	59
<i>2.2 OBJETIVOS CONFLITANTES E TROCAS COMPENSATÓRIAS</i>	<i>64</i>
2.2.1 Modelos Multiobjetivos.....	68
2.2.1.1 Caracterização geral dos modelos multiobjetivos.....	70
2.2.1.2 Principais métodos de solução	71
<i>2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS</i>	<i>75</i>
CAPÍTULO 3. MODELAGEM DE CONTROLE ÓTIMO MULTIOBJETIVO	78
<i>3.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA</i>	<i>78</i>

3.2 MODELO DE CONTROLE ADOTADO	79
3.2.1 Análise de estabilidade	83
3.2.2 Estabilidade Dinâmica do Modelo	85
3.2.2.1 Alto nível de estoque e alta posição de estoque desejada	85
3.2.2.2 Alto nível de estoque e baixa posição de estoque desejada	86
3.2.2.3 Baixos níveis de estoque	87
3.3 PROPOSTA DE MODELO MULTIOBJETIVO	89
3.3.1 Especificação do modelo	89
3.4 CENÁRIOS DE PLANEJAMENTO CONJUNTO E COLABORATIVO	100
3.4.1 Parâmetros e Condições Iniciais	100
3.4.2 Simulações e Resultados	104
3.4.2.1 Cenário A	108
3.4.2.2 Cenário B	116
3.4.2.3 Cenário C	126
3.4.2.4 Cenário D	135
3.4.2.5 Cenário E	145
3.4.2.6 Cenário F	157
3.4.2.7 Cenário G	166
3.4.2.8 Cenário H	176
3.4.2.9 Cenário I	189
3.4.2.10 Cenário J	193
3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	207
CAPÍTULO 4. CONCLUSÃO E SUGESTÕES	213
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	217
APÊNDICE A RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO A	227

APÊNDICE B	RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO B.....	228
APÊNDICE C	CENÁRIOS A E B: MEDIDAS DESCRITIVAS.....	229
APÊNDICE D	RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO C.....	230
APÊNDICE E	CENÁRIOS B E C: MEDIDAS DESCRITIVAS.....	231
APÊNDICE F	RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO D.....	232
APÊNDICE G	CENÁRIOS C E D: MEDIDAS DESCRITIVAS.....	233
APÊNDICE H	RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO E.....	234
APÊNDICE I	CENÁRIOS D E E: MEDIDAS DESCRITIVAS.....	235
APÊNDICE J	RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO F.....	236
APÊNDICE K	CENÁRIO D E F: MEDIDAS DESCRITIVAS.....	237
APÊNDICE L	RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO G.....	238
APÊNDICE M	CENÁRIOS A E G: MEDIDAS DESCRITIVAS.....	239
APÊNDICE N	RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO H.....	240
APÊNDICE O	CENÁRIOS B E H: MEDIDAS DESCRITIVAS.....	241
APÊNDICE P	CENÁRIO G E H: MEDIDAS DESCRITIVAS.....	242
APÊNDICE Q	RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO I.....	243
APÊNDICE R	RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO J.....	244
APÊNDICE S	CENÁRIOS I E J: MEDIDAS DESCRITIVAS.....	245
APÊNDICE T	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO COM A LUCRATIVIDADE	
TOTAL DA CADEIA.....		246
APÊNDICE U	RESULTADOS COMPARATIVOS.....	247

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1 O TEMA E SUA IMPORTÂNCIA

A percepção de que cadeias de suprimentos são redes dinâmicas de complexas interrelações transcende a idéia de melhoria ou otimização pontual de seus níveis componentes, cristalizando-se em uma visão orientada a processos. Essa percepção leva ao conceito de gerenciamento da cadeia de suprimentos ou *Supply Chain Management* – SCM.

O gerenciamento da cadeia de suprimentos é uma área de conhecimento multidisciplinar e tem sido definida e estudada sob as mais diversas perspectivas (CROOM; GIANNAKIS, 2000; MIN; ZHOU, 2002; LEJEUNE; YAKOVA, 2005). Entre as mais variadas definições sobre gerenciamento da cadeia de suprimentos, considera-se a proposta por Simchi-Levi (2003) a que melhor identifica seu universo de abrangência, e a que melhor extrai sua essência e seus propósitos. O autor estabelece que:

“a gestão de cadeias de suprimentos é um conjunto de abordagens utilizadas para integrar eficientemente fornecedores, fabricantes, depósitos e armazéns, de forma que a mercadoria seja produzida e distribuída na quantidade certa, para a localização certa, no tempo certo, de forma a minimizar os custos globais do sistema, ao mesmo tempo em que atinge o nível de serviço desejado”, Simchi-Levi (2003, pág.27).

Esta definição indica que o SCM foi, e está sendo, desenvolvido em torno da necessidade de se capturar a sinergia, tanto interfuncional, como interorganizacional, das principais entidades que constituem uma cadeia de suprimentos, em busca da agregação de

valor e da satisfação de clientes e consumidores. Postula, definitivamente, a sincronização das funções logísticas, de modo a amalgamar as diversas unidades organizacionais, por meio da consideração simultânea de diferentes objetivos – muitas vezes conflitantes – e do conhecimento das trocas compensatórias existentes entre os diversos níveis da cadeia. Em última instância, o objetivo do SCM é a otimização do desempenho global da cadeia de suprimentos, através da diminuição dos custos de produção, pedido, transporte, armazenagem, e do controle da volatilidade da demanda por produtos e serviços.

A bibliografia atualizada sobre o SCM demonstra que existe uma constante preocupação com os desafios impostos à otimização global da cadeia. Esses desafios podem ser resumidos em três grandes temas: a propagação da variabilidade da demanda – ou efeito chicote–, a presença de objetivos conflitantes e de trocas compensatórias. Atingir uma cadeia de suprimentos otimizada é uma tarefa que exige a unificação de esforços, tanto para a compreensão desses desafios, como para a consideração das interdependências – ou dependências mútuas – entre as decisões tomadas nos diferentes níveis da cadeia.

A unificação de esforços requer mudanças nos paradigmas ainda vigentes. Isso significa que os responsáveis pelas tomadas de decisão nos diferentes níveis da cadeia precisam se perceber inseridos em um sistema dinâmico integrado, de modo a abandonar o modelo de atuações independentes, em favor de uma postura de decisões combinadas e sustentadas por um forte vínculo de confiança.

Se o SCM for visto como um sistema dinâmico, sua otimização exigirá que os responsáveis pelas tomadas de decisão sejam capazes de encontrar um caminho de atuação conjunta para todos os níveis da cadeia, de modo a atingir os objetivos pretendidos. Esse pressuposto direciona o gerenciamento da cadeia de suprimentos para um processo de

planejamento integrado e, conseqüentemente, para a modelagem de sistemas dinâmicos e modelos de otimização multiobjetivo.

A análise dinâmica da cadeia de suprimentos, quando inserida em um processo de planejamento – e, portanto, no universo dos sistemas dinâmicos – está respaldada pela grande disponibilidade de técnicas de modelagem matemática, reconhecidamente revestidas de importância para o entendimento de sistemas dinâmicos complexos.

A modelagem de sistemas dinâmicos – em especial de modelos de controle – aparece na literatura sobre SCM com a finalidade de enfrentar a propagação da variabilidade da demanda – ou efeito chicote. Esses modelos caracterizam-se por fornecer regras de controle (ou de decisão) que permitem ajustar um sistema dinâmico, de modo que o mesmo evolua tão próximo quanto possível dos objetivos pretendidos (PEREA et al. 2003).

Os modelos de otimização multiobjetivo aparecem na literatura sobre SCM para auxiliar no entendimento das complexidades que surgem com os inevitáveis objetivos conflitantes e suas conseqüentes trocas compensatórias. Tradicionalmente, eles têm sido aplicados em problemas de seleção de fornecedores e problemas de localização (DULMIN; MININNO, 2003). Diferentemente dos modelos clássicos de otimização monoobjetivo, onde somente uma função-objetivo é considerada, os modelos multiobjetivos têm como principal característica a otimização simultânea de diversas funções-objetivo (RAO, 1996).

Em um contexto de planejamento integrado da cadeia de suprimentos, a modelagem multiobjetivo permite a inclusão de diferentes pontos de vista que possam existir entre os diversos níveis da cadeia. Essa importante característica pode se transformar, se julgada necessária, em uma base de diálogo e compromisso entre os responsáveis pelas tomadas de

decisão nos diferentes níveis da cadeia. São modelos utilizados, fundamentalmente, para agregar conhecimentos, tecer julgamentos e identificar soluções (EROL et al., 2003).

Na literatura especializada, os modelos de controle e os multiobjetivos têm sido utilizados na modelagem do SCM de forma individualizada. Contudo, eles apresentam uma característica comum que merece destaque: a maioria das aplicações, tanto dos modelos de controle, como dos multiobjetivos, não considera a influência que os custos de transporte exercem sobre a evolução dinâmica do desempenho global da cadeia.

A participação relativa dos custos de transporte no custo logístico total é, via de regra, destacada na bibliografia. Novaes (2001) divide os custos globais em duas partes: custos de produção e custos de distribuição ao longo da cadeia de suprimentos. O autor afirma que reduzir os custos de produção, também denominados custos *hard*, é uma tarefa quase impossível, uma vez que as empresas já realizaram esforços nessa direção, obtendo resultados significativos. Nesse contexto, o autor salienta que um modo alternativo de minimizar os custos globais da cadeia consiste em enfrentar os custos de distribuição, denominados de custos *soft*, que representam em torno de três quartos dos custos totais.

Os custos de distribuição compreendem todos os custos envolvidos no processo de disponibilizar o produto ao consumidor final, excetuando-se os custos de produção. Entre os custos *soft*, estão os custos de transporte associados aos lotes de pedido ou entrega dos diversos níveis da cadeia de suprimentos, que correspondem à cerca de 50% dos custos de distribuição (SWENSETH; GODFREY, 2002). Conforme afirma Ballou (1993), os custos de transporte representam, em média, de um a dois terços dos custos globais.

Apesar da importância dos modelos de controle, dos modelos multiobjetivos e da consideração dos custos de transportes na otimização global da cadeia de suprimentos, até o momento não se encontrou um modelo que fosse de controle e, simultaneamente,

multiobjetivo– modelo de controle ótimo multiobjetivo – considerando os custos de transporte na otimização global do desempenho da cadeia de suprimentos . Esse tipo de modelagem permitiria a consideração simultânea de regras de controle, de objetivos conflitantes e dos custos de transporte na otimização do desempenho global da cadeia de suprimentos.

Acredita-se que os modelos de controle ótimo multiobjetivos ainda não são corriqueiramente utilizados na modelagem do SCM pelo fato de exigirem a utilização conjunta de técnicas de modelagem de sistemas dinâmicos, de sistemas de controle, de análise de estabilidade e de otimização multiobjetivo. No entanto, o atual estágio de desenvolvimento do conhecimento, tanto em relação ao SCM, como em relação aos métodos quantitativos, é perfeitamente adequado para o avanço da pesquisa analítica, com vistas ao desenvolvimento de um modelo de controle ótimo multiobjetivo que possa servir como base de apoio à tomada de decisão, em um processo de planejamento conjunto e colaborativo da cadeia de suprimentos.

Em vista disso, considerou-se oportuno o desenvolvimento de um trabalho que abordasse o gerenciamento da cadeia de suprimentos, sob a ótica de um processo de planejamento conjunto e colaborativo, através de um modelo de controle ótimo multiobjetivo, considerando os custos de transporte como variáveis relevantes para a otimização do desempenho da cadeia.

Pretende-se especificar um sistema de apoio à decisão para o planejamento da cadeia de suprimentos, através da reunião de duas técnicas de modelagem – sistemas dinâmicos estáveis de controle e otimização multiobjetivo. A consideração simultânea dessas duas técnicas deverá ser capaz de auxiliar os responsáveis pela tomada de decisão a planejarem suas políticas de atuação, na direção dos objetivos estrategicamente estabelecidos, ao mesmo

tempo em que estará fornecendo informações sobre a evolução dinâmica da cadeia de suprimentos, quando considerada como um sistema dinâmico único.

Esta pesquisa de doutorado pretende contribuir com o estado da arte na modelagem do SCM, avaliando as reais possibilidades de utilização de um modelo de controle ótimo multiobjetivo como sistema de apoio à decisão no planejamento conjunto e colaborativo de uma cadeia de suprimentos.

A partir da construção de diferentes cenários, espera-se obter um sistema dinâmico multiobjetivo que auxilie os responsáveis pelas tomadas de decisão a pensarem com clareza a respeito dos principais fatores que afetam qualquer processo decisório. Esse tipo de modelagem deverá ser capaz de contribuir para a compreensão das complexidades dinâmicas envolvidas em um planejamento otimizado da cadeia de suprimentos, quando os participantes estiverem dispostos a realizá-lo de forma conjunta e colaborativa.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo geral de especificar um modelo de controle ótimo multiobjetivo, considerando os custos de transporte como variável relevante para a otimização do desempenho global da cadeia, com vistas a analisar as reais potencialidades de sua utilização como método sistemático de apoio à decisão no planejamento conjunto e colaborativo de uma cadeia de suprimentos.

1.2.2 Objetivos Específicos

A partir da construção de diferentes cenários de planejamento conjunto e colaborativo– planejamento por cenários – pretende-se reunir informações sobre as principais características dinâmicas da cadeia de suprimentos, no que tange à lucratividade total da cadeia, às trocas compensatórias, à magnitude do efeito chicote e do nível de serviço quando:

(i) os custos de transportes não forem considerados na otimização da lucratividade total da cadeia;

(ii) os custos de transporte forem considerados na otimização da lucratividade total da cadeia;

(iii) o varejista ocupar posição de domínio na cadeia;

(iv) o distribuidor ocupar posição de domínio na cadeia;

(v) em cada nível da cadeia o *lead time* de entrega de pedidos for variável;

(vi) os diferentes níveis da cadeia tiverem objetivos conflitantes.

1.3 JUSTIFICATIVA

As principais justificativas para o desenvolvimento do tema proposto são quatro. A primeira delas refere-se à possibilidade de se tratar o planejamento conjunto e colaborativo da cadeia de suprimentos por meio de um modelo de controle ótimo multiobjetivo, de modo a controlar o total de pedidos a serem realizados pelos níveis da cadeia, com o intuito de atingir múltiplos objetivos simultaneamente.

A segunda justificativa refere-se à consideração de um modelo dinâmico estável¹ para representar a evolução da cadeia de suprimentos. Os modelos dinâmicos estáveis fornecem a garantia de que, independentemente das variações das condições iniciais, dos parâmetros e das alterações apresentadas nos valores assumidos, tanto pelas variáveis endógenas², como pelas variáveis exógenas³, o caminho trilhado pelo sistema será aquele que o levará rumo ao equilíbrio. Além disso, a análise de estabilidade de um modelo dinâmico da cadeia de suprimentos – via transformada Z ⁴ – permite o entendimento do efeito das flutuações de qualquer variável sem a necessidade de se considerar elementos aleatórios – distribuições de probabilidade – para entender as conseqüências das oscilações de suas variáveis de entrada. Esse fato é a principal vantagem em se usar um modelo de controle estável, uma vez que permite um tratamento determinístico, sem desprezar os efeitos oscilatórios das variáveis envolvidas.

A terceira justificativa refere-se à consideração de uma regra de controle no processo de modelagem. A inclusão da regra de controle está fundamentada no fato de uma cadeia de suprimentos se constituir em um sistema, indubitavelmente, com realimentação, ou seja, os sinais de saídas (*output*) são enviados de volta à entrada (*input*) do sistema. Esses sinais são denominados de realimentação ou retorno – *feedback* –, pois eles alimentam, com base na saída do sistema, as informações que serão transmitidas de volta para a entrada, criando um

¹ Um sistema dinâmico é dito estável se, a partir de pequenos desvios de seu estado de equilíbrio, todas as variáveis endógenas retornarem ao estado inicial, ou a outro estado de equilíbrio, à medida que o tempo passa. Resumidamente, pode-se dizer que sistemas dinâmicos estáveis são aqueles nos quais pequenas modificações das condições iniciais produzem pequenos efeitos sobre a resposta do sistema. Por outro lado, um sistema dinâmico é dito instável quando pequenas modificações nas condições iniciais se amplificam ao longo do tempo; são os chamados sistemas caóticos. Os sistemas caóticos são exemplos extremos de sistemas instáveis, pois as trajetórias que correspondem às pequenas variações nas condições iniciais divergem de maneira exponencial ao longo do tempo.

² Variáveis endógenas são aquelas cujos valores são determinados pelo modelo.

³ Variáveis exógenas são aquelas cujos valores são determinados fora do modelo, como por exemplo, a demanda do consumidor final.

⁴ A transformada Z é utilizada para transformar as equações à diferença, que governam o comportamento de um sistema dinâmico discreto em equações algébricas, mais simples de resolver do que equações originais, e capazes oferecer uma visão do comportamento dinâmico do sistema.

círculo no sistema que, do contrário, não existiria. O *feedback* é o coração das cadeias de suprimentos, uma vez que os fluxos de informações deslocam-se, ao longo do tempo, em dois sentidos – tanto a montante, como a jusante na cadeia. Ou seja, qualquer decisão tomada por um dos níveis da cadeia no período corrente terá influência sobre as decisões futuras tomadas pelos demais níveis.

A quarta justificativa refere-se à inclusão dos custos de transporte como variáveis relevantes para otimização do desempenho global da cadeia e para a avaliação das trocas compensatórias, quando múltiplos objetivos forem considerados simultaneamente. Na bibliografia especializada, até o momento, não se encontrou um sistema de modelagem que fosse, ao mesmo tempo, de controle ótimo e multiobjetivo – modelo de controle ótimo multiobjetivo –, e que considerasse os custos de transporte como variável relevante para a otimização global do desempenho da cadeia de suprimentos.

As considerações aqui apresentadas cristalizam-se em fortes razões para se acreditar que a reunião de duas técnicas de modelagem: controle e otimização multiobjetivo – onde os custos de transporte são considerados como variáveis relevantes – poderá se constituir em um método sistemático de apoio à decisão, em qualquer cenário em que a cadeia de suprimentos estiver inserida.

A contribuição deste trabalho de pesquisa reside na reunião de um modelo de controle estável com modelos de otimização multiobjetivos, para preencher o espaço destinado à análise de sistemas dinâmicos complexos, onde múltiplos objetivos são considerados simultaneamente. Acredita-se que com esse tipo de modelagem poderá oferecer resultados relevantes sobre a evolução dinâmica da cadeia de suprimentos no que tange às trocas compensatórias entre as diferentes variáveis de cada nível da cadeia, juntamente com a magnitude do efeito chicote e do nível de satisfação do cliente final, quando múltiplos

objetivos forem otimizados simultaneamente com a função representativa do critério de desempenho global da cadeia de suprimentos.

1.4 LIMITAÇÕES

O gerenciamento da cadeia de suprimentos é uma área de conhecimento muito ampla, envolvendo diversas linhas de pesquisa de caráter multidisciplinar. Na vasta bibliografia sobre o tema, têm-se diversas taxionomias de seu universo de abrangência e dos modelos utilizados no SCM (CROOM; GIANNAKIS, 2000). Nas pesquisas mais recentes, a taxionomia dos processos de modelagem propostos para tratar o planejamento integrado da cadeia de suprimentos é mais restrita. Essas pesquisas podem ser categorizadas em dois grandes grupos de desafios impostos ao SCM, juntamente com os respectivos processos de modelagem, tradicionalmente, propostos para enfrentá-los (DEJONCKHEERE et al. 2004).

O primeiro grupo refere-se à propagação da variabilidade da demanda – ou efeito chicote– e os principais tipos de modelos que têm sido utilizados para entender e enfrentar esse fenômeno. O segundo grupo refere-se aos estudos que tem como foco de interesse a avaliação de objetivos conflitantes e as respectivas trocas compensatórias tratados por meio da modelagem multiobjetivo. A Figura 1 apresenta os dois grupos de desafios e os respectivos processos de modelagem, bem como o tema específico dessa pesquisa, representado pela área sombreada.

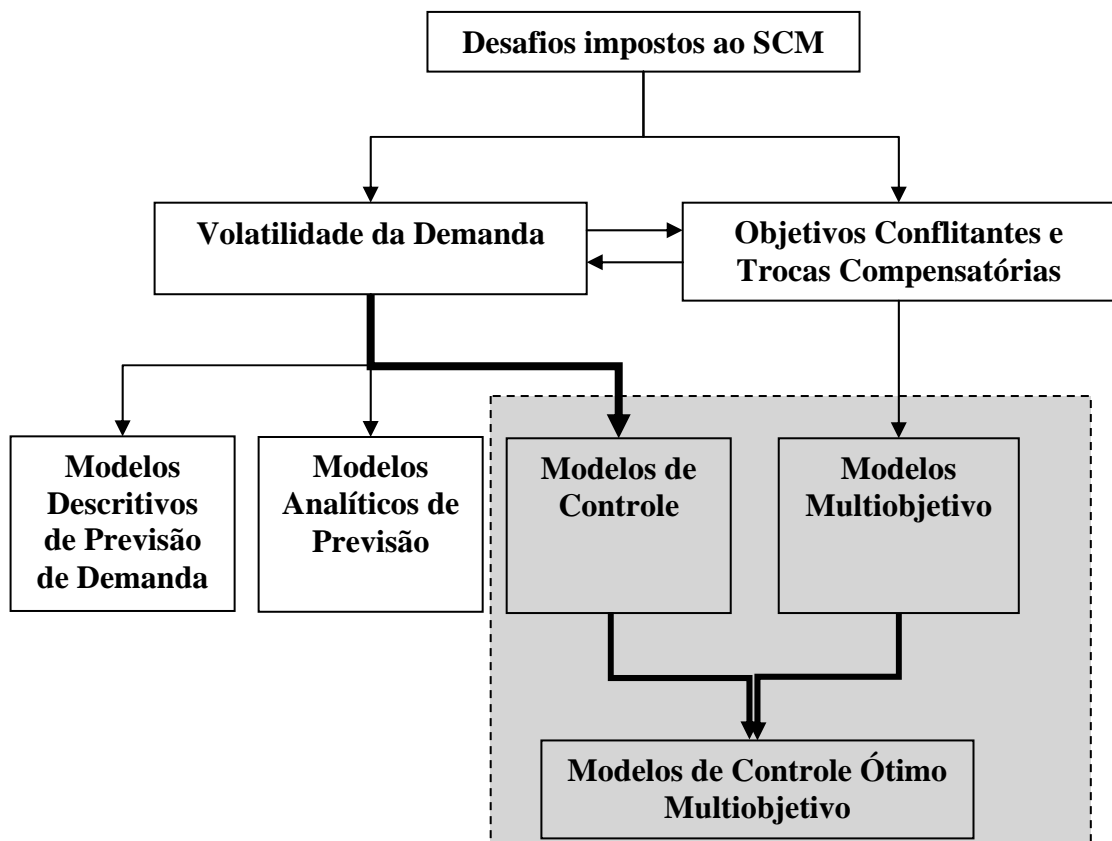
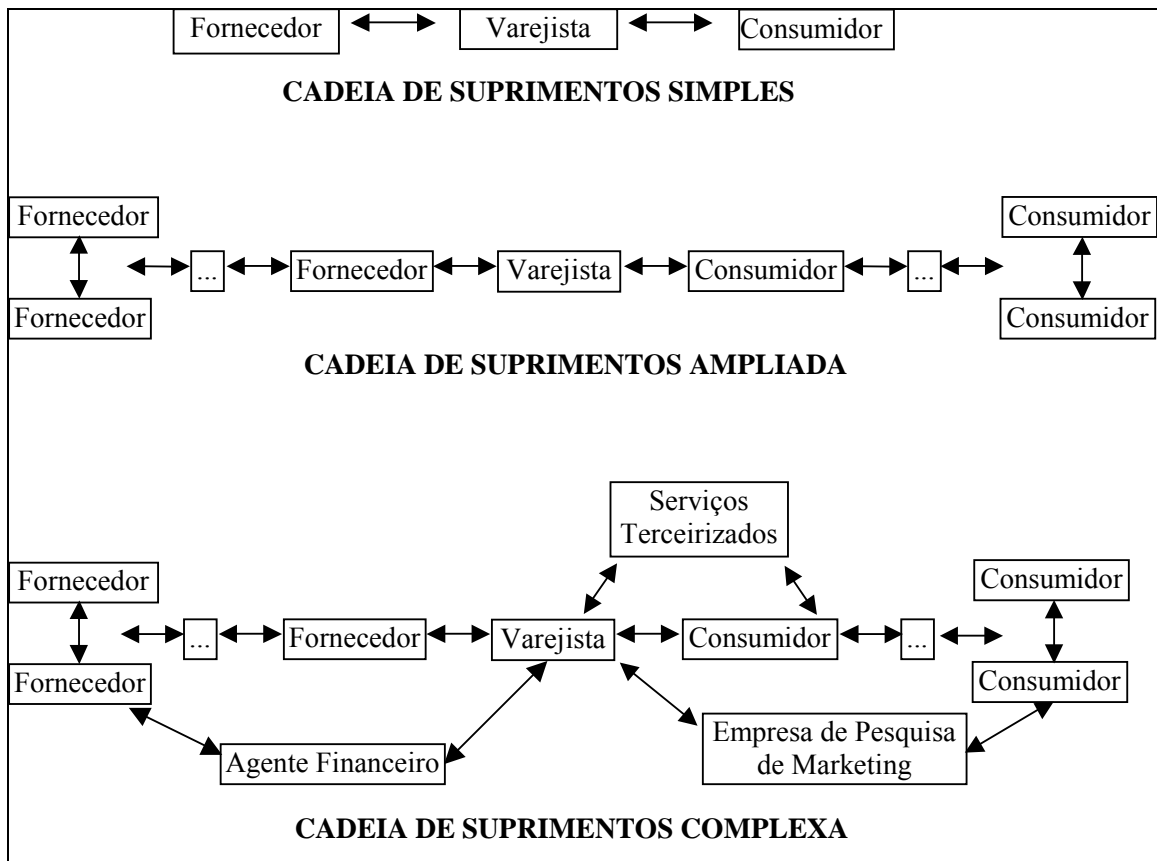


Figura 1 Principais desafios impostos ao SCM e modelagem utilizada

A segunda limitação diz respeito ao tipo de cadeia sob estudo. Conforme Mentzer et al. (2001), existem três conformações básicas utilizadas para representar a cadeia de suprimentos. A primeira conformação representa o tipo mais simples de cadeia de suprimentos. Essa é constituída por um varejista, um fornecedor e um consumidor responsáveis pela dinâmica dos fluxos de produtos, serviços, financeiros, e de informações, tanto a montante, como a jusante na cadeia de suprimentos. A segunda conformação representa uma cadeia de suprimentos ampliada, que é constituída de um fornecedor, o fornecedor do fornecedor, o varejista, o consumidor e o consumidor do consumidor. A terceira conformação, denominada cadeia de suprimentos complexa, abrange todas as organizações que estão envolvidas nos diferentes níveis da cadeia, até chegar ao consumidor final. A 0 sumariza os três tipos de cadeia de suprimentos.



Fonte: Mentzer et al. (2001)

Figura 2 Diferentes conformações de cadeia de suprimentos

Este estudo limita-se a considerar uma cadeia de suprimentos ampliada – conhecida como cadeia da cerveja –, constituída de quatro integrantes: produtor, atacadista, distribuidor e varejista. Este tipo de cadeia está representado pela Figura 3, onde as linhas contínuas representam o fluxo do produto e as tracejadas o fluxo de informações.

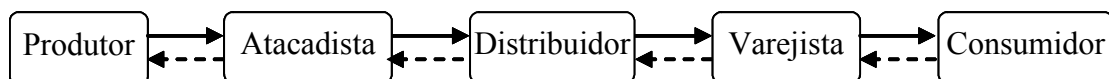


Figura 3 Cadeia da cerveja

A cadeia da cerveja foi proposta por Forrester (1958) para apresentar um modelo dinâmico de gerenciamento da cadeia de suprimentos⁵, considerando um *feedback* de informações. O autor simula o fluxo de materiais e informações em um canal simplificado de produção e distribuição de um único produto, composto por quatro integrantes: fabricante, distribuidor, atacadista e varejista. Até hoje, essa estrutura de cadeia é utilizada no conhecido Jogo da Cerveja – *Beer Game*⁶, para mostrar a propagação da variabilidade da demanda – efeito chicote. Nesse jogo, as decisões sobre os pedidos de reabastecimento são tomadas, considerando que apenas o varejista observa a demanda final. Assim, os demais participantes precisam realizar suas previsões de reabastecimento, baseando-se nos pedidos que chegam a partir dos níveis a jusante na cadeia.

Para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, a modelagem da cadeia da cerveja será especificada considerando, para cada período de planejamento, e para cada nível da cadeia, as relações funcionais entre: (i) o tamanho dos pedidos realizados; (ii) a posição do pedido; (iii) a posição de estoque desejada; (iv) a posição de estoque; (v) o nível de estoque; (vi) o nível de serviço ao cliente; (vii) o custo médio de estoque e (viii) os custos de transporte.

Além disso, na modelagem da cadeia da cerveja será considerada uma regra de controle para relacionar a posição de estoque desejada com a posição de estoque corrente. Essa regra tem por finalidade controlar o total de pedidos colocado pelo nível a jusante ao

⁵ Esse modelo, também conhecido como *Forrester Model* foi desenvolvido no MIT, Massachusetts Institute of Technology e serviu, tanto para inspirar diversos trabalhos sobre o gerenciamento da cadeia de suprimentos e o surgimento do efeito chicote, como para introduzir as versões do Jogo da Cerveja – *Beer Game*.

⁶ O Jogo da Cerveja – *Beer Game* – é uma simulação computacional para representar o fluxo de informações e de produtos na cadeia de suprimentos. Ao contrário da maioria dos jogos de empresas, nesse jogo as empresas (equipes) devem ser geridas de maneira cooperativa e têm um objetivo comum: minimizar o custo total da cadeia de suprimento. Sua relevância no processo de aprendizagem é indiscutível, pela forma como evidencia a importância do Supply Chain Management. Esse jogo tem sido aplicado em muitas escolas de negócios e departamentos de engenharia industrial, como parte de módulos de gestão da cadeia de suprimentos para demonstrar o efeito chicote (SIMCHI-LEVI, 2003).

nível a montante na cadeia, de modo que os objetivos pretendidos sejam atingidos. Os parâmetros representativos dos custos de transporte e dos custos de manutenção de estoque serão incorporados nas diversas funções-objetivo. Essas deverão ser otimizadas, simultaneamente, em um horizonte finito de tempo. Cada função-objetivo estará representando, tanto os interesses individuais de cada participante da cadeia, como os interesses conjuntamente estabelecidos por eles.

1.5 MÉTODO DE TRABALHO

Um modelo nada mais é do que uma representação simplificada de um sistema funcionando na prática. Essa representação pode ser feita das mais variadas formas, incluindo explicações verbais, gráficos, equações matemáticas, estruturas físicas e programas de computador. Todos esses modelos possuem a mesma finalidade; fazer com que um sistema de difícil compreensão e de manipulação arriscada seja apresentado em um formato de compreensão mais fácil, oferecendo menos riscos na hora de testá-los (TAYLOR, 2004). No universo de abrangência do SCM, independente de sua forma de representação, a maioria dos modelos é especificada para analisar e gerar previsões sobre o modo como uma cadeia de suprimentos se comportaria frente a diferentes futuros plausíveis – diferentes cenários.

Este trabalho de pesquisa é de natureza analítica-normativa, uma vez que propõe o desenvolvimento de um modelo de controle ótimo multiobjetivo para análise e compreensão da dinâmica da cadeia de suprimentos, quando inserida em um processo de planejamento conjunto e colaborativo.

A pesquisa tem objetivo prático na medida em que investiga e consolida conhecimentos sobre a dinâmica da cadeia de suprimentos, através de um conjunto de cenários tratados por meio da modelagem de controle ótimo multiobjetivo, embasada sob o

ponto de vista prático do planejamento integrado da cadeia de suprimentos. A estrutura básica do processo de construção do modelo desta pesquisa segue a esquematização apresentada na Figura 4.

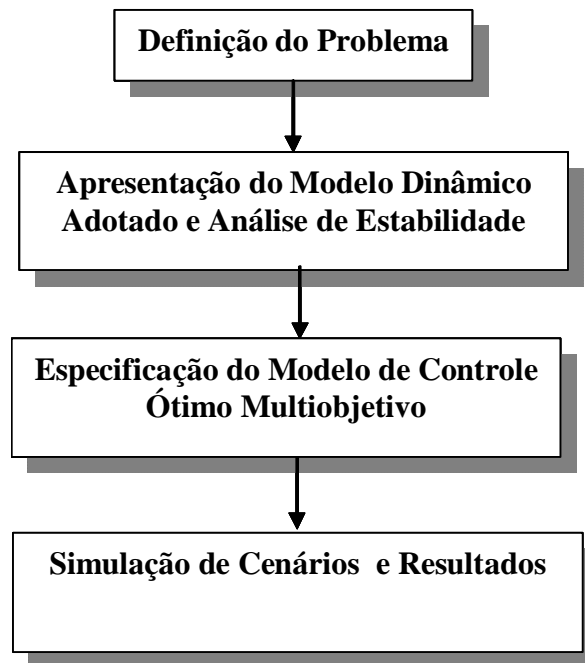


Figura 4 Estrutura do método de trabalho

1.5.1 Etapas do Método

As principais etapas do método apresentadas na Figura 4 são: (i) definição do problema; (ii) apresentação do modelo de controle adotado para representar a dinâmica da cadeia de suprimentos – estado do sistema – e sua análise de estabilidade; (iii) especificação do modelo de controle ótimo multiobjetivo; (iv) simulação de cenários e análise dos resultados.

A primeira etapa do método de trabalho compreende a definição do problema. Esse consiste na proposta de um modelo de controle ótimo multiobjetivo, considerando os custos de transporte como variável relevante no processo de decisão sobre políticas de pedido.

A segunda etapa do método de trabalho consiste na apresentação do modelo de controle adotado para a cadeia de suprimentos. Nessa etapa serão explicitadas, detalhadamente, as equações de equilíbrio que representam a dinâmica da cadeia de suprimentos. Também será apresentada a análise de estabilidade do modelo, sob diferentes hipóteses referentes à dinâmica da cadeia. O modelo adotado é o proposto por Lin et al. (2004). A adoção desse modelo reside em duas qualidades marcantes: a primeira refere-se à simplicidade com que as principais interrelações dinâmicas da cadeia de suprimentos são generalizadas. A segunda qualidade refere-se ao fato de esse modelo ser dinamicamente estável.

A terceira etapa do método de trabalho consiste na especificação do modelo de controle ótimo multiobjetivo, e da implementação das diferentes funções-objetivo que serão utilizadas no planejamento conjunto e colaborativo da cadeia de suprimentos – planejamento por cenários.

Na quarta etapa são realizadas as simulações dos cenários, considerando a otimização simultânea de diferentes funções-objetivo juntamente com função-critério adotada para representar o desempenho global da cadeia de suprimentos – a função representativa da lucratividade total da cadeia. Cada cenário será construído de modo a atender os objetivos específicos propostos neste trabalho. Ainda nesta etapa apresentam-se os resultados obtidos.

Todas essas etapas devem culminar em um método sistemático de apoio à tomada de decisão em um processo de planejamento conjunto e colaborativo de uma cadeia de suprimentos com quatro níveis e um produto, considerando os custos de transporte como variáveis relevantes para a otimização da lucratividade total da cadeia de suprimentos.

1.6 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está organizada em quatro capítulos. O presente capítulo apresenta o contexto do estudo, através do tema e sua importância, os objetivos e as limitações do trabalho, o método utilizado na pesquisa.

O Capítulo 2 consiste no referencial teórico utilizado para o desenvolvimento deste trabalho. São apresentados os principais aspectos sobre a modelagem tradicionalmente proposta na literatura para tratar os principais desafios impostos ao SCM: volatilidade da demanda, objetivos conflitantes e trocas compensatórias. Nesse capítulo é dada ênfase aos modelos descritivos de previsão de demanda e aos modelos analíticos de previsão utilizados no SCM.

No Capítulo 3 desenvolve-se o objeto central desta pesquisa. Esse capítulo está dividido em duas partes. Na primeira parte, apresenta-se o modelo de controle adotado para representar a dinâmica da cadeia de suprimentos e sua análise de estabilidade. Na segunda parte, desenvolve-se o tema foco deste trabalho; um modelo de controle ótimo multiobjetivo para servir de apoio à tomada de decisão em um processo de planejamento conjunto e colaborativo da cadeia de suprimentos. Nessa etapa, especificam-se as diversas funções-objetivo, que deverão ser otimizadas simultaneamente com a função-critério utilizada para avaliar o desempenho global da cadeia, as restrições da cadeia, as condições iniciais e os parâmetros estabelecidos para realizar as simulações de diferentes cenários. Por último são apresentados os cenários simulados, os resultados e as considerações finais sobre os resultados obtidos.

No Capítulo 4 apresentam-se a conclusão do trabalho e as sugestões para pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2. DA LOGÍSTICA AO SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: PRINCIPAIS DESAFIOS

A cadeia logística, também denominada cadeia de suprimentos, pode ser definida como um grupo de empresas que fornecem todos os processos necessários para a fabricação e distribuição de um produto até o consumidor final. A cadeia é concebida como um processo que integra a movimentação de informações e de materiais, desde a saída de mercadorias do fornecedor, passando pela transformação nas fábricas, chegando ao consumidor final. É um processo dinâmico que pode ser estruturado em três grandes estágios, onde cada um deles pode ser composto por diversas empresas em diferentes localidades.

O primeiro desses estágios refere-se à Logística de Suprimentos, que encerra as relações entre fornecedor e cliente. Fazem parte desse bloco, as atividades necessárias para a pesquisa e o desenvolvimento conjunto de produtos, para a garantia da disponibilidade das matérias-primas de qualidade e dos componentes e embalagens, no momento e nas quantidades necessárias para atender aos requisitos do processo de fabricação. Nesse estágio são estruturados os planos estratégicos de fornecedores e clientes com a finalidade de racionalizar recursos para reduzir custos e desenvolver novos produtos.

O segundo estágio é caracterizado pelas relações de produção, ou seja, a Logística de Produção, cuja principal preocupação é sincronizar a produção às demandas dos clientes. Nesse estágio não existe, pelo menos de forma direta, qualquer relacionamento externo. Suas funções são totalmente desenvolvidas pela empresa produtora, e envolvem as atividades responsáveis pela transformação de materiais em produto acabado, procurando conhecer a demanda dos clientes para planejar um processo sincronizado de produção. Suas estratégias são baseadas na demanda, ou seja, nas necessidades do cliente, procurando atingir sempre

processos flexíveis de produção com altos níveis de qualidade. Nesse estágio, as prioridades são direcionadas ao planejamento do tamanho ótimo de lotes de produção e pelas datas de entrega ao cliente.

O último estágio é a Logística da Distribuição que se caracteriza pelo relacionamento entre empresa, cliente e consumidor. Suas atividades referem-se à distribuição física do produto acabado até os pontos-de-venda ao consumidor, assegurando que os pedidos sejam pontualmente entregues, precisos e completos. São formadas alianças com parceiros dos canais de distribuição, a fim de atender às necessidades dos clientes e minimizar os custos de distribuição, através de um sincronismo entre demanda, fabricação e distribuição. Nesse estágio fica evidente a preocupação com a satisfação plena do cliente, entendendo como tal não somente o consumidor final, como também todos os elementos intermediários, que por sua vez são clientes dos fornecedores que os antecedem na cadeia de suprimentos.

Historicamente, esses três principais estágios – ou níveis – da cadeia de suprimentos têm sido gerenciados de forma independente. Ou seja, a partir do conhecimento específico de tarefas individuais, a coordenação das funções logísticas desses níveis da cadeia é feita de forma isolada, direcionando esforços para as tomadas de decisão que levem à otimização individual de cada empresa.

No período compreendido entre o final da década de 80 e meados da década de 90, esses três estágios da cadeia de suprimentos passaram por importantes transformações, atingindo a fase da Logística Integrada. Nessa fase, as funções logísticas são executadas, integrando a logística de suprimentos, *inbound logistics*⁷, com a logística de distribuição, *outbound logistics*⁸. Essa fase ficou caracterizada pela integração entre a gestão de

⁷ *inbound logistics* é o processo utilizado para abastecer a manufatura com matéria-prima e componentes.

⁸ *outbound logistics* é o processo de deslocamento de produtos acabados, desde a manufatura até o consumidor final.

materiais – ligando fornecedores e manufatura – e a gestão da distribuição física do produto – ligando distribuidores, atacadistas, varejistas e consumidor final.

Para atender às pressões por melhorias de produtividade impostas por mercados cada vez mais competitivos, os executivos de logística começaram a desempenhar as funções de coordenadores interfuncionais, transcendendo a própria empresa, com o objetivo de facilitar o relacionamento com os demais níveis da cadeia. Desse modo ficou evidenciada a tendência de as empresas abandonarem a coordenação independente das funções logísticas, para atingirem um desempenho satisfatório das cadeias nas quais encontram-se inseridas.

As empresas empenharam-se no desenvolvimento de técnicas e sistemas otimizados que lhes permitissem sustentar suas margens de lucro individual. Surgiram os programas de Gestão da Qualidade Total e o conceito de Produção Enxuta. Esses programas incentivaram o surgimento de novos conjuntos de técnicas e procedimentos, ainda muito utilizado, como *Just in Time*, JIT, Desdobramento da Função Qualidade, Sistemas Flexíveis de Fabricação e Planejamento das Necessidades de Material. Essas técnicas constituem-se em sistemas transacionais, que tendem a focalizar as atividades logísticas no nível operacional das empresas, ligando a Logística de Suprimentos e a Logística de Produção.

No final da década de 90, com a intensa globalização dos mercados, as empresas perceberam-se inseridas em um ambiente economicamente desafiador e passaram a focar sua atenção na cadeia de suprimentos. As organizações competitivas iniciaram uma incessante busca por meios alternativos e eficazes de conduzir seus produtos e serviços, desde a concepção e criação, até o consumidor final.

Nesse novo cenário, as empresas que desempenhavam as atividades da logística *inbound* e *outbound* passaram a atuar de forma mais estratégica, na tentativa de obter os

melhores resultados possíveis, em termos de redução de estoques, de desperdícios, de minimização de custos e de agregação de valor para o consumidor final.

Essa nova dinâmica empresarial propiciou a otimização dos custos operacionais das empresas, induzindo-as a pesquisar por trajetórias de atuação capazes de oferecer a possibilidade de aumento de lucros e maior participação no mercado. Muitas empresas perceberam que, com o planejamento e o gerenciamento eficaz da cadeia de suprimentos, o potencial de ganhos pode ser aumentado (SIMCHI-LEVI, 2003).

Conforme Christopher (2001), atualmente as empresas já não concorrem umas com as outras individualmente; são as cadeias de suprimentos que concorrem entre si. Esse ponto de vista está fundamentado no fato de que quando as organizações trabalham de forma independente de seus fornecedores e clientes, tendem a desenvolver custos maiores e ineficiências em suas interfaces. No entanto, à medida que as diferentes atividades logísticas evoluem na direção de um sistema em rede, aumentam as necessidades de integração e colaboração entre os diferentes níveis da cadeia.

A integração e colaboração entre os níveis da cadeia de suprimentos requerem que a cadeia seja entendida como um sistema dinâmico único. Para tanto, é essencial o conhecimento das complexidades dinâmicas advindas da intensa correlação entre as decisões tomadas nos diferentes níveis da cadeia. Todos os processos do sistema precisam ser compreendidos, uma vez que todos interagem uns com os outros. A procura do entendimento dessas complexidades tem caracterizado a evolução da logística integrada para uma nova fase de percepção da cadeia de suprimentos: é a fase gerenciamento da cadeia de suprimentos – *Supply Chain Management*, SCM.

O conceito de SCM defende a integração dos canais de distribuição – conceito bastante consolidado em marketing, para a comercialização e distribuição de bens e

serviços –, por meio da coordenação de processos de negócios, que interligam seus diversos participantes. É uma abordagem que vai além de uma simples extensão da Logística Integrada. Enquanto essa representa a integração das atividades internas às empresas, aquele representa sua integração externa.

O fundamento básico do SCM é a criação de um esforço unificado para construir uma rede otimizada de organizações, produzindo economias para serem compartilhadas por todos os participantes, enquanto estabelece vantagem competitiva no mercado selecionado. Esse conceito está baseado na convicção de que, relações comerciais bem sucedidas têm maior probabilidade de ocorrer, quando as empresas cooperam entre si no planejamento e na operação.

O SCM está alicerçado em três princípios. O primeiro princípio estabelece que a cadeia de suprimentos deve ser entendida como um todo único, de modo a considerar a influência que as tomadas de decisão de qualquer nível da cadeia exercem sobre os demais. Esse princípio evidencia que todos os níveis atuam em um ambiente de ações fortemente correlacionadas. O segundo princípio diz respeito ao fato de o SCM se constituir de decisões estratégicas que devem ser tomadas em conjunto, de modo a otimizar os objetivos previamente estabelecidos, considerando as restrições de cada nível da cadeia. O terceiro princípio estabelece que um comportamento colaborativo pode diminuir os riscos de investimento em altos níveis de estoque, favorecendo a eficiência e a eficácia de todo o processo logístico. Atender esses princípios requer mudança nos paradigmas ainda vigentes. É importante que os responsáveis pelas tomadas de decisão tenham consciência da influência que suas ações exercem sobre o desempenho e ações dos demais níveis integrantes da cadeia de suprimentos.

Na bibliografia especializada, têm-se diversas propostas de modelos especificados com o objetivo de considerar as dependências mútuas que existem entre as tomadas de decisão individuais, em busca de melhor integração e coordenação das funções da cadeia de suprimentos. Apesar de esses modelos apresentarem natureza bastante variável⁹ e alicerçados pelas mais diversas hipóteses, podem ser classificados em dois grandes grupos.

O primeiro grupo de modelos é formado pelos modelos especificados com o objetivo de enfrentar a propagação da variabilidade da demanda. Nesse grupo, os principais tipos de modelos abordados são os modelos descritivos de previsão de demanda – utilizados para prever o padrão de comportamento da demanda –, os modelos analíticos de previsão – utilizados para prever como a cadeia reagiria sob determinadas decisões – e os modelos analíticos de controle – utilizados para controlar as tomadas de decisão na cadeia, de modo a atingir objetivos estabelecidos.

No segundo grupo estão inseridos os modelos especificados para abordar os desafios impostos ao SCM e que se referem à existência de objetivos conflitantes e de trocas compensatórias entre os diversos níveis da cadeia; são os modelos multiobjetivos.

A seguir apresenta-se uma revisão sobre a propagação da variabilidade da demanda e os processos de modelagem associados com esse campo de estudo. Após é feita uma apresentação sobre os principais trabalhos que envolvem objetivos conflitantes e trocas compensatórias na cadeia de suprimentos, e os modelos associados a essa área de pesquisa.

⁹ Esses modelos podem ser classificados quanto a sua natureza determinística ou estocástica, ou ambas (modelos híbridos). Também podem ser considerados quanto a sua natureza estática ou dinâmica e, também, quanto aos métodos de solução: simulação, solução analítica, ou técnicas heurísticas de solução.

2.1 VOLATILIDADE DA DEMANDA

A volatilidade dos mercados aflige constantemente a maioria das organizações. Em situações onde a demanda flutua, muitas vezes em função do cenário competitivo – variações de preço –, outras vezes em função das políticas gerenciais das empresas – alterações no tamanho do pedido –, o nível previsto de demanda sempre apresentará desvios em relação ao nível de demanda efetivamente observado. A propagação desses desvios, ao longo da cadeia, é denominado de efeito chicote¹⁰.

O primeiro trabalho acadêmico que descreve o efeito chicote é devido a Forrester (1958) que chamou atenção para o fato de a variância da demanda percebida pela indústria ser bem maior do que a variância efetiva da demanda final. Na seqüência surgem muitos trabalhos salientando que o efeito chicote permanece como um problema crítico no SCM, (LEE et al. 1997; METTERS, 1997; SIMCHI-LEVI et al. 2003; DORNIER et al. 2000; DEJONCKHEERE, et al. 2003; DISNEY et al. 2005). Conforme Dornier et al. (2000), uma pequena variação ou flutuação na demanda real do cliente pode bater o chicote para os fornecedores, ao longo da cadeia, levando-os a enfrentar situações de superprodução e de ociosidade.

Na maioria das cadeias encontram-se diferentes situações; de um lado, um ambiente onde a fabricação ocorre somente por encomendas. De outro lado, a situação usualmente encontrada na prática; somente o último nível da cadeia entra em contato com a demanda final. De forma geral, em uma cadeia de suprimentos, composta de manufatura, atacadistas, distribuidores e varejistas, as vendas do varejista corresponde à demanda real. O varejista

¹⁰ Um exemplo clássico sobre o “efeito chicote” é o da Procter & Gamble (P&G). A empresa verificou que os pedidos de matérias-primas realizados para seus fornecedores apresentavam uma significativa variação, ao longo do tempo. Ao analisar as vendas dos varejistas, a empresa descobriu que essas oscilações eram bem menores do que as apresentadas pelos fornecedores. Apesar de o consumo final ter se mostrado estável, os pedidos de matérias-primas eram altamente variáveis, aumentando os custos e dificultando, em muito, a tarefa principal da cadeia: satisfazer a demanda dos “bebês”.

repõe o seu estoque através de pedidos para o distribuidor, sendo que nesse caso, o pedido do varejista se torna a demanda do distribuidor. O distribuidor, por seu turno, emite os pedidos para o atacadista, que emite pedidos para a empresa de manufatura. Esse ciclo se repete indefinidamente, deixando um rastro de incertezas ao longo da cadeia, e ao longo do tempo.

À medida que o fluxo de informação sobre a demanda se desloca para os níveis a montante na cadeia, o padrão da demanda se torna errático e variável, dificultando o conhecimento da demanda real do produto. O efeito chicote surge, portanto, com a volatilidade que ocorre como resultado dos pedidos erráticos enviados pelos níveis a jusante na cadeia (LEE et al. 1997).

Devido à propagação da variabilidade da demanda, são diversas as conseqüências observadas na cadeia de suprimentos. Uma delas refere-se ao aumento global de custos, que ocorre devido às tomadas de decisão sobre políticas de pedido e estoque. Quando existe a possibilidade de falta de produto, os clientes dos fornecedores tendem a decidir pela elevação dos estoques de segurança. Em conseqüência, o aumento do tamanho dos pedidos é superestimado, em relação à demanda real. Os fornecedores, por sua vez, para atenderem os pedidos recebidos, protegem-se dessa variabilidade, aumentando seus estoques e, portanto, ampliando os custos de fabricação por unidade. Em sistemas com longos *lead time*, os estoques de segurança são compostos por produtos suficientes para suprir alguns períodos de demanda futura. Contudo, à medida que a variabilidade da demanda se propaga, provoca um aumento desnecessário no tamanho dos pedidos e, conseqüentemente, nos estoques, provocando mais uma vez o aumento de custos.

Com o efeito chicote, torna-se evidente a importância do gerenciamento de estoques e das políticas de pedidos a serem realizados na cadeia. Além disso, ao longo do tempo, as exigências de transporte, tanto para clientes, como para fornecedores, estão fortemente

correlacionadas com a satisfação dos pedidos. Essas exigências oscilam significativamente, provocando aumentos nos custos, uma vez que a capacidade excedente de transporte precisa ser mantida para atender os períodos de alta demanda.

Nesse contexto, o nível de serviço ao cliente torna-se um importante fator de preocupação dos responsáveis pelas tomadas de decisão. Na maioria das cadeias, o nível de serviço é visto como um diferencial competitivo e, portanto, considerado como o principal objetivo a ser atingido. Na maioria das vezes, para prestar um nível de serviço adequado, a decisão tática tomada individualmente pelas unidades organizacionais consiste no aumento dos níveis de estoque, cujos custos se refletirão no desempenho global da cadeia de suprimentos.

Muitos trabalhos abordam as conseqüências do efeito chicote sobre o desempenho da cadeia de suprimentos. Heikkilä (2002) afirma que a busca de um nível de serviço, que atenda satisfatoriamente as necessidades dos clientes, se tornará mais fácil se houver um sistema de planejamento conjunto para a cadeia de suprimentos.

Alguns autores defendem a formação de alianças estratégicas com o objetivo de promover a união de forças de clientes e fornecedores, visando enfrentar o efeito chicote (GUNASEKARAN et al. 2001).

Outros trabalhos salientam que o efeito chicote prejudica a confiança necessária que deve existir nos relacionamentos entre os diversos níveis da cadeia. Em situações de decisões individuais, cada nível da cadeia pode acreditar que está trabalhando em seu estado de melhor desempenho e, conseqüentemente, tende a responsabilizar os outros níveis por eventuais falhas. Esse tipo de comportamento está baseado em percepções inadequadas do valor do bom relacionamento entre os diversos níveis da cadeia. É um obstáculo que precisa ser superado para enfrentar as conseqüências da propagação da variabilidade da demanda, de modo a não

inviabilizar qualquer possibilidade de integração, coordenação e otimização da cadeia (DISNEY et al., 2005).

A partir do entendimento das conseqüências do efeito chicote, esforços são realizados em busca da redução da quantidade de suprimentos e de melhor atendimento às exigências dos consumidores. Tal ambição precisa de métodos sistemáticos de otimização. Esses métodos devem indicar os procedimentos adequados para melhor antecipar a demanda e reduzir as necessidades de estoque para níveis mínimos. Com um sistema desse tipo, os parceiros de negócios terão condições de transferir os produtos de maneira rápida, nos períodos previamente combinados, beneficiando-se das melhores práticas desempenhadas em todos os níveis da cadeia.

Conforme Metter (1997), a propagação da variabilidade da demanda fica mais acentuada quando existe total falta de colaboração na cadeia de suprimentos. Ou seja, quando cada nível procura otimizar apenas seu próprio objetivo, sem considerar o impacto que esse padrão de atuação pode provocar no desempenho global da cadeia. O autor salienta que uma das principais causas do efeito chicote é a falta de compreensão das conseqüências de tomadas de decisão individuais no desempenho global da cadeia de suprimentos.

Para enfrentar esse problema os diferentes níveis da cadeia devem ter uma relação pautada pela troca intensiva de informações sobre a demanda do consumidor final. A estratégia é projetar uma trilha de comunicação entre o sinal de demanda do consumidor final e os níveis a montante na cadeia. As decisões de produção, distribuição e entregas devem ser tomadas com base nas informações sobre a real necessidade do consumidor final, que devem ser compartilhadas por todos os níveis da cadeia (Christopher, 2000). Nesse sentido, são muitos os trabalhos que abordam o efeito chicote, relacionando-o aos modelos de previsão de demanda.

Na próxima seção apresenta-se uma revisão geral e uma taxionomia para os principais tipos de modelos desenvolvidos para enfrentar a volatilidade da demanda na cadeia de suprimentos. Essa nova taxionomia envolve os modelos descritivos de previsão de demanda e os modelos analíticos de previsão das conseqüências de determinadas decisões, sobre o gerenciamento da cadeia de suprimentos. Apontam-se as principais características dos modelos, seus objetivos e suas deficiências. A seção inicia com algumas considerações sobre modelos de previsão julgadas oportunas para a continuidade deste trabalho.

2.1.1 Modelos de Previsão

Os modelos de previsão utilizados no SCM merecem duas considerações importantes. A primeira delas refere-se ao fato de os modelos quantitativos de previsão serem de dois tipos: modelos descritivos e modelos analíticos. A segunda consideração refere-se à intenção com que uma previsão é realizada; ou se realizam previsões para que os agentes interessados se adaptem aos acontecimentos, ou para que eles decidam sobre que atitude tomar, de modo a exercer influência sobre os eventos futuros.

A previsão realizada com a intenção de adaptação aos acontecimentos encerra as situações comandadas por variáveis que se tem pouco, ou nenhum, controle, como é o caso da demanda do consumidor final¹¹. A previsão realizada com a intenção de influenciar o curso dos acontecimentos compreende situações sobre as quais – através de ações determinadas – provocam-se reações sobre o futuro dos acontecimentos. Nesse sentido, é importante salientar que a previsão não é neutra e, portanto, ela interfere na dinâmica dos acontecimentos. Esse tipo de previsão – realizada para influenciar eventos futuros – está plenamente inserida no gerenciamento da cadeia de suprimentos. É exatamente essa previsão que, quando realizada

¹¹ Geralmente, a previsão de demanda é realizada por meio da análise clássica de séries temporais, de modelos de médias móveis, de modelos de alisamento exponencial e, mais recentemente, por modelos de redes neurais (BALLOU, 1993).

de forma individual, se manifesta deixando um rastro de incertezas, ao longo da cadeia, e ao longo do tempo.

Os dois objetivos – adaptar-se aos acontecimentos ou influenciar o futuro dos acontecimentos – não são mutuamente excludentes, sendo muitas vezes necessário prever essas duas situações: a evolução espontânea dos acontecimentos e as respostas prováveis a determinadas ações. Esses dois casos possuem perspectivas distintas, e um bom método de previsão para um caso não será, necessariamente, bom para o outro. Dependendo da intenção com que uma previsão é realizada, têm-se diferentes tipos de modelos a considerar: os modelos descritivos e os analíticos.

Geralmente, as previsões realizadas com a intenção de se adaptar aos eventos futuros, estão fundamentas por modelos descritivos de previsão de demanda. Esses modelos caracterizam-se por procurar entender e explicar os fenômenos como realmente são; tratam da realidade como ela é. São modelos cujo objetivo é análogo ao de um mapa; apenas oferecem uma representação convencional da área de estudo, para resolver um problema real.

2.1.1.1 Modelos descritivos de previsão de demanda

A partir do uso de tecnologia de informação e da necessidade de relacionamentos colaborativos, muitos programas utilizados nas relações operacionais entre os níveis da cadeia fazem uso dos modelos descritivos de previsão de demanda. Entre esses programas, estão os Programas de Resposta Rápida, PRRs¹². São diversos os tipos de PRRs disponíveis na bibliografia. Entre eles citam-se o programa denominado Resposta Rápida ao

¹² Programas de Resposta Rápida, PRRs, possui muito em comum com os princípios do JIT. O mesmo princípio de produzir apenas com base na demanda é aplicado a diferentes partes da cadeia de suprimentos. produzir

Consumidor – *Efficient Consumer Response, ECR*¹³ – e o Estoque Administrado pelo Fornecedor – *Vendor Managed Inventory, VMI*¹⁴ – (DISNEY et al. 2005). Em linhas gerais, uma das principais vantagens dos PRRs é o conhecimento que o fornecedor tem da demanda do cliente. Esse conhecimento pode levar, indiretamente, à redução dos tempos de resposta, através do aprimoramento das previsões de demanda e da programação das operações. Além disso, são programas que favorecem o conhecimento das quantidades de reposição, através da reação rápida à demanda. Se o fornecedor toma a decisão de reposição, o conhecimento da demanda pode levar à redução da variabilidade na quantidade de reposição de estoque, ao longo do tempo. Disney e Towill (2005) comparam o desempenho esperado de uma cadeia de suprimentos tradicional com uma cadeia onde é empregado o *Vendor Managed Inventory, VMI*. A ênfase dada pelo autor é o impacto que esse programa tem sobre a diminuição do efeito chicote.

Em todos esses programas observa-se a tentativa de diminuir ou eliminar as conseqüências do efeito chicote. São programas operacionais que têm como fundamento o atendimento ao cliente, baseando-se nas informações de demanda e gerenciamento de prazos, visto que o tempo é que faz a junção de todas as partes da cadeia. Machuca (2003) apresenta um trabalho onde avalia o impacto da troca eletrônica de dados na redução do efeito chicote e nos custos de estoque.

Um outro programa de previsão e de troca de informações sobre a demanda é o Planejamento, Previsão e Reabastecimento Colaborativo – *Collaborative Planning Forecasting and Replenishment – CPFR*. Esse programa é estruturado com o objetivo de

¹³ O ECR é uma iniciativa em que fabricantes de produtos alimentares e não alimentares, varejo e atacado trabalham em conjunto para reduzir custos da cadeia integrada e trazer maior valor ao consumidor de supermercado.

¹⁴ No VMI, o fornecedor tem acesso diretamente às informações de planejamento, de vendas e de estoque existentes nas instalações do cliente. A partir desses dados, ele projeta a demanda do produto para os próximos períodos futuros e, com base nessas projeções, efetua a reposição dos estoques de forma automática.

reduzir os níveis de estoque e melhorar os níveis de serviço da cadeia. Tem como base a formação de parcerias, para a elaboração conjunta de previsões de vendas e planos de reabastecimento.

O CPFR tem como principal fundamento o fato de que, por meio de um conjunto de normas e procedimentos, é possível criar processos de negócios onde fabricantes, varejistas e distribuidores concordam em estabelecer objetivos comuns, e compartilhar planos operacionais e de vendas, via transmissão eletrônica de dados. Consiste, basicamente, em um acordo entre os participantes da cadeia, onde ficam estabelecidas as regras de colaboração, as expectativas das empresas, e as respectivas exigências necessárias ao sucesso.

Sob as normas do CPFR, as empresas realizam individualmente suas previsões de vendas e necessidades de reabastecimento. Essas previsões são levadas a um “*fórum de discussão*” onde as eventuais exceções¹⁵ são analisadas, e conjuntamente administradas, para que todos tenham capacidade de atender os pedidos previstos. É um programa mais ambicioso do que o ECR e VMI, uma vez que tem seu foco centrado na previsão conjunta de vendas e reabastecimento, para assegurar que os pedidos estejam alinhados com as vendas previstas. Uma revisão crítica do CPFR é apresentada em Danese et al. (2004).

A evolução natural do CPFR desencadeou em um novo programa de previsão, denominado Gerenciamento Colaborativo do Transporte – *Collaborative Transportation Management, CTM*. Esse novo programa, além dos elementos já pertinentes ao CPFR, incorpora a troca de informações sobre previsões de demanda e reabastecimento com transportadores, integrando-os com as relações cliente-fornecedor.

¹⁵ Como exemplo de exceção, pode-se citar algum plano de promoção que alguns, ou algum, participante da pretenda realizar em determinado período.

No CTM, o fornecedor e o cliente, em conjunto, colaboram com o transportador para que esse possa oferecer uma execução eficaz sobre ações de embarques, coletas, entregas, pagamentos e acompanhamento de desempenho. É um programa onde existe o planejamento do volume de embarque, o qual é realizado com base nas previsões de pedidos. Nesse contexto, o transporte não é mais o último passo no ciclo de reabastecimento. Ao contrário, o transportador está inserido em um planejamento de reabastecimento de estoque para fornecedores e clientes melhorarem os respectivos níveis de serviço, e alcançarem uma cadeia de suprimentos mais equilibrada e competitiva.

O modo como o CPFR e o CTM estão estruturados evidencia que o SCM requer pesada ênfase nas atividades de cooperação, troca intensiva de informações e processos de planejamento realizados de forma conjunta e colaborativa, através de toda a cadeia de suprimentos. Esses programas são exemplos de modelos descritivos de previsão de demanda utilizados no SCM. São programas de atuação que, por meio da descrição do padrão histórico de comportamento da demanda e de avaliações subjetivas, procuram prever a demanda futura, extrapolando tendências e movimentos sazonais, de modo que os interessados possam se adaptar aos acontecimentos.

Os modelos descritivos de previsão de demanda têm uma limitação que merece destaque. Essa limitação reside na hipótese subjacente a esses modelos; os valores futuros da variável prevista são explicados, exclusivamente, por meio de seu comportamento passado. Isso significa que as previsões de demanda, obtidas por meio desses modelos, serão utilizadas adequadamente, se existirem evidências suficientes para se crer que o passado, em média, se repetirá.

Os modelos analíticos de previsão – aqui denominados de modelos de previsão e coordenação logística – possuem uma natureza diferente dos modelos descritivos de

previsão, constituindo-se em ferramentas poderosas para a consideração das interrelações existentes entre as decisões tomadas pelos diferentes níveis que constituem a cadeia de suprimentos. A seguir apresenta-se uma revisão dos modelos analíticos de previsão – modelos de coordenação logística

2.1.1.2 Modelos analíticos de previsão ou de coordenação logística

Com relação às previsões realizadas com a intenção de interferir nos acontecimentos futuros, os métodos tradicionais utilizados são os modelos analíticos de previsão. Diferentemente dos modelos descritivos, nos modelos analíticos de previsão os objetos de estudo são construídos pelo modelador, dando-lhe total controle sobre o modelo. O modelador cria todas as propriedades do universo em estudo. Como consequência, não é necessário olhar para o mundo, buscar dados reais para retirar resultados. As conclusões a que se chega já estão implicadas pelas propriedades do modelo. Nesse sentido, os modelos analíticos estão revestidos de suma importância quando se quiser prever um conjunto de consequências, a partir de diferentes ações e condições iniciais.

São modelos especificados com a intenção de auxiliar os tomadores de decisão a decidirem por políticas de atuação que os ajude a intervir no processo, de modo a atingir determinados objetivos. Na especificação de modelos analíticos utiliza-se a realidade para obter as condições iniciais e as hipóteses que os sustentam. É exatamente o realismo das condições iniciais que propicia a obtenção de conhecimentos relevantes e aplicáveis, uma vez que no modelo são consideradas as principais relações de cunho geral.

Os modelos analíticos são utilizados, fundamentalmente, para tecer julgamentos sobre determinado universo, identificando problemas e prescrevendo soluções. Eles têm como objetivo captar o que é geral e amplamente aplicável. Posto que esses modelos são

construídos para serem aplicados a uma grande variedade de circunstâncias, é necessário abstrair detalhes, fazendo com que sejam desprovidos de conteúdo empírico.

Os modelos analíticos de previsão constituem a quase totalidade dos estudos referentes ao SCM. Esse fato é devido à impossibilidade de se avaliar as conseqüências de diferentes ações sobre a evolução dinâmica da cadeia de suprimentos, se a mesma não for representada de forma analítica.

No contexto do SCM, os modelos de coordenação logística são estruturados por meio de equações representativas das principais interrelações que representam a cadeia de suprimentos. A bibliografia sobre modelos de coordenação logística é rica e abrangente, uma vez que encerra todos os modelos, cuja preocupação central está na avaliação das conseqüências de decisões alternativas sobre o desempenho da cadeia de suprimentos.

No universo do SCM, e no contexto deste trabalho, pode-se estabelecer uma taxionomia constituída de duas grandes categorias de modelos analíticos de previsão. Na primeira categoria, consideram-se os trabalhos cujo foco de interesse reside em analisar a importância da troca de informações entre os níveis da cadeia – tanto do lado da demanda, como do lado da oferta – com o objetivo de evitar ou minimizar o efeito chicote.

Na segunda categoria, estão os modelos analíticos de previsão, estruturados com vistas à compreensão e controle das conseqüências que diferentes decisões possam impor à cadeia de suprimentos. São modelos construídos para se obter maior conhecimento das características dinâmicas da cadeia e suas complexidades. Muitos desses modelos são normativos¹⁶ –, cujo foco de interesse está centrado nas previsões das possíveis conseqüências

¹⁶ Um modelo normativo nada mais é do que um modelo analítico de otimização.

advindas de decisões alternativas sobre políticas de produção, estoque e distribuição. Essa taxionomia está representada na Figura 5.

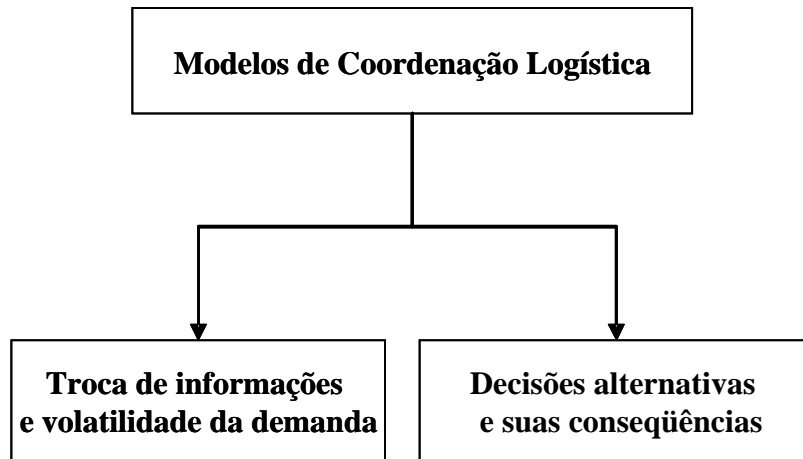


Figura 5 Modelos de coordenação logística

Os trabalhos inseridos na primeira categoria dessa taxionomia – os modelos que envolvem a troca de informações e a volatilidade da demanda – têm como objetivo avaliar o efeito que a troca de informações, entre os níveis da cadeia, exerce sobre a propagação da variabilidade da demanda. Esses trabalhos apresentam diferentes propostas de modelos para medir e demonstrar os benefícios de compartilhar e disponibilizar informações relativas à demanda (DEJONCKHEERE et. al., 2004).

Muitos modelos de coordenação logística são desenvolvidos para avaliar o impacto que diferentes modelos descritivos de previsão demanda têm sobre a variabilidade do tamanho dos pedidos realizados ao longo da cadeia. Chen et al. (2004) apresentam um trabalho no qual quantificam o efeito chicote, considerando uma política de estoque *order-up-to*, a partir de diferentes métodos de previsão de demanda: modelos de médias móveis e modelos de alisamento exponencial. Os autores mostram que modelos de previsão que

utilizam as técnicas de alisamento exponencial podem aumentar o efeito chicote, quando comparados com os modelos de previsão por médias móveis.

Uma complementação desse trabalho é apresentada por Xu et al. (2001). Os autores incorporam a incerteza da demanda em cenários alternativos, com o objetivo de analiticamente examinar as vantagens da coordenação e integração dos níveis da cadeia de suprimentos, através de uma eficiente troca de informações. Os autores mostram o impacto negativo que as decisões tomadas de forma independente, pelos participantes da cadeia, têm sobre a variabilidade dos pedidos realizados.

Fransoo et al. (2001) demonstram como a troca de informações, sobre a demanda e nível de serviço, pode ser usada para melhorar a coordenação de uma cadeia constituída de um fornecedor e diversos clientes.

Enquanto a colaboração na troca de informações sobre a demanda tem sido defendida como fator significativo para diminuir ou eliminar o efeito chicote, a colaboração na troca de informações sobre a oferta – geralmente sobre níveis de estoque – tem sido tratada como um método complementar, tanto para enfrentar o efeito chicote, como para a integração da cadeia de suprimentos. Cachon e Larivieri (2001) salientam que a incorporação de informações sobre o planejamento da oferta, tal como falta de estoque, é de suma importância para o processo de tomada de decisão dos clientes. Os autores apresentam uma revisão bibliográfica sobre os trabalhos que salientam a importância da troca de informações, sobre demanda e oferta, no gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Os trabalhos inseridos na segunda categoria da taxionomia proposta – modelos de previsão e controle das conseqüências de decisões alternativas – exigem que o modelador

analise a estrutura da cadeia, para identificar seus principais componentes, descobrir como esses componentes interagem e reproduzir a essência do comportamento dinâmico da cadeia.

Essa seqüência básica de análise e síntese é a maneira mais segura de compreender sistemas complexos. É o método intrínseco à maioria dos modelos analíticos estruturados com o objetivo de gerar previsões sobre o modo como uma cadeia de suprimentos se comportaria, diante de determinadas decisões. São modelos especificados com o objetivo de desenvolver e avaliar mecanismos de colaboração entre os parceiros de negócios, de modo a identificar os principais fatores que influenciam as decisões na cadeia de suprimentos (FU; PIPLAN, 2004; BEN-DAY, 2004; URBAN, 2005)

No contexto do SCM, os modelos analíticos de previsão estão fundamentados na convicção de que o sucesso no desempenho da cadeia de suprimentos tem maior probabilidade de ocorrer, quando os níveis da cadeia estabelecerem mecanismos de planejamento e colaboração.

De maneira geral, os trabalhos com ênfase na cooperação salientam a necessidade de abandonar os gerenciamentos configurados no poder de barganha, enfatizando que seria melhor para todos os participantes, se o gerenciamento da cadeia estivesse orientado à resolução conjunta de problemas, de modo a aprimorar sua eficiência e eficácia (SCHNEEWEISS, 2003).

É importante salientar que a pesquisa sobre o efeito chicote mostra que a amplificação da demanda pode ser diminuída por uma reestruturação da cadeia de suprimentos. A importância de se reestruturar cadeias de suprimentos, de modo a controlar o fluxo de materiais, de informações e nível de serviço ao cliente tem sido amplamente reconhecida (TOWIL; MCCULLEN, 1999; PUJAWAN, 2003; DEJONCKHEERE et al., 2004; STUCKER, 2005).

Prever as conseqüências de decisões alternativas sobre a cadeia de suprimentos, associando a colaboração na troca de informações, tanto sobre a oferta, como sobre a demanda, têm sido o foco dos modelos de coordenação logística. Tradicionalmente, esses modelos consideram as políticas de estoques, de pedidos e de distribuição como as principais variáveis envolvidas em suas relações funcionais (NARASIMHAN ; MAHAPATRA, 2003). O universo de aplicação desses modelos é abrangente e envolve, desde a troca de informações sobre a demanda e oferta, até a coordenação total e sincronizada da cadeia.

Os modelos de coordenação logística tratam, basicamente, das relações entre clientes e fornecedores, dispensando especial atenção à eficiência e eficácia na gestão dos fluxos de materiais e de informações (THOMAS; GRIFFIN, 1996). Essas relações são especificadas sob uma perspectiva de gerenciamento de estoques, geralmente assumindo a hipótese de que, quando um comprador toma decisões independentes sobre seu pedido, ele o faz baseando-se em sua quantidade econômica de pedido – *Economic Order Quantity, EOQ*. De modo análogo, quando um fornecedor toma decisões independentes sobre a determinação de políticas de reabastecimento ele o faz baseando-se no tamanho econômico do lote – *Economic Lote Size, ELS*.

Entre os modelos de coordenação logística, têm-se muitos trabalhos que utilizam a técnica *just in time*¹⁷ (KIM; HA, 2000). Uma das principais características dessa técnica é a eliminação do excesso de estoque no processo de produção, coordenando o movimento de materiais de cada estação de trabalho, para que cheguem no momento em que são esperados para dar início à operação seguinte. Esse sistema reduz os estoques em todo o processo de

¹⁷ Além buscar a redução da complexidade nas relações de produção e entrega, a filosofia JIT também tem por objetivo diminuir a variabilidade de todas as etapas de fabricação. No caso das cadeias de suprimentos, esse grau de rigor entre produção e entrega, tanto agiliza o movimento dos produtos, como permite entregas com altos níveis de precisão, de modo que os estoques de matérias-primas sejam reduzidos sem causar interrupções no funcionamento da linha de produção. É uma filosofia focada na redução de ineficiências e na redução do tempo improdutivo do processo de produção.

produção, ajudando os fabricantes a diminuir os custos de manutenção e de obsolescência (PUJAWAN, 2003). Lai e Ip (2003) afirmam que a extensão da filosofia JIT para toda a cadeia de suprimentos é de suma importância para o processo de integração entre clientes e fornecedores.

Outros modelos tratam da determinação conjunta de políticas de reabastecimento e de controle de estoque, considerando diversos níveis da cadeia. Para uma revisão sobre o tema referencia-se Axsäter e Zhang (1999). Pujawan (2003) desenvolve um modelo analítico para mostrar como a variabilidade dos pedidos pode ser afetada pelas técnicas de cálculo do tamanho do lote utilizadas na determinação dos pedidos a serem colocados para os níveis a montante na cadeia. O autor observa várias propriedades de duas diferentes regras de cálculo do tamanho do lote sobre a variabilidade dos pedidos colocados pelos níveis a jusante na cadeia, concluindo que um acréscimo apropriado de quantidade extra de pedido poderia reduzir a variabilidade dos pedidos recebidos por esses níveis.

Riddalls e Bennett (2001) desenvolvem um modelo para representar as relações entre as funções de produção e estoque, com o objetivo de examinar o efeito do tamanho do lote sobre a amplificação da variabilidade da demanda a montante na cadeia de suprimentos.

Uma das principais críticas recebidas pelos modelos de coordenação das relações entre clientes e fornecedores refere-se ao fato de esses modelos determinarem a quantidade ótima de pedido, sem considerar o custo de transporte como uma variável que possa influenciar o processo de tomada de decisão sobre o tamanho dos pedidos. Esse fato foi apontado no estudo desenvolvido por Carter e Ferrin (1995) onde os autores mostram que, se os custos de transportes não forem considerados, então a otimização conjunta do desempenho de clientes e fornecedores poderá resultar em custos totais maiores, do que quando apenas a otimização individual for considerada.

Essa é uma crítica que merece credibilidade, uma vez que diversos autores mostram que, se as políticas de reabastecimento de estoque forem determinadas em conjunto, serão mais eficientes e eficazes para o desempenho global da cadeia, do que as determinadas individualmente (BOGASCHEWSKY, 2001; ABAD, 2005). Segundo Dornier et al. (2000), as decisões baseadas em otimizações individuais podem gerar falhas de compreensão sobre o impacto que elas exercem sobre a totalidade da cadeia. Segundo os autores, a falta de conhecimento das causas desse impacto é o processo gerador do efeito chicote.

Muitos modelos de coordenação logística envolvem as relações entre os níveis produção e distribuição da cadeia de suprimentos. Geralmente são modelos normativos que buscam a minimização dos custos logísticos de uma rede de produção e distribuição (WANG et al., 1999; SEO et al., 2002, SUCKY 2005). Outros trabalhos têm como foco a determinação de esquemas de desconto de preços com vistas a maximizar lucros. Um dos principais modelos nessa linha é o de Cakravastia et al. (2003). Os autores apresentam um modelo analítico para a minimizar o nível de insatisfação do consumidor, considerando uma cadeia de dois níveis: um único comprador e um único vendedor. Outro exemplo nesse sentido é o trabalho de Banerjee (2001) que apresenta um modelo para determinação conjunta do tamanho do lote para um sistema formado por um único comprador e um único vendedor.

Entre os modelos que envolvem as relações entre os níveis de produção e distribuição merece destaque o de Benjamin (2003). O autor modela uma rede de distribuição e produção com múltiplos fornecedores e múltiplos pontos de demanda e um único produto. A principal contribuição desse trabalho se constitui no fato de o autor considerar os custos de transporte, para múltiplas categorias de modos de transporte, como variável relevante para otimização do desempenho desses dois níveis da cadeia.

Outros modelos de coordenação logística enfatizam que, em um processo de tomada de decisão, a integração entre diferentes níveis da cadeia envolve forte correlação, tanto entre custos e serviços, como entre estoque, produção e transporte (CARTER; FERRIN 1996; MUNSON; ROSEMBLATT, 2001; ARBID; MARINELLI, 2005). Nessa linha de pesquisa, o foco está na otimização do desempenho total da cadeia. Merece destaque o modelo de Zeng (2001) que trata do problema de encontrar a máxima lucratividade de produção e remessa de quantidades, de um único produto, considerando os custos de transporte. Blumenfeld et al. (1985) e Tyworth (1992) analisam as trocas compensatórias entre os custos de transporte, estoque e produção.

Com relação aos modelos que envolvem custos de transporte, Van Eijs (1994) apresenta um modelo no qual o estoque é composto de vários itens. Nesse modelo o custo de transporte é especificado como função das taxas de frete, do volume transportado e da capacidade de transporte. O autor utiliza uma heurística de solução para analisar as trocas compensatórias entre os custos de transporte, de pedido e de manutenção de estoque. Com os resultados numéricos foi observado que o custo total da cadeia pode ser reduzido – em mais de 20% –, a partir de decisões integradas sobre planejamento de pedido e de transporte.

Chan *et al.* (2002) analisam o problema de determinação da quantidade econômica de pedido para a distribuição dos produtos, ao longo da cadeia de suprimentos. O objetivo dos autores é projetar políticas de estoque ótimas e estratégias de transporte para satisfazer totalmente as demandas que variam em um horizonte finito de tempo, enquanto minimizam o custo total da cadeia, a partir de descontos por quantidade.

Swenseth e Godfrey (2002) desenvolveram uma heurística de cálculo de tamanho de lote de compra, na qual consideraram o custo de transporte como uma variável relevante para o processo de tomada de decisão. Os resultados mostram que o fato de considerar, ou não, o

custo de transporte como variável relevante, pode influenciar significativamente o processo de tomada de decisão. Contudo, o modelo desenvolvido considera apenas o custo total de uma empresa, sem levar em conta o custo total da cadeia.

Entre os modelos desenvolvidos, considerando os custos totais da cadeia, estão os de Ganeshan (1999), Geunes e Zeng (2001) e Cakravastia et al. (2002). Perea et al. (2003) apresentam um modelo mais completo que os anteriormente citados, pois todos os estágios de uma determinada cadeia de suprimentos estão interligados por uma única função de lucro. Entretanto, novamente o tamanho do lote de compra não foi influenciado pelos custos de transporte.

Outros trabalhos apresentam considerações sobre a posição relativa que os diferentes níveis ocupam na cadeia de suprimentos. Ou seja, se o cliente ocupar uma posição dominante na cadeia ele precisará ser incentivado pelo fornecedor para mudar sua política de atuação, de modo a assumir uma política cooperativa. Para induzir o comprador a realizar pedidos em quantidades favoráveis ao fornecedor, esse precisa oferecer uma política cooperativa associada com o oferecimento de ganhos para o comprador. Se ambas as partes estiverem em situação para impor suas *EOQ* ou *ELS* sobre a outra parte, conseqüentemente, não existirá qualquer incentivo para as partes mudarem suas políticas de atuação.

No caso de cadeias onde existe uma parte dominante, essa estará em desvantagem se uma solução conjunta do tamanho econômico do pedido – *Joint Economic Lote Size, JELS* – for adotada. Contudo, a perda da parte dominante será mais do que compensada pelos ganhos da parte mais fraca. Assim, a parte mais fraca poderá fornecer um incentivo à parte dominante, de modo que essa assuma uma política conjunta. Nesse caso, as quantidades de pedidos, as entregas e o pagamento são determinados através de um processo de barganha entre essas partes (SUCKY, 2005; CHILDERHOUSE; TOWILL, 2003).

Kelle e Milne (1999) exploram dois tipos de domínio na cadeia de suprimentos. O primeiro deles refere-se ao domínio do fornecedor, com grandes lotes de produção e pequenas remessas. O segundo refere-se ao domínio do comprador, com pedidos pequenos e frequentes. Os autores utilizaram resultados obtidos a partir de diferentes cenários sob a filosofia *JIT*.

Muitas pesquisas têm como foco os aspectos qualitativos referentes às negociações entre comprador e fornecedor, abordando o problema do fornecedor influenciar as políticas de pedidos do comprador, por meio de descontos de preços (YANG, et.al, 2003). Muitos trabalhos são realizados com o objetivo de avaliar o impacto da estrutura de poder sobre preços e lucros numa cadeia de dois estágios, com um único fornecedor, um único comprador e um único produto. Nesses trabalhos, tanto o caso de a cadeia estar sob o poder do fornecedor, como o de a cadeia estar sob o poder do comprador, são analisados. Uma vasta revisão bibliográfica sobre o tema pode ser encontrada no trabalho de Sucky (2005), onde são desenvolvidos vários modelos de barganha que dependem das políticas alternativas adotadas pelo fornecedor.

A partir desta revisão bibliográfica, percebe-se que o principal objetivo pretendido com os modelos de coordenação logística consiste em especificá-los de modo que sejam capazes de fornecer o entendimento necessário, tanto dos danos causados pela falta de conhecimento das complexidades existentes no planejamento conjunto, como pelos causados pela falta de conhecimento das interrelações que existem entre as decisões individuais, tomadas pelos participantes da cadeia. Para enfrentar esse desafio surgem na literatura os modelos de controle e os de controle ótimo aplicados ao SCM. A seguir apresenta-se uma revisão desse tipo de modelagem aplicada ao SCM.

2.1.1.3 Modelos de Controle e Controle Ótimo

A modelagem de Sistemas Dinâmicos, mais especificamente os modelos de controle e os modelos de controle ótimo, aparecem no contexto do SCM com a finalidade de enfrentar a propagação da variabilidade da demanda. São modelos especificados com o objetivo de fornecer regras de controle para o processo de tomada de decisão. Essas regras de controle representam a equação de realimentação – feedback do sistema – e têm como objetivo encaminhar o sistema tão próximo quanto possível dos objetivos pretendidos. Em outras palavras, as regras de controle têm como finalidade fazer com que o sistema sob análise passe a se comportar de forma adequada, obedecendo a um conjunto de condições previamente estabelecidas (RIDALLS; BENNETT, 2001; SHEU 2005).

A diferença fundamental entre os modelos de controle e os de controle ótimo refere-se basicamente ao tipo de solução. Os modelos de controle são resolvidos por simulação, enquanto os de controle ótimo são resolvidos a partir da otimização de uma função-objetivo. Tanto os modelos de controle, como os de controle ótimo, têm como objetivo enfrentar as dificuldades que surgem com a natureza dinâmica da cadeia de suprimentos que, a cada intervenção de seus agentes, responde com novas reações, alterando o quadro inicial. Ou seja, os responsáveis pelas tomadas de decisão, ao decidirem por determinadas políticas de atuação, interferem nas relações vigentes, através da determinação de novos níveis para as variáveis que estão sujeitas ao controle, visando alcançar patamares específicos para outras variáveis de interesse para a cadeia. Assim, se o processo de decisão (intervenção) não for cuidadosamente planejado, não será possível encontrar um caminho de atuação capaz de corrigir as distorções observadas.

No SCM, os modelos de controle têm suas raízes em Forrester (1958), que apresenta um modelo dinâmico para o sistema de produção e distribuição de uma cadeia de quatro

níveis: fabricante, atacadista, distribuidor e varejista. O autor descreve, analisa e explica os problemas envolvidos no SCM, chamando a atenção, principalmente, para a propagação da variabilidade da demanda. Considera-se que o resultado mais importante apresentado pelo autor refere-se à dificuldade de se enfrentar a variabilidade da demanda, devido à formação de um circuito de realimentação – *feedback loop* – entre as informações transmitidas pelos participantes da cadeia.

Nesse tipo de modelo têm-se, basicamente, dois tipos de variáveis: as variáveis de estado e as variáveis de controle. As variáveis de estado representam o estado do sistema, ou seja, as características dinâmicas do sistema. As relações entre essas variáveis formam um conjunto de equações à diferença, que determina completamente o comportamento futuro do sistema. As variáveis de controle são aquelas cujos valores são determinados pelos agentes responsáveis pela tomada de decisão, como por exemplo, nível máximo de estoque, tamanho de pedido de reabastecimento e posição de estoque desejada, entre outras.

A idéia subjacente a qualquer modelo de controle decorre do seguinte raciocínio: se o estado inicial de um sistema (condições iniciais) e todos os valores presentes e futuros das variáveis de controle forem conhecidos, o sistema fica determinado para qualquer tempo futuro. Desse modo, ficam estabelecidas as trajetórias temporais das variáveis de estado e as trajetórias temporais das variáveis de controle.

A principal característica dos modelos de controle refere-se ao fato de as variáveis de controle não serem determinadas exogenamente ao sistema, ou seja, seus níveis são estabelecidos pela regra de controle.

Conforme Oliva et al. (2002), para enfrentar a propagação da variabilidade da demanda, a cadeia de suprimentos deve ser vista como um sistema dinâmico e tratada por meio de um modelo de controle ótimo. Os participantes devem reunir metas e restrições na

forma de uma função-objetivo, que traduza, direta, ou indiretamente, os objetivos a serem alcançados em um intervalo de tempo determinado. Com a otimização, ficam determinados os níveis que as variáveis de estado e de controle devem assumir, de modo a minimizar os desvios entre os níveis efetivamente observados por essas variáveis e suas metas estabelecidas, durante o período de planejamento. Os autores salientam que, nesses modelos, a equação de controle relaciona as variáveis de controle com as variáveis de estado.

Perea et al. (2003) apresentam três heurísticas de controle para modelar um processo de decisão seqüencial em uma cadeia de suprimentos e avaliam, por meio de simulações, o impacto de diversas heurísticas de controle no comportamento da cadeia. É importante salientar que nas conclusões do trabalho, os autores salientam que a cadeia de suprimentos é muito sensível às regras heurísticas de controle utilizadas nos processos de tomadas de decisão. Os autores concluem que as regras de controle precisam resultar da otimização de uma função-objetivo, salientando que é importante realizar esforços nesse sentido, à medida que um modelo de controle ótimo se constituiu em uma poderosa ferramenta auxiliar para a determinação de políticas de atuação, em um processo sistemático de tomada de decisão.

Riddalls e Bennett (2001) aplicam a teoria de controle a um modelo de equações diferenciais para representar um sistema de produção e estoque com o objetivo de examinar o efeito do tamanho do lote sobre a propagação da variabilidade da demanda.

A bibliografia especializada mostra que grande parte dos modelos de controle tem como principal interesse controlar estoques e a flutuação das taxas de pedidos. Muitos deles utilizam diferentes políticas de estoque, entre elas, a mais comum é a política *order-up-to*, (DEJONCKHEERE et al. 2004). Outros têm como objetivo controlar sistemas integrados de produção e estoque (MINEGISHI; THIEL, 2000; RIDALLS; BENNETT, 2001; DISNEY; TOWILL, 2003; DEJONCKHEERE et. al., 2004; GORGIADIS et al. 2005; SHEU, 2005).

Conforme anteriormente salientado, os modelos dinâmicos estáveis fornecem a garantia de que, independentemente das variações das condições iniciais, dos parâmetros e das alterações apresentadas nos valores assumidos, tanto pelas variáveis endógenas, como pelas variáveis exógenas, a trajetória seguida pelo sistema será aquela que o levará rumo ao equilíbrio. Além disso, a análise de estabilidade de um modelo dinâmico da cadeia de suprimentos – via transformada Z – permite o entendimento do efeito das flutuações de qualquer variável sem a necessidade de se considerar elementos aleatórios – distribuições de probabilidade – para entender as conseqüências das oscilações de suas variáveis de entrada. Esse fato é a principal vantagem em se usar um modelo de controle estável, uma vez que esse tipo de modelo permite um tratamento determinístico, sem desprezar os efeitos oscilatórios das variáveis envolvidas.

Convém salientar que a maioria dos modelos de coordenação logística não realiza a análise de estabilidade do modelo dinâmico representativo do estado do sistema sob consideração¹⁸. Entre os trabalhos nos quais foram realizadas as respectivas análises de estabilidade têm-se dois tipos de modelos: os contínuos – nos quais a análise de estabilidade é realizada via transformadas de Laplace –, e os discretos – nos quais a análise de estabilidade é realizada via transformada Z .

Os modelos de controle têm sido utilizados para analisar as políticas de pedido e de estoque no *MRP*, *Master Resupplyment Planning*, realizando a análise de estabilidade por meio da transformada Z (TOWILL; Del VECCHIO, 1994; DISNEY; TOWILL 1982, TOWILL, 2003). Dejonkheere et al. (2003) investigam o efeito chicote e usam a transformada Z para analisar a estabilidade do sistema. Sem explicitamente resolver as equações, os autores apresentam teoremas sobre a estabilidade do sistema.

¹⁸ Entende-se por estado do sistema o conjunto de equações diferenciais- no caso de modelos contínuos –ou à diferença– no caso de modelos discretos –que representam a evolução dinâmica da cadeia, ao longo do tempo.

Mais recentemente, os modelos de controle são utilizados nas pesquisas cujo foco está centrado na integração total e sincronizada da cadeia de suprimentos, (STERMAN, 2002; DISNEY; TOWILL, 2003; PEREA, et al. 2003; LIN et al. 2004, WARBURTON, 2004, SHEU, 2005).

Convém ressaltar que os modelos de controle disponíveis na bibliografia utilizam heurísticas de solução, ou seja, a regra de controle é determinada exogenamente ao sistema, cujos resultados são obtidos via simulação (PEREA et al. 2003).

Lin et al., (2004) salientam que a utilidade de um modelo dinâmico para a cadeia de suprimentos reside em sua habilidade de reproduzir as características dinâmicas mais importantes, permitindo análises relevantes sobre o efeito chicote. Através da análise de estabilidade do modelo, os autores concluem que a implementação de regras de controle sobre a posição de estoque e tamanho do pedido de reabastecimento, em cada nível da cadeia, pode efetivamente eliminar o efeito chicote. Contudo, mais uma vez o modelo de controle proposto não faz qualquer consideração sobre custos de transporte e não utiliza qualquer função-objetivo para otimização.

Dois trabalhos de controle merecem destaque por se constituírem em importante referencial teórico sobre a metodologia de controle aplicada à cadeia de suprimentos: Lin et al. (2004) e Perea et al. (2003). Esses trabalhos têm em seu âmago o mesmo objetivo: controlar os pedidos realizados em uma cadeia de suprimentos, de modo a eliminar o efeito chicote. Contudo apresentam propriedades marcantes. Lin et al. (2004) apresentam a análise de estabilidade do modelo e encontram os valores que o controlador de pedidos pode assumir de modo que o sistema seja estável. Esses controladores têm por finalidade determinar o tamanho de pedidos que cada nível da cadeia deverá realizar, em cada período de planejamento.

Perea et al. (2003), embora não desenvolvam a análise de estabilidade do modelo dinâmico especificado, fazem importantes considerações sobre a necessidade de se tratar as regras de controle, considerando modelos de controle ótimo, de modo a se analisar as trocas compensatórias que existem entre os diferentes objetivos pretendidos em um processo de planejamento conjunto da cadeia de suprimentos. Os autores chamam atenção para o fato de uma cadeia de suprimentos ser muito sensível às heurísticas de controle, concluindo que uma regra de controle deve ser fruto da otimização de alguma medida de desempenho da cadeia de suprimentos. Os autores sugerem para trabalhos futuros a necessidade de se obter regras de controle a partir de um critério de otimização da cadeia.

Entre os modelos de coordenação logística têm-se os modelos que especificamente enfocam a análise de objetivos conflitantes e trocas compensatórias. A seguir apresenta-se uma breve revisão desse tipo de modelagem.

2.2 OBJETIVOS CONFLITANTES E TROCAS COMPENSATÓRIAS

A integração dos diversos estágios da cadeia de suprimentos é totalmente dependente da troca intensiva de informações. Contudo, os responsáveis pelas tomadas de decisão possuem diversos objetivos, muitas vezes conflitantes. São exatamente esses conflitos que necessitam de consideração e planejamento ao longo da cadeia, (SIMCHI-LEVI, 2003).

O gerenciamento das trocas compensatórias está intensamente correlacionado com a tomada de decisão na cadeia de suprimentos. Para bem gerenciar os objetivos conflitantes é fundamental levar em consideração, tanto a intensidade das trocas compensatórias deles advindas, como a necessidade de reclassificação das prioridades competitivas.

Os executivos de marketing e produção têm especial interesse nos estoques. Os de marketing esperam que o nível de estoque estabelecido assegure um adequado nível de

serviço ao consumidor. Os executivos da Logística de Produção, por seu turno, têm como objetivo minimizar os custos de produção e atingir alta produtividade, através da eficiência de produção. Eles esperam que o nível de estoque reduza os prejuízos sobre o sistema de produção resultante da incerteza da demanda.

A Logística de Distribuição também tem suas exigências. Essas incluem a minimização dos custos de transporte, tirando vantagens de descontos por quantidade e a rapidez em seu reabastecimento. Por outro lado, os varejistas para satisfazerem seus clientes precisam de *lead time* de pedidos reduzidos e entregas eficientes e precisas.

Os custos de transporte estão fortemente vinculados à responsividade da cadeia. Se a empresa possui alta responsividade, e envia pedidos em intervalos curtos, possivelmente terá um alto custo de transporte. Por outro lado, se aumentar o tempo de entrega, para agregar pedidos e depois transportar com economias de escala diminuirá sua responsividade (CHOPRA, 2003).

Manter níveis de estoque adequados, atender metas de produção e satisfazer os níveis de serviço ao consumidor consistem o principal dilema no tratamento das trocas compensatórias. Muitas decisões de negócios, enfrentadas pelos responsáveis pelas tomadas de decisão, envolvem a seleção entre um número limitado de alternativas, enquanto esperam satisfazer múltiplos objetivos em conflito.

A análise das trocas compensatórias entre prioridades competitivas – critérios ou medidas de desempenho – é um dos principais problemas enfrentados no planejamento estratégico da cadeia de suprimentos. O paradigma tradicional das trocas compensatórias institui que, inevitavelmente, o aumento em uma dimensão de desempenho implica na redução de outras (SILVEIRA, 2005).

Grande parte da pesquisa sobre as trocas compensatórias em cadeias de suprimentos está focada na validação empírica do conceito. Muitos estudos desenvolvem análise de correlação entre as dimensões competitivas em organizações industriais para determinar se as trocas compensatórias, entre custo e qualidade, e entre qualidade e flexibilidade do sistema de produção, são realmente observadas. Embora apresentando diferentes resultados, essas pesquisas oferecem informações importantes sobre a natureza e o impacto das trocas compensatórias advindas de diferentes critérios de desempenho estabelecidos (FILIPPINI et al. 1995).

Muitos estudos são desenvolvidos com o objetivo de oferecer informações sobre o gerenciamento das trocas compensatórias entre dimensões competitivas, visando obter um equilíbrio entre os conflitos existentes. São trabalhos que têm como objetivo avaliar os fatores que merecem maior consideração quando se pretende atuar no sentido de controlar a intensidade das trocas compensatórias, de modo a atingir dimensões de desempenho adequadas e sustentáveis no médio e longo-prazo (BOYER; LEWIS, 2002)

Silveira (2005) apresenta uma extensa revisão bibliográfica sobre a evolução dos estudos referentes às trocas compensatórias e sobre aos modelos de apoio à decisão, geralmente propostos para a indicar a melhor trajetória de atuação, no contexto do planejamento tático e estratégico da cadeia de suprimentos. Conforme o autor, uma das trocas compensatórias mais abordada na literatura refere-se aos níveis de serviço e aos níveis de estoque.

A necessidade de oferecer níveis de serviço mais competitivos pode levar uma empresa a trabalhar com níveis de estoques mais altos. Contudo, quanto maiores os estoques maiores os custos. Quanto maiores os custos, menores as margens de lucro da empresa.

Assim, a pressão por maiores níveis de serviço pode gerar margens de lucro cada vez menores.

Conforme Matsatsinis e Samaras (2001), em todas as funções de gestão –entre elas a gestão de estoque – encontram-se inúmeras situações de decisão que podem ser apoiadas pelo bom senso, pela experiência vivida e pela intuição daqueles que decidem. Contudo, o apoio à decisão pode ser mais elaborado e formal, considerando modelos e técnicas adequadas para extrair informações relevantes no que tange às trocas compensatórias e aos sistemas de apoio à decisão. Uma das metodologias apontadas pelo autor é a modelagem multiobjetivo.

Shapiro (2001) diz que os modelos multiobjetivos podem ajudar os responsáveis pelas tomadas de decisão na análise das trocas compensatórias advindas de objetivos conflitantes que existem na cadeia de suprimentos. Esses modelos têm como objetivo mapear as fronteiras de eficiência obtidas a partir da otimização conjunta de diferentes critérios de desempenho para a cadeia como um todo.

Com relação ao desempenho da cadeia de suprimentos e à avaliação de suas trocas compensatórias, são necessários algoritmos adequados para se obter um índice representativo do critério de desempenho de modo a auxiliar os tomadores de decisão na análise e entendimento das possíveis trocas compensatórias. Conforme Dulmin et al. 2003, a modelagem multiobjetivo é uma metodologia adequada que pode servir de meio de análise do impacto das trocas compensatórias na cadeia de suprimentos, quando diferentes critérios e desempenho ou múltiplos objetivos forem considerados simultaneamente. A seguir apresenta-se uma breve revisão sobre modelos multiobjetivos aplicado no SCM.

2.2.1 Modelos Multiobjetivos

Os modelos de otimização multiobjetivo são especificados para considerar, de forma explícita, múltiplos critérios – pontos de vista – de avaliação de desempenho, constantemente sujeitos à análise crítica dos intervenientes no processo de decisão. São modelos adequadamente capazes de ajudar cada interveniente a moldar suas preferências e a encontrar argumentos para as sustentar, em conformidade com os múltiplos objetivos pretendidos.

A modelagem multiobjetivo é apropriada para a avaliação de medidas de desempenho, quando diversos objetivos são considerados simultaneamente, sob a hipótese de diferentes “futuros plausíveis” e sob os mais variados critérios de decisão, que podem ser colocados em ordem de prioridades (SABRI; BEAMON, 2000).

No gerenciamento da cadeia de suprimentos, a aplicação dos modelos multiobjetivos está concentrada em duas áreas de tomada de decisão. A primeira área trata de decisões sobre localização de plantas e centros de distribuição (MELACHRINOUDIS et al. 1995). A segunda área trata da seleção de fornecedores, a partir de um número limitado de alternativas. Para uma revisão sobre o tema indica-se o trabalho de Weber et al. (1991), no qual os autores apresentam uma revisão bibliográfica abrangendo 74 artigos, publicados entre 1966 e 1991, sobre a modelagem multiobjetivo utilizada na seleção de fornecedores. Dulmin et al. (2003) desenvolvem um modelo multiobjetivo para a seleção de fornecedores, com vistas a avaliar os resultados gerados, a partir de variações simultâneas da importância relativa atribuída a cada critério de escolha adotado.

Um importante trabalho sobre seleção de fornecedores, é o de Ismail e Ferrell (2002). Os autores apresentam um modelo multiobjetivo para ser utilizado como sistema de apoio à decisão na seleção de fornecedores, a partir de um número finito de alternativas. Neste trabalho é salientada a facilidade que os modelos multiobjetivos oferecem quando, tanto

fatores quantitativos, como qualitativos precisam ser considerados no processo de decisão. A metodologia proposta pelos autores combina Lógica Nebulosa e Desdobramento da Função Qualidade, para transformar informações qualitativas em parâmetros quantitativos, de modo a combiná-los com outros dados quantitativos.

Mais recentemente, os modelos multiobjetivos têm sido utilizados como um método para avaliar medidas de desempenho no SCM. Conforme Sabri e Beamon (2000), a modelagem multiobjetivo pode ser utilizada para avaliar medidas de desempenho da cadeia de suprimentos. Os autores salientam que esse tipo de modelo é mais adequado do que os métodos tradicionais de uma única medida – no caso os modelos monoobjetivo. Os autores apresentam um modelo de otimização multiobjetivo para ser utilizado como método sistemático de tomada de decisão, tanto no planejamento estratégico, como no planejamento operacional da cadeia de suprimentos. Nesse modelo, a análise de decisão multiobjetivo é adotada pelos autores para permitir o uso de um sistema de medida de desempenho que inclui o custo total da cadeia, nível de serviço ao consumidor e volume de entrega de pedidos.

Com relação ao planejamento integrado da cadeia de suprimentos, têm-se poucos modelos multiobjetivos disponíveis na bibliografia especializada. Uma exceção é o trabalho de Melachrinoudis e Min (2000). Os autores apresentam um modelo multiobjetivo com múltiplos períodos, usando uma nova metodologia que permite aos tomadores de decisão expressarem suas preferências, de forma diferente da ponderada, em termos de intervalo para diferentes graus de interesses. Os autores consideram, tanto informações qualitativas – obtidas através de grupos focados ou entrevistas – como parâmetros quantitativos. Para uma revisão bibliográfica sobre o tema referencia-se Guillén et al., (2005)

Dada a importância da otimização multiobjetivo para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa apresentam-se, a seguir, sua caracterização geral e seus principais métodos de solução.

2.2.1.1 Caracterização geral dos modelos multiobjetivos

Um problema de otimização multiobjetivo com restrições de desigualdade ou igualdade consiste em encontrar um vetor de soluções, representado por:

$$Z = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \dots \\ X_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

de modo a otimizar diversas funções-objetivo, $F_{OBJ1}(Z)$, $F_{OBJ2}(Z)$, ..., $F_{OBJk}(Z)$ e sujeito à:

$$G_j(Z) \leq 0, \quad j=1,2,\dots,m \quad (2)$$

onde k denota o número de funções-objetivo que devem ser otimizadas, e m denota o número de equações de restrições envolvidas.

Em geral, não existe um único vetor Z que otimize todas as funções-objetivo simultaneamente. Assim, o conceito conhecido como Ótimo de Pareto¹⁹ é usado na solução desses modelos. As soluções obtidas podem ser dominadas ou não-dominadas. Uma solução é não-dominada quando não existe uma outra solução factível que melhore um dos objetivos, sem haver um decréscimo em pelo menos um outro objetivo. Quando se resolve um modelo

¹⁹ Esse conceito diz que uma solução viável Y é chamada Ótimo de Pareto se não existir outra solução viável Z tal que $FOBJ_i(Y) < FOBJ_i(Z)$ para pelo menos um j com $i = 1,2,3,\dots,m$. Em outras palavras, um vetor de solução viável, Z, é um Ótimo de Pareto se não existir outra solução viável, Y, que poderia reduzir alguma das funções objetivos sem, simultaneamente, provocar um decréscimo em pelo menos outra função objetivo.

multiobjetivo, o interesse está em soluções não-dominadas, já que uma única solução ótima atendendo todas as metas em geral é impossível de ser obtida.

São diversos os métodos de solução de modelos multiobjetivos. Entre eles têm-se: o método da função utilidade ou função-objetivo ponderada, o da função utilidade invertida, o do critério total, o da função objetivo limitada, o de programação por objetivos e método lexocográfico (RAO, 1996). Esses métodos são descritos a seguir.

2.2.1.2 Principais métodos de solução

No método da função utilidade, ou método da função ponderada, uma função utilidade é especificada como a soma ponderada pelos graus de importância das demais funções utilidade. Assim, o total da função utilidade U pode ser definida como:

$$U = \sum_{i=1}^k U_i(f_i) \quad (3)$$

onde $U(f_i)$ é definida para cada função-objetivo pretendido, dependendo da importância de f_i , quando comparada com outras funções-objetivo. O vetor solução Z^* é encontrado através da maximização da utilidade total, U , sujeita às restrições $G(Z) \leq 0$, e $j=1, 2, \dots, m$. Uma forma de representação desse método é dada por:

$$U = \sum_{i=1}^k U_i(f_i) = - \sum_{i=1}^k w_i f_i(Z) \quad (4)$$

onde, w_i é um fator escalar de ponderação associado com a i -ésima função-objetivo.

No método da função utilidade invertida, cada função utilidade é invertida e, a partir daí, procura-se minimizar ou reduzir o total de “desutilidade” ou “indesejabilidade”. Assim,

se $U_i(f_i)$ denota a função utilidade correspondente a i -ésima função-objetivo e o total de “indesejabilidade” é obtido por:

$$U^{-1} = \sum_{i=1}^k U_i^{-1} = \sum_{i=1}^k \frac{1}{U_i} \quad (5)$$

A solução do problema é encontrada por meio da minimização de U^{-1} , sujeita ao conjunto de restrições $G_j(Z) \leq 0$, $j = 1, 2, \dots, m$.

No método do critério total, a solução ótima Z^* é encontrada por meio da minimização de um critério global pré-selecionado, $F_{OBJ}(Z)$, que geralmente é considerado como a soma dos quadrados dos desvios relativos entre as funções-objetivo individuais e uma solução viável. Então, a solução ótima, Z^* , é encontrada pela otimização de um critério total selecionado. Geralmente, esse critério refere-se à soma dos quadrados dos desvios relativos individuais e uma solução viável. Então, a solução ótima é encontrada pela otimização da função-objetivo:

$$F_{OBJ}(Z) = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{F_{OBJi}(Z_i^*) - F_{OBJi}(Z)}{F_{OBJi}(Z_i^*)} \right\}^2 \quad (6)$$

sujeito à:

$$G_j(Z) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

A solução ótima é obtida pela minimização de $F_{OBJ}(Z)$ sujeita às restrições $G_j(Z) \leq 0$, com $j = 1, 2, \dots, m$.

No método da função-objetivo limitada, os níveis máximos e mínimos aceitáveis para cada função-objetivo são especificados como L^i (limite inferior) e U^i (limite superior),

para $i = 1, 2, \dots, m$. Assim, a solução ótima é encontrada minimizando a função-objetivo mais importante, como por exemplo, a função $F_{OBJr}(Z)$:

$$\begin{aligned}
 & \text{Otimizar } F_{OBJr}(Z) \\
 & \text{sujeito à} \\
 & G_j(Z) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m. \\
 & L^{(i)} \leq F_{OBJi} \leq U^{(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad i \neq r.
 \end{aligned} \tag{8}$$

No método lexicográfico, as funções-objetivo são listadas em ordem de importância pelo modelador. A solução ótima é encontrada pela minimização das funções-objetivo, a partir da considerada mais importante, seguindo a otimização de acordo com as importâncias estabelecidas.

$$\begin{aligned}
 & \text{Otimizar } F_{OBJ1}(Z) \\
 & \text{sujeito à} \\
 & G_j(Z) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m.
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Otimizar } F_{OBJ2}(Z) \\
 & \text{sujeito à} \\
 & G_j(Z) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \\
 & F_{OBJ1}(Z) = F_{OBJ1}^*
 \end{aligned} \tag{10}$$

Este procedimento é repetido até que todas as funções-objetivo tenham sido consideradas. Por fim, a solução obtida é considerada a solução desejada do problema multiobjetivo original.²⁰

O método da programação por objetivos, em sua versão mais simples, estabelece metas a serem atingidas para cada função-objetivo. A solução ótima é então definida como aquela que minimiza os desvios a partir das metas estabelecidas. Assim, a formulação da programação por objetivos de um problema de otimização multiobjetivo leva à:

$$\begin{aligned}
 & \text{Otimizar} \left[\sum_{j=1}^k (w_p d_j^+ + w_q d_j^-)^p \right]^{1/p}, p \geq 1 \\
 & \text{sujeito à} \\
 & G_j(Z) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \\
 & F_{OBJ}(Z) + d_j^+ - d_j^- \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, k \\
 & d_j^+ \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, k \\
 & d_j^- \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, k \\
 & d_j^+ d_j^- = 0, \quad j = 1, 2, \dots, k
 \end{aligned} \tag{11}$$

onde w_p e w_q são os pesos atribuídos à importância de cada meta e d_j^- e d_j^+ são os respectivos desvios das metas estabelecidas e a constante p está baseada na função utilizada escolhida pelo modelador.

A principal característica da formulação de programação por objetivos é que uma ou mais metas são incorporadas diretamente na função objetivo, isto é, os objetivos são escritos na forma de metas que devem ser atingidas. Cada meta representa o valor que se pretende

²⁰ O software GAMS, que é um sistema geral de modelagem algébrica, resolve muito bem esse tipo de modelo multiobjetivo. O procedimento utilizado pelo GAMS consiste em utilizar tanta informação quanto possível da solução anterior para fornecer um ponto de partida na busca da próxima função objetivo a ser otimizada (BROOK, et al., 1997).

atingir. As metas podem, ou não, ser atingidas completamente; para permitir essa flexibilidade, são utilizadas variáveis de desvios, d_j^- e d_j^+ , indicando quanto o objetivo foi ultrapassado, ou quanto faltou para que o objetivo fosse atingido.

Uma outra maneira de apresentar um modelo como programação por objetivos é a proposta por Oliva et al. (2002). Os autores apresentam uma função-critério– ou função-objetivo – representativa da soma dos quadrados dos desvios entre metas e valores ótimos. Essa função-objetivo foi utilizada na proposta de um modelo de otimização da cadeia de suprimentos, quando inserida em um planejamento colaborativo.

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentaram-se algumas considerações relacionadas à modelagem freqüentemente utilizada para tratar os principais desafios impostos ao gerenciamento da cadeia de suprimentos: volatilidade da demanda, múltiplos objetivos e trocas compensatórias.

A partir desta revisão bibliográfica, percebe-se que o principal objetivo pretendido com os modelos de coordenação logística consiste em especificá-los de modo que sejam capazes de fornecer o entendimento necessário, tanto das complexidades existentes no planejamento conjunto, como das interrelações que existem entre as decisões individuais, tomadas pelos participantes da cadeia.

Observa-se que existe uma escassez de trabalhos que consideram os custos de transporte como variável relevante para a determinação de políticas de pedidos e entregas, quando o foco do estudo for a análise do desempenho global de uma cadeia de suprimentos inserida em um processo de planejamento conjunto e colaborativo. Benjamin (2003) mostra que o fato de considerar ou não os custos de transporte como parte integrante do critério de

desempenho de uma cadeia de suprimentos pode influenciar, significativamente, o processo de tomada de decisão e suas interrelações.

Com relação aos modelos de controle, é importante salientar que geralmente eles são resolvidos por meio de simulação e não por otimização. Ressalva-se que os modelos de controle – resolvidos por simulação – permitem tratar a cadeia de suprimentos, ou parte dessa, considerando, simultaneamente, as principais interrelações que existem entre as principais variáveis envolvidas. Juntamente com a simulação, esses modelos possibilitam a comparação de diferentes políticas de atuação, facilitando a escolha daquela que, entre as testadas, mais aproxima a cadeia dos objetivos pretendidos.

A simulação facilita a compreensão do comportamento dinâmico da cadeia de suprimentos. Contudo, é um método de solução insuficiente para a pesquisa de um plano ótimo de intervenção na cadeia, isto é, um plano de atuação que otimize os objetivos pretendidos. Em outras palavras, por tentativa e erro pode-se, no máximo, encontrar uma seqüência de políticas que, sem ser necessariamente ótima, aproxima a cadeia de suprimentos dos objetivos pré-estabelecidos.

A vantagem oferecida pelos modelos de controle ótimo, em relação aos modelos de controle refere-se ao fato de as decisões de políticas de atuação serem obtidas por meio da otimização de uma função objetivo que traduz os anseios pretendidos pelos participantes da cadeia.

Com relação aos modelos multiobjetivos, verificou-se que a maioria das aplicações desses modelos na cadeia de suprimentos fica restrita à escolha de fornecedores e problemas de localização. Embora existam aplicações individuais de modelos multiobjetivo e de controle, não se encontrou até o momento um modelo de controle que fosse, também, multiobjetivo – modelo de controle ótimo multiobjetivo. Ou seja, um modelo de controle

ótimo, cujas políticas de decisão são obtidas por meio da otimização simultânea de diversas funções-objetivo. Além disso, são poucos os trabalhos nos quais a análise de estabilidade dinâmica do modelo sob consideração é realizada.

Desse modo, com a falta de modelos de controle ótimo multiobjetivo, e a escassez de trabalhos que consideram o custo de transporte como variável relevante na otimização global do desempenho da cadeia de suprimentos, considerou-se oportuno apresentar um modelo de controle multiobjetivo, considerando tanto um modelo dinâmico estável para representar o sistema sob estudo, como os custos de transporte como variável relevante para o planejamento conjunto e colaborativo da cadeia de suprimentos.

Acredita-se que esse tipo de modelagem pode oferecer um meio adequado para controlar as políticas de pedidos, sob qualquer cenário e sob diferentes pontos de vista dos participantes da cadeia.

CAPÍTULO 3. MODELAGEM DE CONTROLE ÓTIMO MULTIOBJETIVO

O objetivo deste capítulo é especificar um modelo de controle ótimo multiobjetivo para ser utilizado como sistema de apoio à decisão em um processo de planejamento conjunto e colaborativo da cadeia de suprimentos. O modelo deverá se constituir em um sistema adequado para análise da evolução dinâmica da cadeia de suprimentos no que tange às trocas compensatórias, satisfação do cliente final e efeito chicote de cada um dos seus níveis.

3.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Em geral, cadeias de suprimentos operam como sistemas puxados conduzidos pelos pedidos que os consumidores colocam ao fornecedor. Se a empresa seguir uma política de pedidos em espera, sua operação segue a seguinte estrutura: o fornecedor acumulará pedidos dos consumidores, durante um período até um certo prazo, e depois os executará para satisfazê-los. Pedidos que chegarem depois do prazo serão acumulados para o período seguinte. No final do período, o fornecedor começará a satisfazer os pedidos acumulados em função da disponibilidade de produtos: se os produtos estiverem no estoque, o fornecedor enviará ao consumidor, caso contrário, todos aqueles pedidos que não forem satisfeitos ficarão arquivados para serem completados no período seguinte. Contudo, se a empresa não seguir uma política de pedidos em espera, os pedidos não satisfeitos no período corrente não serão atendidos.

Estendendo essa dinâmica para mais de um nível da cadeia, percebe-se que a disponibilidade do produto – ou posição do pedido – é o fator-chave para alcançar um bom nível de serviço ao consumidor. Por esse motivo, clientes e fornecedores precisam estimar suas respectivas demandas futuras para colocarem seus pedidos de reposição, de modo a

receberem os produtos solicitados. Para isso, tanto clientes, como fornecedores, devem levar em consideração que, se for colocado um pedido maior do que o necessário, os custos totais de armazenagem e manutenção aumentarão. Entretanto, se for realizado um pedido menor do que o necessário, o nível de serviço ao consumidor não será satisfeito.

Desse modo, faz-se necessário obter um método sistemático de controle do tamanho dos pedidos realizados por clientes e fornecedores, de modo a otimizar a cadeia como um todo. Esse problema pode ser tratado por meio de um modelo de controle ótimo multiobjetivo cuja regra de controle é especificada para indicar os tamanho dos pedidos a serem realizados em cada nível da cadeia, em cada período de planejamento, de modo que os múltiplos objetivos pretendidos sejam atingidos.

3.2 MODELO DE CONTROLE ADOTADO

Os modelos dinâmicos propostos na literatura sobre SCM seguem, basicamente, as mesmas hipóteses sobre a dinâmica da cadeia de suprimentos. São modelos que apresentam a vantagem da simplicidade associada à capacidade de extrair o que é essencial para o entendimento das características dinâmicas básicas da cadeia. O modelo proposto por Lin et al. (2004) apresenta algumas vantagens sobre os demais. Uma dessas vantagens é a realização da análise de estabilidade, considerando diferentes hipóteses sobre a cadeia. Dada sua natureza geral, esse modelo é adotado para representar a dinâmica da cadeia de suprimentos. A seguir apresenta-se o modelo adotado e sua análise de estabilidade.

A cadeia considerada possui quatro níveis logísticos: produtor (P), atacadista (A), distribuidor (D), varejista (V) e consumidor final (C), representados na Figura 6.

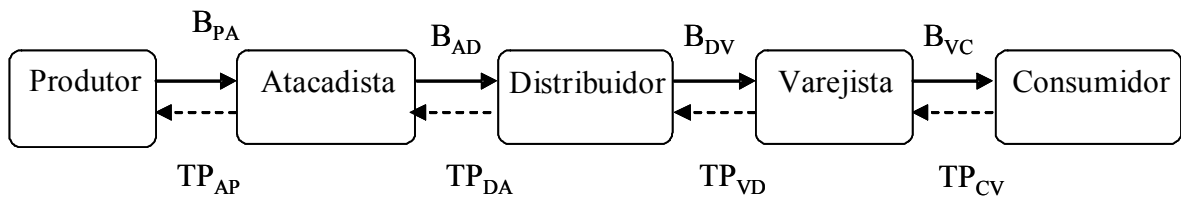


Figura 6 Cadeia de suprimentos adotada

O nível de estoque de cada nível da cadeia, em qualquer instante de tempo t , é denotado por $E_j(t)$, onde $j \in (A, D, V)$. O total de bens entregues para o nível a jusante, j , pelo nível a montante i , onde $i \in (P, A, D, V)$, é denotado por $B_{ij}(t)$, $ij \in (PA, AD, DV, VC)$. Considera-se uma defasagem para todas as ações de entregas, ou seja: os bens despachados no período t , só estarão disponíveis no período $(t+1)$.

A equação (12) representa o equilíbrio de estoque para cada nível j . Essa equação estabelece que o estoque, em qualquer dos níveis j , é igual ao estoque do período anterior, acrescido dos bens enviados pelo nível a montante i , no período anterior, menos os bens enviados pelo nível j ao nível a jusante $k \in (D, V, C)$.

$$E_j(t) = E_j(t-1) + B_{ij}(t-1) - B_{jk}(t) \quad (12)$$

onde $jk \in (AD, DV, VC)$.

Como existe um período de defasagem entre a remessa dos bens e sua disponibilidade, considera-se a equação (13) para representar a posição do estoque, $PE_j(t)$, cuja finalidade é controlar as variações do estoque.

$$PE_j(t) = PE_j(t-1) + B_{ij}(t) \quad (13)$$

Esta equação tem como finalidade permitir um adequado monitoramento nas inevitáveis mudanças nos níveis de estoques. Ela indica que a posição do estoque nos níveis j

é igual a posição do estoque no período anterior, mais a quantidade de pedido enviada pelo nível i , no período t . Convém ressaltar que essa equação reflete adequadamente a posição do estoque, uma vez que nela está inserida a quantidade de pedidos despachadas no período corrente, $B_{ij}(t)$, mas que só estará disponível em $(t+1)$. É exatamente esse fato que permite monitorar as oscilações nos níveis de estoque.

A equação (14) representa o total de pedidos colocados pelo nível j ao nível i montante i , $TP_{ji}(t)$, no período t . Essa equação é a regra de controle e estabelece que: o total de pedidos realizados pelo nível j é dado pelo produto entre um fator x_j – aqui denominado de controlador de pedidos – e a diferença entre a posição de estoque desejada e a posição de estoque no período corrente. Convém chamar atenção sobre a importância da regra de controle. Neste caso, a posição de estoque desejada, que é uma variável geralmente exógena ao modelo, ou seja, determinada pelos responsáveis pela tomada de decisão, agora é uma variável endógena – determinada pelo próprio modelo.

Neste modelo de controle, o nível desejado da posição do estoque é determinado endogenamente pelo modelo. Os níveis da posição de estoque desejada serão determinados em função do controlador de decisão, x_j , e das diferenças entre a posição desejada e a posição do estoque corrente. A regra de controle é dada por:

$$TP_{ji}(t) = x_j (PED_j(t) - PE_j(t)) \quad (14)$$

Convém observar que, como a regra de controle depende da posição de estoque no período corrente, conseqüentemente, depende dos bens que estarão disponíveis em $t+1$. A saída dessa regra de controle, $TP_{ji}(t)$, não possui restrições. O cliente pode pedir tanto quanto for sua necessidade. Contudo, não existe qualquer garantia de que o pedido seja atendido pelo

nível a montante, i . Como não existe restrição, o total de pedidos colocados pode ser negativo, se a posição de estoque for maior do que a posição de estoque desejada, $PED_j(t)$.

Assume-se que as informações sobre os pedidos podem ser instantaneamente comunicadas. Contudo, um pedido realizado no período t somente estará disponível no período $(t+1)$. Portanto, uma posição do pedido para cada nível j , em cada período t , é definida como o total de pedidos que deve ser entregue no período $(t+1)$.

Além disso, se os pedidos colocados pelo nível j não forem completamente satisfeitos pelo nível i , eles serão acumulados para o próximo período de tempo. A equação (15) representa a posição de pedido para cada nível j , em cada período t , $PP_j(t)$.

$$PP_j(t) = TP_{kj}(t) + (PP_j(t-1) - B_{jk}(t)) \quad (15)$$

Assim, a posição dos pedidos é dada pela soma de duas parcelas. A primeira representa os pedidos colocados pelo nível a jusante k para o nível a montante j . A segunda parcela, $(PP_j(t-1) - B_{jk}(t))$, representa a diferença entre a posição do pedido do nível j , no período anterior e a quantidade de bens enviadas pelo nível j ao nível k , em t .

Diferentemente da regra de controle, dada pela equação (14), a política de atendimento de pedidos (entrega) possui limitações físicas: se existir estoque suficiente para satisfazer a posição de pedido em $(t-1)$, todos os pedidos serão atendidos. Similarmente, se o nível a jusante sempre tiver estoque em excesso, o nível a montante (fornecedor) apenas interrompe as entregas. As equações representativas dessa política de atendimento aos pedidos são:

$$B_{jk}(t) = 0; \text{ se } PP_j(t-1) \leq 0; \quad (16)$$

$$B_{jk}(t) = PP_j(t-1); \text{ se } 0 \leq PP_j(t-1) \leq E_j(t-1);$$

$$B_{jk}(t) = E_j(t-1); \text{ se } 0 \leq E_j(t-1) \leq PP_j(t-1);$$

O nível de serviço ao consumidor, $NS_j(t)$, é definido como a diferença entre a posição de pedido no período anterior, $PP_j(t-1)$ e o total de bens enviados, $B_{jk}(t)$, no período corrente, e é dado pela equação a seguir:

$$NS_j(t) = PP_j(t-1) - B_{jk}(t) \quad (17)$$

As equações (12) à (17) representam a dinâmica da cadeia sob estudo. A seguir apresenta-se a análise de estabilidade do modelo.

3.2.1 Análise de estabilidade

A estabilidade de um sistema linear é uma característica que depende só do sistema; em particular, ela independe das condições iniciais. Em contraposição, os sistemas não-lineares podem apresentar comportamento “estável” ou não, dependendo de suas condições iniciais. Tal complexidade leva à necessidade de se analisar a estabilidade dos sistemas dinâmicos antes de utilizá-lo em estudos analíticos.

Na engenharia de sistemas e controle, a função de transferência de um sistema representa as relações descritas pela dinâmica do sistema sob consideração. Algebricamente, uma função de transferência relaciona a saída com as entradas do sistema, e é definida como a taxa da transformada Z da variável de saída com a transformada Z da variável de entrada. A transformada Z é utilizada para transformar as equações à diferença, que governam o comportamento do sistema dinâmico discreto, em equações algébricas, mais simples de resolver do que equações originais. A transformada Z simplifica a análise dos sistemas discretos no tempo. É uma propriedade que permite que a estrutura dinâmica seja analisada

por meio da função de transferência do sistema, de acordo com as regras algébricas conhecidas. Mais detalhes sobre engenharia de sistemas e controle, e funções de transferência podem ser obtidos em Haykin (2002).

Para uma revisão do uso de transformadas Z na cadeia de suprimentos, mais especificamente no controle das relações entre produção e estoque, referencia-se Dejonckheere et al. (2004) e Warburton (2004).

As transformadas Z do modelo de controle sob estudo são descritas a seguir. As respectivas demonstrações estão disponíveis em Lin et al. (2004).

$$E_j(z) = \frac{z}{z-1} (z^{-1}B_{ij}(z) - B_{jk}(z)) \quad (18)$$

$$PE_j(z) = \frac{z}{z-1} (B_{ij}(z) - B_{jk}(z)) \quad (19)$$

$$PP_j(z) = \frac{z}{z-1} (TP_{kj}(z) - B_{jk}(z)) \quad (20)$$

$$TP_{ji}(z) = x_j(t)(PDE_j(z) - PE_j(z)) \quad (21)$$

$$B_{jk}(z) = \begin{cases} 0 & z^{-1} PP_j(z) \leq 0 \\ z^{-1} PP_j(z) & 0 \leq z^{-1} PP_j(z) \leq z^{-1} E_j(z) \\ z^{-1} E_j(z) & 0 \leq z^{-1} E_j(z) \leq z^{-1} PP_j(z) \end{cases} \quad (22)$$

Um diagrama de bloco correspondente à dinâmica do sistema é apresentado na Figura 7 e está disponível em Lin et al. (2004).

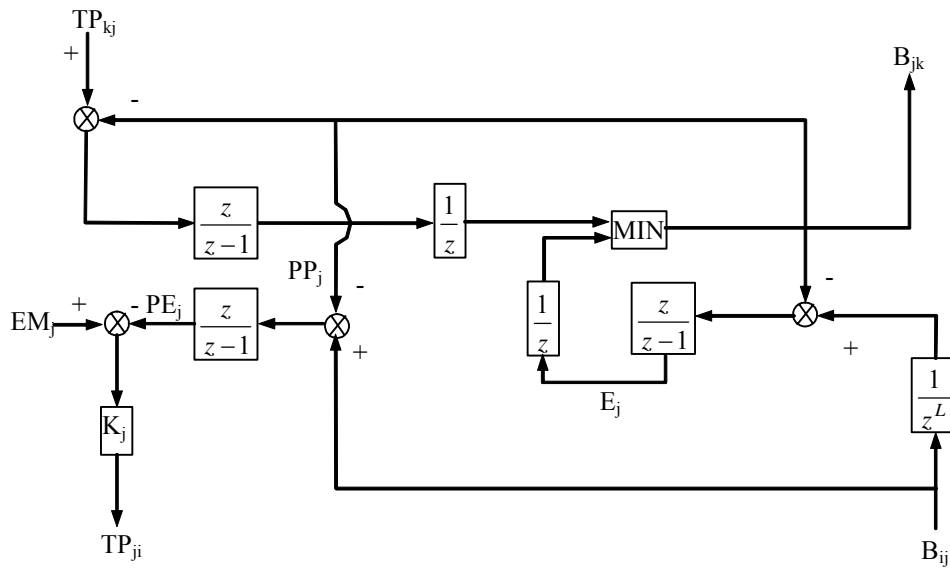


Figura 7 Diagrama da função de transferência

3.2.2 Estabilidade Dinâmica do Modelo

O objetivo desta seção é apresentar o exame da estabilidade dinâmica do modelo. Para a análise de estabilidade foram formuladas algumas hipóteses sobre níveis de estoque, capacidade de atendimento, variações no *lead time* e previsão de demanda, com o objetivo de avaliar a presença do efeito chicote.

3.2.2.1 Alto nível de estoque e alta posição de estoque desejada

Para analisar a estabilidade do sistema, foi assumido que o fornecedor do nível a montante tem estoque suficiente para atender toda a demanda do nível a jusante, j . Esta hipótese é representada por:

$$B_{ij}(z) = z^{-1} TP_{ji}(z) \quad (23)$$

Além disso, a posição de estoque desejada pelo nível a montante é suficientemente alta de modo a garantir a satisfação da demanda de todos os consumidores. Ou seja, o total de

bens entregues pelo nível j ao nível k é igual à posição do pedido do nível j e, também, igual ao total de pedidos realizados pelo nível k ao nível j, em (t-1). A transformada Z é dada por:

$$B_{jk}(z) = z^{-1} PP_j(z) = z^{-1} TP_{kj}(z) \quad (24)$$

A função de transferência relativa a essas duas transformadas Z é dada por:

$$PE_j(z) = \frac{x_j * (PED_j(z) - B_{kj}(z))}{z - 1 + x_j} \quad (25)$$

cuja equação característica é igual a:

$$H(z) = z - 1 + x_j \quad (26)$$

Sabe-se que um sistema é estável se todas as raízes características são internas a um círculo unitário.

$$|z-1| + x_j \leq 1 \quad (27)$$

Desse modo, a solução da equação (27) é dada por :

$$0 \leq x_j \leq 2 \quad (28)$$

Isso significa que, em um cenário onde essas hipóteses forem observadas, a cadeia de suprimentos só se tornará instável se o controlador estiver fora deste intervalo.

3.2.2.2 Alto nível de estoque e baixa posição de estoque desejada

Para essa análise de estabilidade a hipótese que o fornecedor a montante tem estoque suficiente para satisfazer toda a demanda do nível a jusante, ou seja, $B_{ij}(z) = z^{-1} TP_{ji}(z)$ é assumida. Contudo, a posição de estoque desejada no nível j é tão baixa que sempre faltará

estoque para satisfazer toda a demanda do consumidor, isto é: $B_{jk}(z) = z^{-1} E_j(z)$. Sob essa hipótese, a função de transferências é dada por:

$$PE_j(z) = \frac{\frac{x_j(z^{L+1} - 1)}{z-1}}{z^{L+1} + \frac{x_j(z^{L+1} - 1)}{z-1}} PDE_j(z) \quad (29)$$

cuja equação característica é igual à:

$$H(z) = z^{L+1} + \frac{x_j(z^{L+1} - 1)}{z-1} \quad (30)$$

A partir da equação (30), é demonstrável que, mesmo considerando um *lead time* $L \neq 0$, sempre que o valor do controlador x_j , for dado por $x_j \geq 1$, existirá pelo menos um $|z^*| \geq 1$. Portanto, se o nível de suprimento a montante for alto suficiente para atender a demanda e se a posição de estoque desejada for muito baixa, a condição suficiente para a regra de controle se tornar instável será $x_j(t) \geq 1$. Convém ressaltar que a equação de transferência, dada pela equação (29) é independente do total de bens enviados pelo nível a montante, j , ao nível a jusante, k . Isso significa que, com oferta ilimitada e uma baixa posição de estoque desejada, a posição do estoque se torna independente das flutuações da demanda dos níveis a jusante na cadeia. Essa demonstração é apresentada para referenciar o caso geral de o modelo tratar com o *lead time* de entrega variável, diferente de um período. Lin et al. (2004) apresentam, passo a passo, as demonstrações dessas equações.

3.2.2.3 Baixos níveis de estoque

Nessa análise de estabilidade é assumida a hipótese de que os fornecedores a montante não tem estoque suficiente para atender a demanda, de forma que a oferta para o nível j está limitada pelo estoque a montante na cadeia. Isto é: $B_{ij}(z) = z^{-1} E_i(z)$.

$$PE_j(z) = \begin{cases} \frac{1}{z-1} (E_i(z) - B_{jk}(z)) & E_j(z) \geq z^{-1} B_{kj}(z) \\ \frac{z^{L+1} - 1}{(z-1)z^{L+1}} E_i(z) & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (31)$$

Observa-se que a posição de estoque do nível j não depende, nem da posição de estoque desejada, nem do controlador da política de pedido do nível j . Esse resultado é intuitivo; se o fornecedor tiver um baixo nível de estoque, não interessa quanto o nível j pede, sua posição de estoque estará determinada pela disponibilidade de estoque do fornecedor.

O efeito chicote pode ser representado como uma amplificação das flutuações da demanda a montante na cadeia de suprimentos. É importante ressaltar que, por meio da análise de estabilidade realizada, sob a hipótese de baixos níveis de estoque, as interrelações das políticas de pedidos entre dois níveis consecutivos ficam eliminadas. Nesse sentido, a propagação da variabilidade da demanda somente ocorrerá quando todos os níveis da cadeia tiverem estoque suficiente para atender a demanda e $x_j \geq 1$. Além disso, através da equação (31) percebe-se que o *lead time* não é um fator determinante no efeito chicote, uma vez que ele não aparece na equação (31) –equação característica.

Lin et al. (2004) demonstram também que nesse sistema dinâmico, o efeito chicote só se manifestará quando for usado qualquer tipo de previsão de demanda. Os autores chamam atenção para o fato de esse resultado já ter sido demonstrado por Towill et al. (2002) e Dejonckheere et al.(2003).

3.3 PROPOSTA DE MODELO MULTIOBJETIVO

A partir do modelo de controle apresentado e a respectiva análise de estabilidade têm-se todas as condições para apresentar a modelagem multiobjetivo, que é o tema foco desta pesquisa.

Dentro deste contexto, pretende-se contribuir para o estado da arte dos modelos de planejamento conjunto e colaborativo da cadeia de suprimentos, abordando concomitantemente três áreas de conhecimento: a otimização multiobjetivo, modelos estáveis de controle ótimo e avaliação da dinâmica da cadeia de suprimentos inserida em cenários de planejamento conjunto e colaborativo.

A avaliação dinâmica da cadeia de suprimentos será realizada de modo a se obter informações no que tange ao desempenho global da cadeia, às trocas compensatórias, ao efeito chicote, ao nível de serviço da cadeia e à satisfação do cliente final. Com isso pretende-se formar uma base para a utilização de um modelo, como um sistema de apoio à decisão, elaborado segundo o juízo de valor e as preferências dos tomadores de decisão. O modelo deverá servir como meio de incentivo à participação efetiva de todos os níveis no planejamento conjunto e colaborativo da cadeia de suprimentos.

3.3.1 Especificação do modelo

O modelo aqui proposto é de uma cadeia de suprimentos de um único produto constituída de quatro níveis: produtor, atacadista, distribuidor e varejista, conforme apresentado na Figura 6. O problema é definido como segue.

Dada uma cadeia de suprimentos e a correspondente previsão de demanda dos consumidores finais, o problema consiste em definir o plano ótimo de pedidos, entregas,

níveis de estoque e de serviços para cada integrante da cadeia, em cada período de planejamento, de modo que o desempenho global da cadeia seja otimizado. A função representativa do desempenho da cadeia – denominada função critério – é a função de lucratividade total da cadeia.

O modelo conta com as seguintes hipóteses subjacentes a sua especificação:

(i) a cadeia consiste em uma estrutura sem ramificações conectada por fluxos de materiais, que dependem dos custos de transporte e informações; o produtor atende somente um atacadista, o atacadista atende somente um distribuidor e o distribuidor atende somente um varejista;

(ii) todos os participantes compartilham informações, tanto sobre a oferta, como sobre a demanda e previsão de *lead time* de entrega;

(iii) cada integrante da cadeia é representado por um nível;

(iv) existe a distribuição de apenas um produto;

(v) cada nível é modelado por um conjunto de equações à diferença que representam o estado do sistema;

(vi) cada ligação entre os níveis tem um custo de transporte associado. O custo de transporte é função do tipo e da quantidade de caminhões que for utilizada. O custo de transporte está sob a responsabilidade do nível que recebe o produto e honrado no período $(t+1)$. Assim, as vendas do produtor geram um custo de transporte para o atacadista, as do atacadista para o distribuidor e as do distribuidor para o varejista.

(vii) cada nível da cadeia tem restrições de disponibilidade de caminhões – com diferentes capacidades – para serem utilizados na distribuição dos bens;

As restrições sobre a disponibilidade de caminhões, as respectivas capacidades e seus custos associados são apresentadas a seguir.

As restrições de disponibilidade de caminhões são dadas por:

$$A(j, t) \leq a(j) \quad (32)$$

$$B(j, t) \leq b(j) \quad (33)$$

$$C(j, t) \leq c(j) \quad (34)$$

onde:

$A(j, t)$: total de caminhões, do tipo j , utilizado pelo varejista em t ;

$B(j, t)$: total de caminhões, do tipo j , utilizado pelo distribuidor em t ;

$C(j, t)$: total de caminhões, do tipo j , utilizados pelo atacadista em t ;

$a(j)$: quantidade máxima de caminhões, do tipo j , disponíveis para o varejista;

$b(j)$: quantidade máxima de caminhões, do tipo j , disponíveis para o distribuidor;

$c(j)$: quantidade máxima de caminhões, do tipo j , disponíveis para o atacadista.

As restrições de desigualdade, representadas pelas inequações (32), (33) e (34), indicam que o total de caminhões disponíveis pelo varejista, distribuidor e atacadista não podem ultrapassar os respectivos limites estabelecidos e representados por $a(j)$, $b(j)$ e $c(j)$, respectivamente. As hipóteses sobre a estrutura de transporte são dadas pelas equações a seguir:

$$\sum_j A(j, t) * Q(j, t) \geq V_v(t) \quad (35)$$

$$\sum_j B(j, t) * Q(j, t) \geq V_D(t) \quad (36)$$

$$\sum_j C(j, t) * Q(j, t) \geq V_A(t) \quad (37)$$

onde:

$Q(j, t)$: capacidade de carga do caminhão j , em qualquer período t ;

$V_V(t)$: vendas do varejista no período t ;

$V_D(t)$: vendas do distribuidor no período t ;

$V_A(t)$: vendas do atacadista no período t ;

As equações (35), (36) e (37) indicam que o transporte pode operar no sistema de cargas menores. Para cada um dos níveis, a quantidade utilizada de cada tipo de caminhão, j , é multiplicada pela sua respectiva capacidade de carga. Esse total de capacidade de transporte pode ser maior do que a capacidade necessária de transporte no período. Ou seja, cada caminhão pode transportar bens com capacidade ociosa. O custo de transporte para cada integrante da cadeia, em cada período, é dado por:

$$CT_V(t) = \sum_j A(j, t) * CC_V(j, t) \quad (38)$$

$$CT_D(t) = \sum_j B(j, t) * CC_D(j, t) \quad (39)$$

$$CT_A(t) = \sum_j C(j, t) * CC_V(j, t) \quad (40)$$

onde:

$CT_V(t)$ custo de transporte do varejista, no período t ;

$CT_D(t)$ custo de transporte do distribuidor, no período t ;

$CT_A(t)$ custo de transporte do atacadista, no período t ;

$CC_V(j, t)$ custo de cada caminhão utilizado pelo varejista, no período t ;

$CC_D(j, t)$ custo de cada caminhão utilizado pelo distribuidor, no período t ;

$CC_A(j, t)$ custo de cada caminhão utilizado pelo atacadista no período t .

As equações (38), (39) e (40) indicam que o custo de transporte de cada participante da cadeia, em cada período, é dado pelo produto entre a quantidade utilizada de caminhões do tipo j e seus respectivos custos.

Para incluir as políticas de decisão de estoque na função-objetivo seguiu-se a recomendação constante em Shapiro (2001). Ou seja, considerar o custo de manter estoque por meio do estoque médio entre dois períodos consecutivos. As equações a seguir representam o custo de cada participante da cadeia, dadas em função do estoque e do custo de transporte, em cada período de planejamento. Assim, o custo total de cada nível da cadeia é representado por:

$$C_V(t+1) = 0.5 * \varphi_V * (E_V(t) + E_V(t+1)) + CT_V(t) \quad (41)$$

$$C_D(t+1) = 0.5 * \varphi_D * (E_D(t) + E_D(t+1)) + CT_D(t) \quad (42)$$

$$C_A(t+1) = 0.5 * \varphi_A * (E_A(t) + E_A(t+1)) + CT_A(t) \quad (43)$$

$$CT_C(t+1) = C_V(t+1) + C_D(t+1) + C_A(t+1) \quad (44)$$

onde:

$C_V(t)$: custo do varejista no período t ;

$C_D(t)$: custo do distribuidor no período t ;

$C_A(t)$: custo do atacadista no período t ;

$CT_C(t)$: custo do total da cadeia no período t ;

φ_V custo variável de estocagem do varejista;

φ_D custo variável de estocagem do distribuidor;

φ_A custo variável de estocagem do atacadista.

As equações, (41) à (44) mostram as hipóteses assumidas com relação ao custo total de cada participante e da cadeia. Os custos totais dos níveis varejista, distribuidor e atacadista são dados em função do estoque médio entre dois períodos consecutivos, t e $(t+1)$, multiplicado pelo custo variável de manter o nível de estoque, mais os respectivos custos totais de transporte em cada período t .

Para a otimização multiobjetivo, diversas funções-objetivo são especificadas para serem otimizadas em conjunto com a função de lucratividade de cada nível da cadeia – função critério –, durante o horizonte de planejamento, N .

Os lucros do varejista, distribuidor e atacadista são representados, respectivamente pelas equações (45) (46) (47)

$$Max LT_V = \sum_{t=1}^{12} (1 + M_V) * V_V(t+1) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_V * (E_V(t) + E_V(t+1))) - \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 CT_V(j, t) \quad (45)$$

onde:

LT_V : lucratividade total do varejista;

M_V : margem do varejista;

$$Max LT_D = \sum_{t=1}^{12} (1 + M_D) * V_D(t+1) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_D * (E_D(t) + E_D(t+1))) - \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 CT_D(j, t) \quad (46)$$

onde:

LT_D : lucratividade total do distribuidor;

M_D : margem unitária do distribuidor;

$$Max LT_A = \sum_{t=1}^{12} (1 + M_A) * V_A(t+1) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_A * (E_A(t) + E_A(t+1))) - \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 CT_A(j,t) \quad (47)$$

onde:

LT_A : lucratividade total do atacadista;

M_A : margem unitária do atacadista;

A equações (44), (45) e (46) estabelecem que a lucratividade de cada um dos níveis da cadeia é dada pela soma algébrica de três parcelas. A primeira é o produto entre a margem de ganho pela quantidade de produto vendido; a segunda representa o custo de manter estoque, e a terceira o custo total de transporte.

Para especificar a lucratividade total da cadeia parte-se de Chopra (2003). O autor considera que cadeias de suprimentos têm por objetivo maximizar o valor global gerado, isto é, a diferença auferida entre o valor do produto final para o cliente e o esforço despendido por todas as organizações que formam os diferentes estágios da cadeia de suprimentos. Ou seja, o valor global da cadeia consiste na diferença entre a receita gerada pelo cliente final e o custo total ocorrido ao longo da cadeia. A função-critério que representa a lucratividade total da cadeia é dada por:

$$\begin{aligned} Max LT_C = & \sum_{t=1}^{12} (1 + M_t) * V_V(t+1) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_V * (E_V(t) + E_V(t+1))) \\ & - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_D * (E_D(t) + E_D(t+1))) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_A * (E_A(t) + E_A(t+1))) \quad (48) \\ & - \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 CT_V(j,t) - \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 CT_D(j,t) - \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 CT_A(j,t) \end{aligned}$$

onde:

LT_C : lucratividade total da cadeia;

M_t : margem unitária da cadeia;

Conforme o modelo adotado, as equações de equilíbrio de estoque são dadas por:

$$E_A(t+1) = E_A(t) + V_P(t) - V_A(t+1) \quad (49)$$

$$E_D(t+1) = E_D(t) + V_A(t) - V_D(t+1) \quad (50)$$

$$E_V(t+1) = E_V(t) + V_D(t) - V_V(t+1) \quad (51)$$

onde:

$E_A(t)$: estoque do atacadista no período t ;

$E_D(t)$: estoque do distribuidor no período t ;

$E_V(t)$: estoque do varejista no período t ;

$V_P(t)$: vendas do produtor no período t ;

$V_A(t)$: vendas do atacadista no período t ;

$V_D(t)$: vendas do distribuidor no período t ;

$V_V(t)$: vendas do varejista no período t ;

As equações que descrevem a posição de estoque para cada nível são:

$$PE_A(t+1) = PE_A(t) + V_P(t+1) - V_A(t+1) \quad (52)$$

$$PE_D(t+1) = PE_D(t) + V_A(t+1) - V_D(t+1) \quad (53)$$

$$PE_V(t+1) = PE_V(t) + V_D(t+1) - V_V(t+1), \quad (54)$$

onde

$PE_A(t)$: posição de estoque do atacadista, no período t ;

$PE_D(t)$: posição de estoque do distribuidor, no período t ;

$PE_V(t)$: posição de estoque do varejista, no período t ;

As equações que descrevem o total de pedidos realizados e que funcionam como regras de controle de decisão são:

$$PR_p(t) = x_A * (PED_A(t) - PE_A(t)) \quad (55)$$

$$PR_A(t) = x_D * (PED_D(t) - PE_D(t)) \quad (56)$$

$$PR_v(t) = x_v * (PED_v(t) - PE_v(t)) \quad (57)$$

onde:

x_A : controlador da política e pedidos do atacadista;

x_D : controlador da política de pedidos do distribuidor;

x_v : controlador da política de pedidos do varejista;

$PR_p(t)$: total de pedidos recebidos pelo produtor, no período t;

$PR_A(t)$: total de pedidos recebidos pelo atacadista, no período t;

$PR_D(t)$: total de pedidos recebidos pelo distribuidor, no período t;

$PR_v(t)$: total de pedidos recebidos pelo varejista, no período t;

As equações que descrevem a posição do pedido são:

$$PP_A(t+1) = PR_A(t+1) + PP_A(t) - V_A(t+1) \quad (58)$$

$$PP_D(t+1) = PR_D(t+1) + PP_D(t) - V_D(t+1) \quad (59)$$

$$PP_v(t+1) = PR_v(t+1) + PP_v(t) - V_v(t+1) \quad (60)$$

onde

$PP_A(t)$: posição de pedido do atacadista, no período t;

$PP_D(t)$: posição de pedido do distribuidor, no período t;

$PP_v(t)$: posição de pedido do varejista, no período t;

A entrega de bens em cada período de planejamento segue a seguinte regra: se existir estoque suficiente para satisfazer a posição do pedido do período anterior (t-1), todos os

pedidos serão entregues; se o nível a jusante sempre tiver estoque em excesso, o fornecedor apenas pára as entregas. Assume-se que o produtor entrega todos os pedidos feitos pelo atacadista. Assim as vendas são dadas por:

$$V_p(t+1) = PR_p(t) \quad (61)$$

$$V_A(t+1) = \min(E_A(t), PP_A(t)) \quad (62)$$

$$V_D(t+1) = \min(E_D(t), PP_D(t)) \quad (63)$$

$$V_v(t+1) = \min(E_v(t), PP_v(t)) \quad (64)$$

$$V_v(t+1) \leq D_C(t+1) \quad (65)$$

A equação (65) é especificada para garantir que, em qualquer período, as vendas do varejista sejam, no máximo, iguais a demanda do consumidor final, D_C .

A satisfação do consumidor é representada pelos pedidos atendidos. Quanto maior o nível de pedidos atendidos, maior a satisfação do consumidor. Por outro lado, quanto maior for o total de pedidos acumulados, menor será a satisfação do consumidor. Assim, a equação que mede o nível de serviço ao consumidor é dada pela equação de pedidos acumulados. Os pedidos acumulados, em cada nível j , são definidos como a diferença entre a posição de pedido, no final do período anterior, e o total de bens enviados no período corrente.

$$PA_A(t+1) = PP_A(t) - V_A(t+1) \quad (66)$$

$$PA_D(t+1) = PP_D(t) - V_D(t+1) \quad (67)$$

$$PA_v(t+1) = PP_v(t) - V_v(t+1) \quad (68)$$

onde:

$PA_A(t)$: pedidos acumulados no nível atacadista, no período t ;

$PA_D(t)$: pedidos acumulados no nível distribuidor, no período t ;

$PA_V(t)$: pedidos acumulados no nível varejista, no período t .

O problema proposto pode ser resumido como segue: dada uma cadeia de suprimentos e a correspondente previsão de demanda do consumidor final, durante um horizonte finito de tempo, o objetivo é definir para cada nível da cadeia, e para cada período, os níveis ótimos referentes: (i) à quantidade total de bens a ser enviada pelo nível a montante, i , ao nível a jusante, j ; (ii) ao total de pedidos a serem enviados, pelos níveis a jusante, aos níveis a montante na cadeia; (iii) à posição do pedido; (iv) à posição do estoque; (v) ao nível de estoque (vi) ao nível de serviço; (vii) aos tipos e quantidades de caminhões a serem utilizadas; e (viii) aos custos de transporte. A partir das respostas obtidas, avalia-se a influência da consideração de múltiplos objetivos sobre o desempenho da cadeia de suprimentos e suas principais trocas compensatórias e a magnitude do efeito chicote.

Os modelos são resolvidos por programação não-linear inteira mista, implementados no *GAMS*²¹ (*General Algebraic Modelling System*), e solucionados pelo método *branch-and-bound*, a partir da combinação mais adequada de *solvers* de otimização. Para maiores detalhes referencia-se Brooke et al. (1998).

Na próxima seção apresentam-se os parâmetros dos modelos, as condições iniciais e as simulações realizadas sob diferentes cenários de planejamento conjunto e colaborativo.

²¹ O GAMS é um sistema de modelagem que permite a utilização de diversos algoritmos de resolução de modelos de programação matemática, como os de programação linear, programação não linear, programação não-linear inteira e programação não-linear inteira mista. O sistema disponibiliza diferentes *solvers* que são específicos para cada tipo de modelo. O GAMS foi desenvolvido no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Washington, sob a direção de Alexander Meeraus, (BROOKE et al. 1998).

3.4 CENÁRIOS DE PLANEJAMENTO CONJUNTO E COLABORATIVO

O processo de planejamento por cenários fornece o contexto para se pensar com clareza a respeito dos diversos fatores pertinentes a qualquer processo de decisão. Os cenários formam um método para articular os diferentes caminhos que possam existir e descobrir os movimentos mais apropriados em cada um desses caminhos. O planejamento por cenários diz respeito a fazer escolhas hoje com a compreensão sobre o que poderá acontecer com elas no futuro.

Nesse contexto, cenário se constitui em uma ferramenta para ordenar percepções relevantes sobre cada nível da cadeia, sobre objetivos alternativos, fazendo com que as decisões assumam significado e se tornem tangíveis. Cenários não dizem respeito a prever o futuro, e sim a perceber futuros no presente (SCHWARTZ, 2000).

3.4.1 Parâmetros e Condições Iniciais

Conforme anteriormente mencionado, a cadeia de suprimentos considerada neste estudo é formada por quatro níveis: produtor, distribuidor, atacadista e varejista. Cada um desses níveis possui uma estrutura de custos: custo de manter estoque e custos de transporte. Cada nível da cadeia possui dois tipos de caminhão e seus custos associados de modo a satisfazer a demanda do consumidor.

Para se determinar os custos de transportes em cada nível da cadeia, utiliza-se o estudo de Novaes (2001). O autor esclarece que, normalmente, o custo de transporte é decomposto em dois elementos básicos: custo fixo e custo variável, este último expresso em R\$/km. O custo fixo é dado em R\$/dia. As equações de custo²² formuladas pelo autor são dadas por:

²² Essas equações foram estimadas a partir de dados publicados na revista frota e Companhia e disponíveis em Novaes (2001).

$$CF = 57,57 + 4,69 W \quad (69)$$

$$CV = 0,0355 W^{0,662} + 0,1 \quad (70)$$

onde W é a capacidade útil dos diferentes tipos de caminhões disponíveis em cada nível da cadeia.

No modelo proposto considerou-se a possibilidade de uso de dois tipos de veículos – um caminhão com capacidade de 7786 kg e outro com capacidade de 12 360 kg. A distância (ida e volta) entre o distribuidor e o varejista é de 540 km e realizada em um dia. A distância (ida e volta) entre o produtor e atacadista, e entre atacadista e distribuidor é de aproximadamente 1080 km, necessitando de aproximadamente dois dias para percorrê-la.

Como por hipótese o nível produtor atende todos os pedidos do atacadista, considera-se que a lucratividade total da cadeia pode ser representada pela lucratividade total obtida com os níveis atacadista, distribuidor e varejista. Essa lucratividade é suposta 25 % e deve ser dividida entre esses três níveis, conforme suas margens individuais. Ou seja, o varejista tem uma margem de 11,5%, o distribuidor uma margem de 6,8% e o atacadista uma margem de 5%. Para especificar a função-critério, representativa da lucratividade total da cadeia, considerou-se que a mesma é obtida pelo total de bens vendidos pelo varejista multiplicada pela margem total da cadeia.

Na Tabela Tabela 1 apresentam-se os parâmetros e as condições iniciais do modelo que se referem:

- (i) ao estoque inicial do produtor, atacadista, distribuidor e varejista, em $t=0$;
- (ii) à posição do estoque do produtor, atacadista, distribuidor e varejista, $t=0$;

- (iii) à posição do pedido do produtor, atacadista, distribuidor e varejista, $t=0$;
- (iv) às vendas realizadas pelo produtor, atacadista, distribuidor e varejista, $t=0$;
- (v) à posição do estoque do produtor, atacadista, distribuidor e varejista, $t=0$.

Tabela 1 Valores das condições iniciais do modelo

Parâmetro	Valor
$E_A(0)$ em kg	200000
$E_D(0)$ em kg	100000
$E_V(0)$ em kg	80000
$PE_A(0)$ em kg	20000
$PE_D(0)$ em kg	20000
$PE_V(0)$ em kg	20000
$PP_A(0)$ em kg	0
$PP_D(0)$ em kg	0
$PP_V(0)$ em kg	0
$V_P(0)$ em kg	50000
$V_A(0)$ em kg	30000
$V_D(0)$ em kg	20000
$V_V(0)$ em kg	0

Na Tabela (2) apresentam-se os valores dos parâmetros utilizados no modelo.

Tabela 2 Valores dos parâmetros do modelo

Parâmetro	Valor
M_T em percentual	25%
M_V em percentual	11,5%
M_D em percentual	6,8%
M_A em percentual	5%
ϕ_V em R\$/kg	0,04
ϕ_D em R\$/kg	0,03
ϕ_A em R\$/kg	0,01
$CT_V(1,t)$ em R\$/caminhão	223,00

Parâmetro	Valor
$CT_V(2,t)$ em R\$/caminhão	408,00
$CT_D(1,t)$ em R\$/caminhão	445,00
$CT_D(2,t)$ em R\$/caminhão	816,00
$CT_A(1,t)$ em R\$/caminhão	445,00
$CT_A(2,t)$ em R\$/caminhão	816,00
$Q(1,t)$ em kg	7786
$Q(2,t)$ em kg	27000
a_1 em unidades	1
a_2 em unidades	15
b_1 em unidades	1
b_2 em unidades	15
c_1 em unidades	1
c_2 em unidades	15

Considera-se que os dados históricos da demanda do consumidor final revelam uma distribuição aproximadamente normal com média igual a 100.000 kg e desvio padrão igual a 20.000 kg. Considera-se também, que os responsáveis pelas tomadas de decisão na cadeia estejam agindo sob as normas do CPFR. Ou seja, as empresas realizam individualmente suas previsões de vendas e necessidades de reabastecimento. Essas previsões são levadas a um “*fórum de discussão*” onde as eventuais exceções são analisadas. Após a análise das exceções e das considerações de efeitos sazonais, a previsão de demanda final, com a qual todos concordam em trabalhar é apresentada na Tabela 3.

Períodos	Demanda (kg)
0	103982
1	91344
2	82516
3	70557
4	82523
5	96408
6	98177
7	101463
8	86101
9	95294
10	89771
11	93295
12	106125

Tabela 3 Previsão da demanda do consumidor final

3.4.2 Simulações e Resultados

De modo a atender os objetivos propostos nesta pesquisa, a análise dos cenários se dará em três etapas. Na primeira etapa, apresenta-se o Cenário A. Nesse cenário, os custos de transporte não são considerados como variável relevante na função representativa do desempenho global da cadeia – no caso na função de lucratividade total. Isso significa que as variáveis de custos de transporte fazem parte apenas do conjunto de restrições do sistema e da função de custo total da cadeia, conforme se pode observar nas equações (32) à (47).

Na segunda etapa, apresenta-se o Cenário B, no qual os custos de transporte são inseridos na função-critério, ou seja, na função representativa da lucratividade total da cadeia. Ainda nessa etapa, apresentam-se diversos cenários derivados do Cenário B, onde novas funções-objetivo são otimizadas, simultaneamente, com a lucratividade total da cadeia.

Na terceira etapa são realizadas avaliações dos cenários nos quais considera-se que os responsáveis pelas tomadas de decisão estão inseridos em um ambiente com *lead time* variável: cada nível da cadeia trabalha com uma previsão de tempo de entrega de seus

produtos. Essa previsão é compartilhada entre o nível a montante e o nível a jusante, mais próximo da cadeia.

Na quarta e última etapa, são considerados os cenários nos quais consideram-se múltiplos objetivos conflituosos para serem otimizados juntamente com a lucratividade total da cadeia.

A apresentação dos resultados será realizada sempre de forma comparativa com o cenário anterior. Além disso, serão realizadas algumas comparações entre os cenários que consideram os custos de transporte na função objetivo e os que não os consideram. A comparação entre os diferentes cenários se dará por meio da análise, tanto das variações relativas nos níveis totais da cadeia –variáveis totais –, como as variações relativas das variáveis de cada nível da cadeia – variáveis parciais. A partir dessas variações relativas têm-se condições de se observar as trocas compensatórias, o efeito chicote, o nível de serviço e o hiato e satisfação do cliente final.

Na avaliação das trocas compensatórias acredita-se que as variações relativas das variáveis totais da cadeia e das variáveis parciais, juntamente com os respectivos coeficientes de correlação entre as variáveis do modelo e a lucratividade total da cadeia, podem servir de fonte de informação. Isso porque, conforme os objetivos pretendidos, existe nítida mudança, tanto na intensidade, como no sentido da correlação entre as variáveis e a lucratividade da cadeia. Esses coeficientes de correlação poderão auxiliar no diálogo e negociação entre os participantes da cadeia, uma vez que oferecem a possibilidade de se verificar as interdependências que existem entre as variáveis dos diferentes níveis da cadeia.

O efeito chicote de cada nível da cadeia é medido pelo valor relativo do coeficiente de variabilidade²³, δ , do total de pedidos recebidos pelos níveis a montante e o coeficiente de variabilidade, δ , do total das vendas efetuadas pelo nível a jusante. A equação (71) apresenta o cálculo do efeito chicote em cada nível da cadeia.

$$EC_j = \frac{\delta TPR_i}{\delta TVE_j} \quad (71)$$

onde:

EC_j : Efeito chicote em cada nível da cadeia;

δTPR_i : coeficiente de variabilidade do total de pedidos recebidos pelo nível i – pedidos enviados pelo nível j –, com $i \in (P, A, D, V)$;

δTV_j : coeficiente de variabilidade do total e total de vendas efetuadas pelo nível j , com $j \in (A, D, V, C)$, durante o período de planejamento;

Para a cadeia como um todo, o efeito chicote é medido pelo valor relativo entre o coeficiente de variabilidade do total de pedidos recebidos na cadeia e o coeficiente de variabilidade do total de vendas realizadas na cadeia.

$$EC_c = \frac{\delta TPR_c}{\delta TVE_c} \quad (72)$$

onde:

EC_c : Efeito chicote da cadeia;

δTPR_c : total de pedidos recebidos na cadeia, durante o horizonte de planejamento;

²³ O coeficiente de variabilidade é a divisão entre o desvio padrão e a média aritmética da variável.

δTVE_C : total de vendas efetuadas na cadeia, durante o horizonte de planejamento.

Considera-se esse método bastante adequado, uma vez que os níveis médios e o desvio padrão das variáveis podem se alterar muito de um cenário para outro. Logo, medir o efeito chicote somente através do valor relativo da variância entre pedidos e vendas, não é o método mais adequado.

Para avaliar a dinâmica do efeito chicote, calcula-se a taxa entre os pedidos recebidos e as vendas efetuadas, em cada nível da cadeia. A dinâmica do efeito chicote é dada por:

$$EC_C(t) = \frac{TPR_C(t)}{TVE_C(t)} \quad (73)$$

onde:

$TPR_C(t)$: total de pedidos recebidos na cadeia, no período t ;

$TVE_C(t)$: total de vendas efetuadas na cadeia, no período t .

O nível de serviço total da cadeia é representado pela soma dos pedidos acumulados nos níveis atacadista, distribuidor e varejista, conforme equações (66) (67) e (68). Para se analisar o nível de satisfação do cliente final, foi criada uma medida denominada hiato de satisfação do consumidor final, HS. Essa medida foi utilizada em Perea et al. (2000) e muito utilizada como medida comparativa de erros de previsão, conforme Makridakis et al. 1989. Essa medida é dada pela equação a seguir:

$$HS = 1/t * \sum_{t=1}^{12} \left(\frac{Vv(t) - Dc(t)}{Dc(t)} \right)^2 \quad (74)$$

onde:

HS: hiato de satisfação do consumidor final

Essa medida é dada pela média dos quadrados dos desvios relativos entre as vendas do varejista e a demanda do consumidor final, no período de planejamento.

Uma vez que, por hipótese, o produtor atende todos os pedidos realizados pelo atacadista, todas as análises serão realizadas considerando-se os níveis atacadista, distribuidor e varejista.

3.4.2.1 Cenário A

O Cenário A é especificado com o objetivo de se avaliar o desempenho da cadeia de suprimentos, seguindo a maioria dos estudos que não consideram os custos de transporte como variável relevante para a otimização do desempenho global da cadeia – no caso da lucratividade total da cadeia. Ou seja, inicialmente são determinadas as quantidades de pedidos, considerando os custos de estocagem. Após, em função das quantidades de pedidos determinadas, das restrições de capacidade dos caminhões, e da estrutura de custos, são determinados os carregamentos que minimizam os custos de entregas.

Com isso, o modelo multiobjetivo é solucionado pelo método lexicográfico. Ou seja, as funções-objetivo são listadas em ordem de importância. As prioridades estabelecidas foram, em primeiro lugar a lucratividade da cadeia e, em segundo lugar, a minimização do custo total de transporte da cadeia. Neste cenário, assume-se a hipótese de que não existe qualquer tipo de conflito entre os participantes. Todos estão de acordo em trabalhar com a previsão de demanda realizada em conjunto, conforme Tabela 3. Além disso, todos os níveis desempenham suas funções eficazmente, tendo como prioridade a maximização da lucratividade total da cadeia, dada pela equação (75)

$$\begin{aligned} \text{Max } LT_C = & \sum_{t=1}^{12} (1+M_V) * V_V(t+1) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_V * (E_V(t)+E_V(t+1))) \\ & - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_D * (E_D(t)+E_D(t+1))) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_A * (E_A(t)+E_A(t+1))) \end{aligned} \quad (75)$$

seguida pela minimização do custo total de transporte da cadeia de suprimentos, dado pela função-objetivo apresentada na equação(76);

$$\text{Min } CTT_C = \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 CT_V(j,t) + \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 CT_D(j,t) + \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 CT_A(j,t) \quad (76)$$

O Cenário A resulta de uma otimização realizada em um tempo aproximado de 7 segundos, com 2581 iterações e um *gap* relativo²⁴ igual a 0,05. Apresenta uma lucratividade igual a R\$ 868. 929,80, cuja evolução dinâmica é apresentada pela Figura 8. Os resultados gerais deste cenário estão no APÊNDICE A.

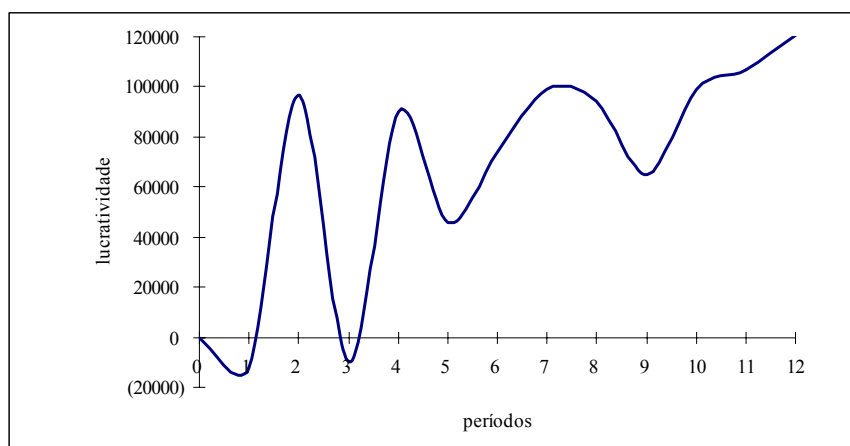


Figura 8 Cenário A: Lucratividade total da cadeia

²⁴ Na resolução dos problemas de otimização pelo GAMS, o processo de solução pára quando atinge um limite de iterações ou quando puder ser garantido que a melhor solução encontrada está a menos de determinado percentual do ótimo global o que é denominado *gap* relativo. Os cenários simulados apresentaram diferentes *gaps* relativos na otimização, os quais são apresentados juntamente com os resultados.

Para atingir esta lucratividade, os controladores, x_j , da política de pedidos do atacadista, distribuidor e varejista, são iguais a 1,187, 1,576 e 2, respectivamente. Em cada período de planejamento, o total de pedidos realizado deverá ser igual a 118,7 %, 157,6 % e 200 % da diferença entre a posição de estoque desejada e a posição de estoque corrente.

Com esses controladores, a posição de estoque desejada pelos níveis atacadista, distribuidor e varejista representam, respectivamente, 14 %, 42 % e 54 % do total da posição de estoque desejada na cadeia. A Figura 9 apresenta a evolução dinâmica da posição de estoque desejada pelos níveis da cadeia.

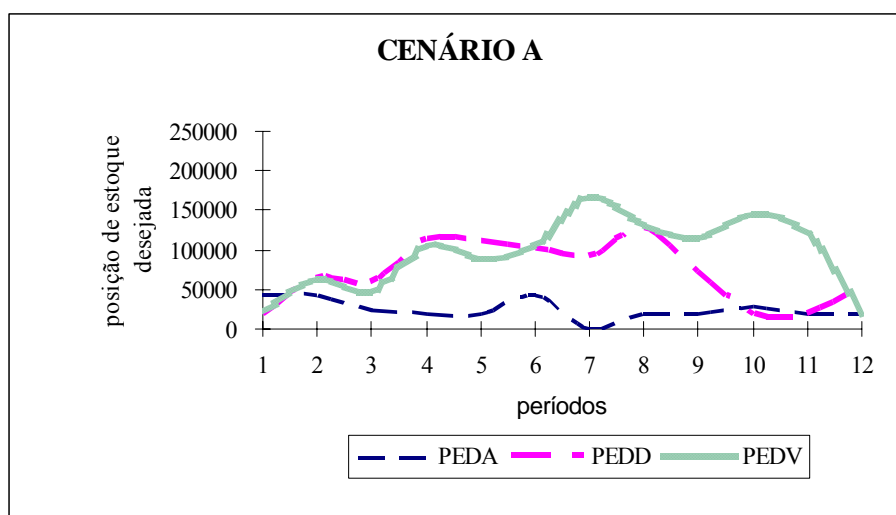


Figura 9 Cenário A: Posição de estoque desejada

Com essa política de pedidos, a maior posição de estoque desejada é a do nível varejista, seguida pela do distribuidor e pela do atacadista. Os coeficientes de variabilidade da posição de estoque desejada dos níveis distribuidor e varejista são iguais a 0,55, enquanto que o do nível atacadista é igual a 0,36.

O custo total da cadeia é igual a R\$ 146.937,00 cujas participações relativas dos custos do atacadista, distribuidor e varejista no custo total da cadeia são, respectivamente iguais a 29 %, 39 % e 32 %.

O custo total de transporte da cadeia é igual a R\$ 70.326,00. As participações relativas dos custos de transporte dos níveis atacadista, distribuidor e varejista, são iguais a 41%, 40 % e 19 %, respectivamente. Essas participações representam 20 %, 19 % e 9 % do custo total da cadeia. A variabilidade dos custos de transporte nesses três níveis são iguais a 0,62, para o atacadista e distribuidor e 0,58 para o nível varejista. A Figura 10 apresenta a evolução dinâmica dos custos de transporte de cada nível da cadeia.

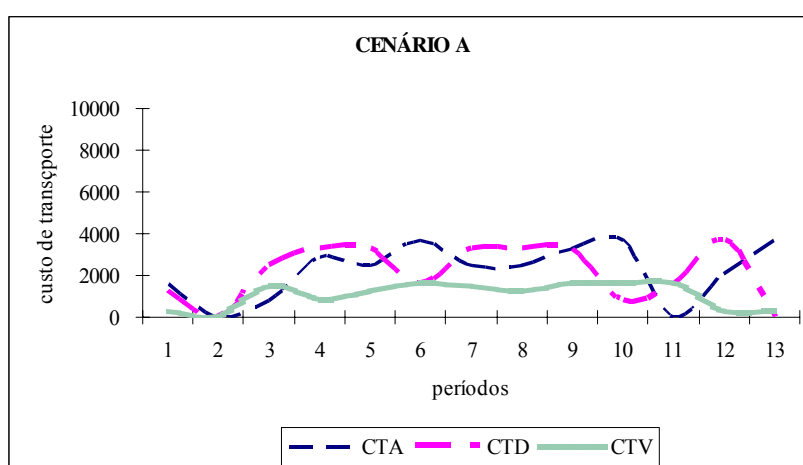


Figura 10 Cenário A: Custos de transporte

O estoque total da cadeia de suprimentos é igual a 3.868.090 , cujas participações relativas dos níveis atacadista, distribuidor e varejista foram iguais a 47 %, 29 % e 23 %, respectivamente. A maior variabilidade apresentada no nível de estoque é a do varejista e a menor é a do nível atacadista. A Figura 11 apresenta a evolução nos níveis de estoque dos participantes da cadeia.

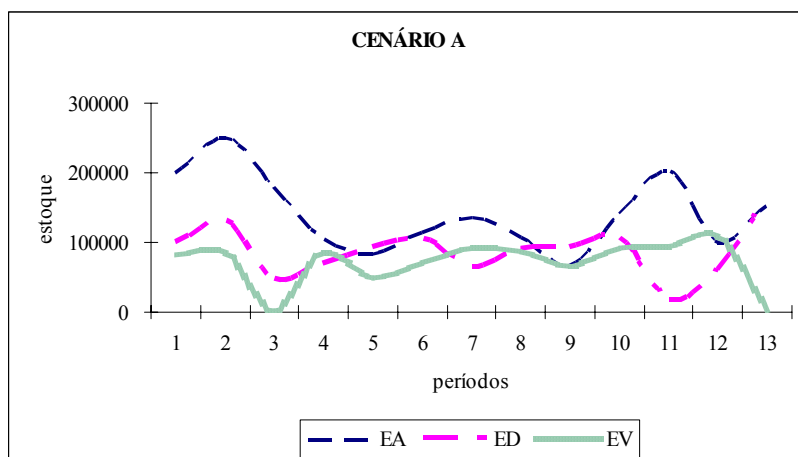


Figura 11 Cenário A: Nível de estoque

O nível total da posição de estoque na cadeia é igual a 1.012.626 kg. O atacadista apresenta uma posição de estoque negativa, correspondendo a -32% da posição de estoque total da cadeia. As participações relativas da posição de estoque dos níveis distribuidor e varejista são, respectivamente, iguais a 52% e 81% . Os respectivos coeficientes de variabilidade são iguais a $-1,6$, $0,94$ e $0,85$. A Figura 12 apresenta a evolução da posição de estoque em cada nível da cadeia.

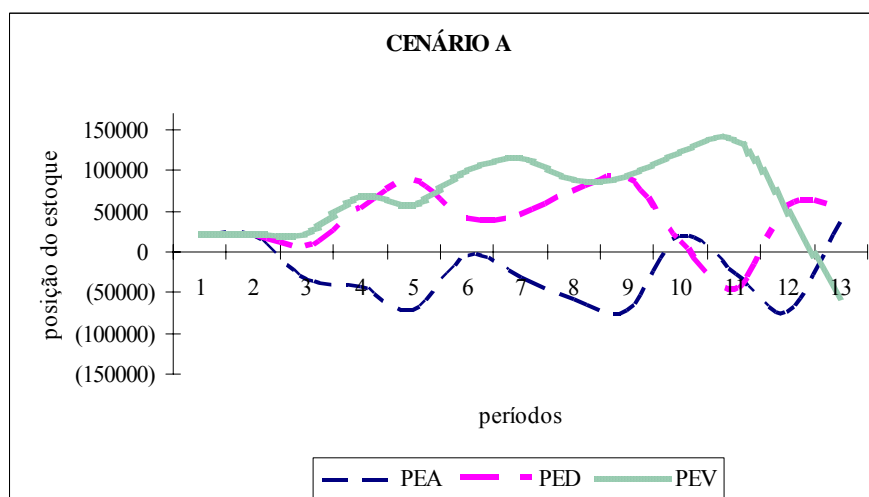


Figura 12 Cenário A: Posição do estoque

O total de vendas na cadeia é igual a 2.402.661kg , cujas participações relativas das vendas dos níveis atacadista, distribuidor e varejista são iguais a 33 %, 31 % e 36 %, respectivamente. A maior variabilidade nas vendas é apresentada pelo nível distribuidor, conforme se observa na Figura 13 e APÊNDICE A.

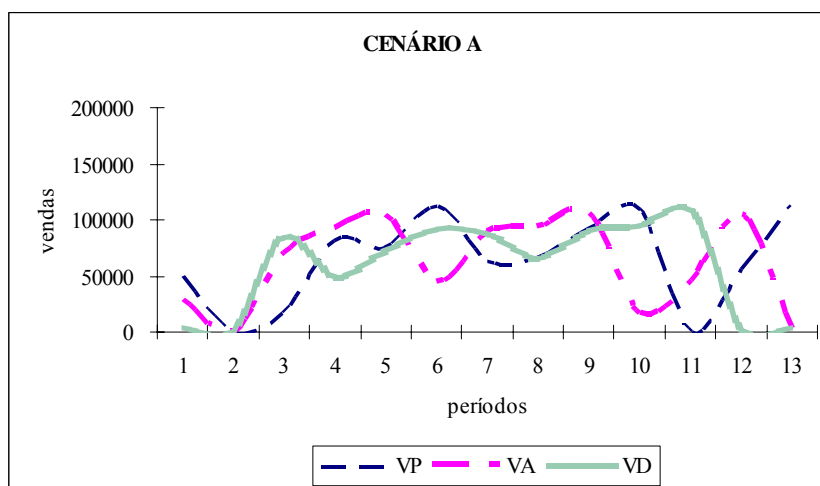


Figura 13 Cenário A: Vendas efetuadas nos níveis

O nível de serviço da cadeia – total de pedidos acumulados – é igual a 1.621.097 kg. Com relação a essa variável, o melhor desempenho é o apresentado pelo nível atacadista que não possui pedidos acumulados. Por outro lado, as participações relativas dos pedidos acumulados nos níveis distribuidor e varejista representam, respectivamente, 8 % e 92 % do total de pedidos acumulados na cadeia. A Figura 14 apresenta a evolução do nível de serviço da cadeia.

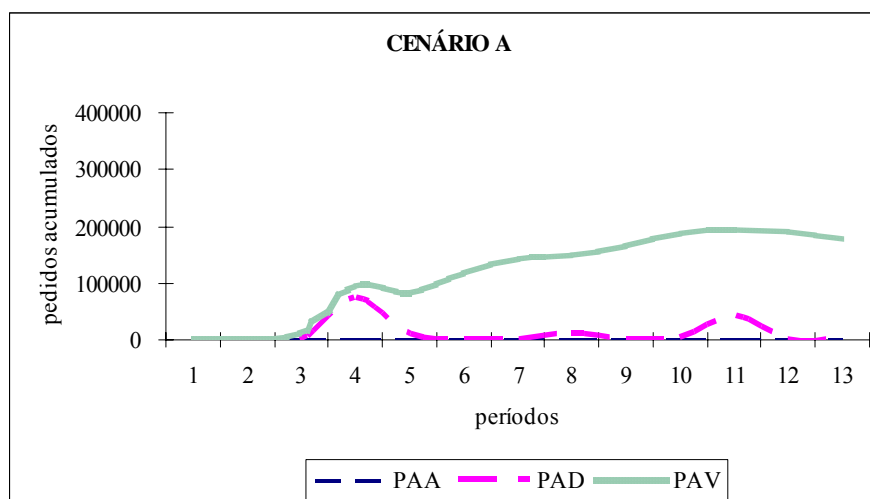


Figura 14 Cenário A: Nível de serviço

É importante ressaltar que, entre todas as variáveis, os pedidos recebidos pelo atacadista – pedidos enviados pelo distribuidor –, a posição do estoque do distribuidor, a posição do estoque do varejista e os pedidos acumulados pelo distribuidor são as variáveis que apresentam os maiores coeficientes de variabilidade, conforme APÊNDICE C.

Finalmente, para essa política de pedidos, as variáveis que apresentam maior coeficiente de correlação positiva com o lucro total da cadeia são as vendas do varejista, o total de vendas da cadeia, e a posição do pedido do varejista, com coeficientes de correlação iguais a 0,95, 0,7 e 0,67, respectivamente.

Neste cenário, o efeito chicote da cadeia é igual a 1,04. A Figura 15 apresenta a taxa entre o total de pedidos realizados e o total de vendas efetuadas na cadeia de suprimentos.

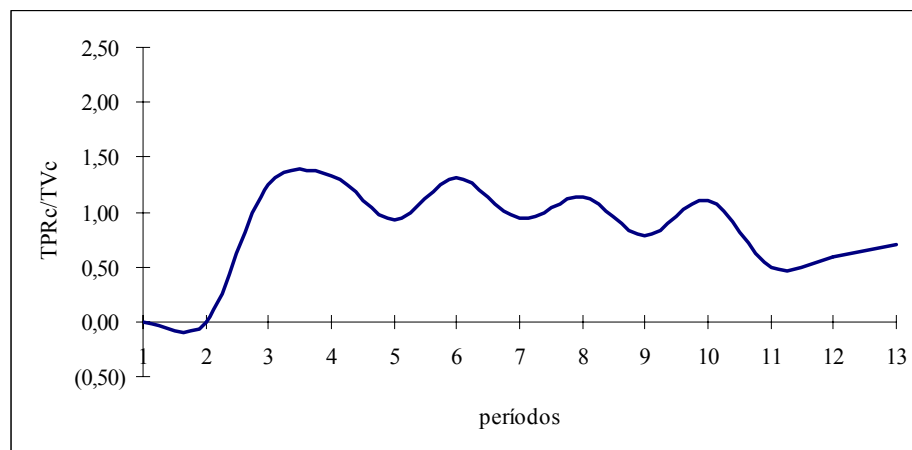


Figura 15 Cenário A: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas

O hiato de satisfação do consumidor final é igual a 31 % e está representado na Figura 16.

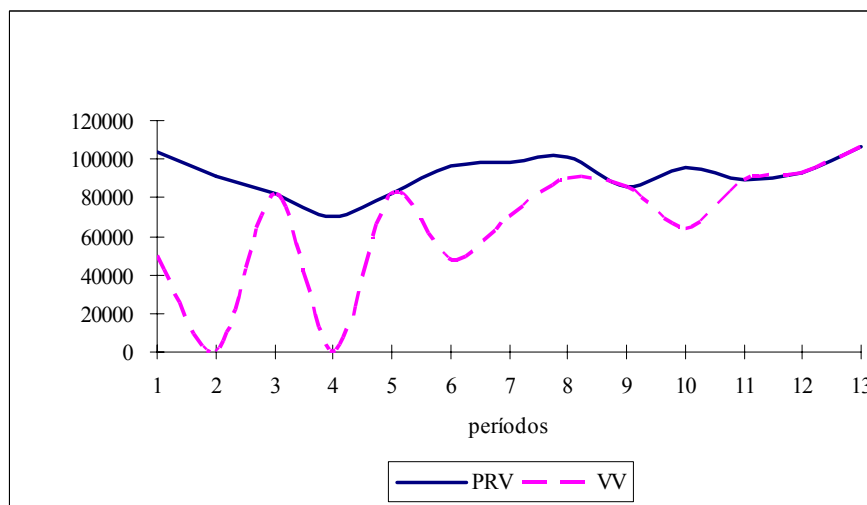


Figura 16 Cenário A: Hiato de satisfação do consumidor final

A partir da descrição deste cenário apresenta-se o Cenário B, no qual os custos de transporte são incluídos na otimização da função-objetivo. A descrição dos próximos cenários será feita de forma comparativa, por meio de tabelas e gráficos.

3.4.2.2 Cenário B

O objetivo deste cenário é analisar as alterações apresentadas na evolução dinâmica da cadeia de suprimentos quando os custos de transporte são considerados como parte relevante para a otimização do desempenho global da cadeia, realizado sob o critério da máxima lucratividade. A análise das alterações é realizada de forma comparativa com o Cenário A. A hipótese de que não existe qualquer tipo de conflito entre os níveis participantes do planejamento é assumida. Todos estão trabalhando eficazmente, tendo como objetivo a maximização da lucratividade total da cadeia dada por:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } LT_C = & \sum_{t=1}^{12} (1+M_t) * V_v(t+1) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_v * (E_v(t) + E_v(t+1))) \\
 & - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_D * (E_D(t) + E_D(t+1))) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_A * (E_A(t) + E_A(t+1))) \\
 & - \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 CT_v(j,t) - \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 CT_D(j,t) - \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 CT_a(j,t)
 \end{aligned} \quad (77)$$

O Cenário B resulta da otimização realizada em um tempo de aproximadamente 10 segundos, com 581 iterações e um *gap* relativo nulo. Os resultados deste cenário encontram-se no APÊNDICE B.

Neste cenário, as políticas de pedidos são regidas por controladores iguais a 1,09, 1,33 e 1,97 para o atacadista, distribuidor e varejista, respectivamente. Este cenário apresenta uma lucratividade total menor (6 %) do que a do Cenário A. Contudo o padrão dinâmico permanece o mesmo, conforme Figura 17.

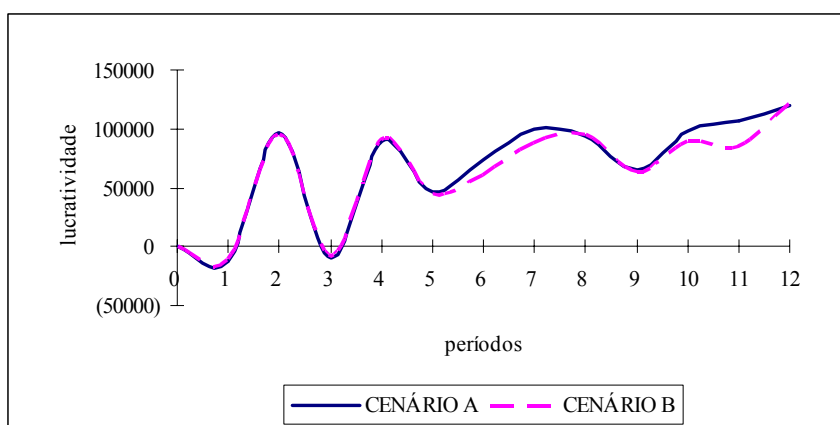


Figura 17 Cenários A e B: Lucratividade total da cadeia

Apesar de a lucratividade da cadeia assumir um padrão de comportamento aproximadamente igual ao do Cenário A, observam-se mudanças significativas nos níveis totais das variáveis, conforme Tabela 4.

TPED _C	-9,12%
LT _C	-6,11%
CT _C	-10,00%
CTT _C	-13,76%
E _T	-2,43%
TPE _C	-23,78%
TPR _C	-6,69%
TPP _C	8,34%
TV _C	-7,20%
TPA _C	28,21%

Tabela 4 Cenários A e B: Variação relativa das variáveis totais.

Conforme anteriormente mencionado, as trocas compensatórias mais abordadas na literatura referem-se aos níveis de serviço e estoque. A necessidade de oferecer níveis de serviço competitivos pode levar uma organização a trabalhar com níveis de estoque mais altos e, conseqüentemente, com custos mais altos. Quanto maior forem os custos, menores serão as margens de lucro da organização.

Com a inclusão dos custos de transporte na otimização da lucratividade total da cadeia, essas trocas compensatórias não são observadas. Comparando-se o Cenário A com o Cenário B, verifica-se que a troca compensatória entre nível de serviço e lucratividade não ocorre. Observa-se que existe um decréscimo no estoque total, juntamente com os custos, nível de serviço e lucratividade. Ou seja, o total de pedidos acumulados aumenta e a lucratividade da cadeia diminui; ambos pioram.

É importante ressaltar que os níveis da cadeia apresentam dinâmicas diferentes com relação às trocas compensatórias observadas nas variáveis totais. O nível atacadista apresenta as trocas compensatórias entre estoque e nível de serviço. O estoque aumenta, o nível de serviço melhora, e a lucratividade diminui. Convém chamar atenção que, embora o estoque apresente um acréscimo, não se observam trocas compensatórias com os custos; o estoque neste nível aumenta, mas os custos diminuem. Desse modo, o padrão das trocas compensatórias no nível atacadista é diferente do padrão observado nas trocas compensatórias das variáveis totais da cadeia.

No nível distribuidor, não se observa a troca compensatória entre estoque e custos. O estoque aumenta e os custos diminuem. Além disso, apesar de o estoque aumentar, o nível de serviço piora e a lucratividade diminui. Aqui fica clara a troca compensatória entre estoque e lucratividade.

No nível varejista, observa-se que existe um decréscimo no estoque total, juntamente com os custos, nível de serviço e lucratividade. Ou seja, o total de pedidos acumulados aumenta e a lucratividade da cadeia diminui; ambos pioram. O nível varejista é o único nível que possui o mesmo padrão dinâmico apresentado pelas variáveis totais da cadeia.

É importante ressaltar que a inclusão dos custos de transporte na otimização da lucratividade da cadeia muda a participação relativa desses custos no custo total da cadeia. No Cenário A, essa participação é de 48 %, enquanto no Cenário B é de 46 %.

Com a inclusão dos custos de transporte na otimização da lucratividade, tanto o nível de estoque, como o nível de vendas diminuem, provocando um aumento nos pedidos acumulados. Esse resultado mostra a influência dos custos de transporte nas tomadas de decisões sobre pedidos a serem realizados na cadeia. Neste cenário o total de pedidos realizados diminui em 7 %, aproximadamente.

De forma geral, observa-se que com essa nova política de pedidos o total da posição de estoque desejada diminui em 9,2 %. Além disso, essa variável apresenta menor variabilidade do que a do Cenário A; o coeficiente de variabilidade diminui em 2,64 %, conforme APÊNDICE C. A Figura 18 apresenta a evolução da posição de estoque desejada na cadeia.

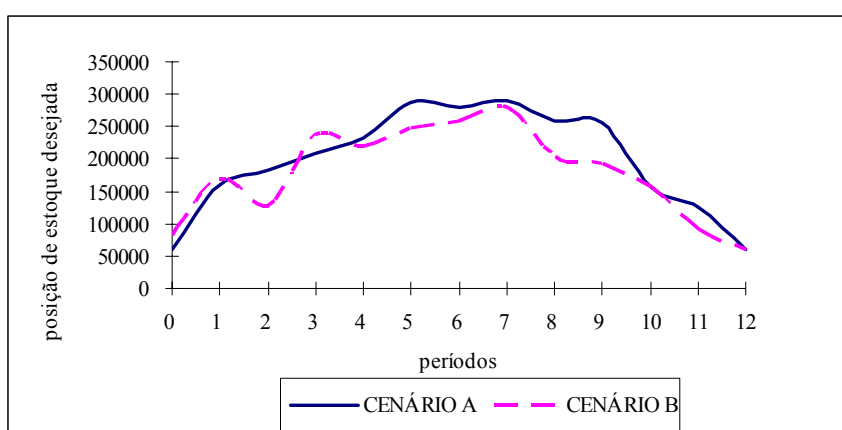


Figura 18 Cenários A e B: Posição de estoque desejada

A posição de estoque total da cadeia apresenta um decréscimo aproximado de 2,4 % e os pedidos realizados também diminuem. Com o decréscimo nos pedidos realizados, as vendas apresentam níveis menores do que os do Cenário A. Como as vendas diminuem, os

pedidos acumulados aumentam. Além da variação relativa das variáveis totais, observam-se alterações nas variações relativas das variáveis parciais, indicando as trocas compensatórias em cada nível da cadeia. Essas variações são apresentadas na Tabela 5.

PEDA	-2,58%	PEV	-13,27%	PAD	165,91%
PEDD	-9,35%	PRP	-8,02%	PAV	15,72%
PEDV	-10,65%	PRA	-5,62%	CA	-8,67%
CTA	-12,98%	PRD	-6,40%	CD	-12,17%
CTD	-14,67%	PPA	-5,70%	CV	-8,53%
CTV	-13,61%	PPD	16,36%	LV	-5,99%
EA	4,39%	PPV	9,06%	LD	-6,31%
ED	-10,36%	VA	-8,26%	LA	-9,19%
EV	-6,31%	VD	-7,10%	HS	35,97%
PEA	-4,19%	VV	-6,28%	EC	0,97
PED	-28,43%	PAA	-100,00%		

Tabela 5 Cenário A e B: Variação relativa das variáveis parciais

Em todos os níveis da cadeia, os custos de transportes são menores do que os do Cenário A. Convém chamar atenção, que os custos de transporte do distribuidor diminuem em 14,67 %, contribuindo com 42% no decréscimo dos custos de transporte da cadeia. O decréscimo nos custos de transporte está contribuindo com a diminuição do custo total da cadeia, uma vez que, neste cenário, os custos de transporte representam 46 % do custo total da cadeia. Esse resultado parece se constituir em fato relevante para revelar a importância de se incluir os custos de transporte na otimização da lucratividade da cadeia. A Figura 19 apresenta a evolução dos custos de transporte da cadeia, nos Cenários A e B.

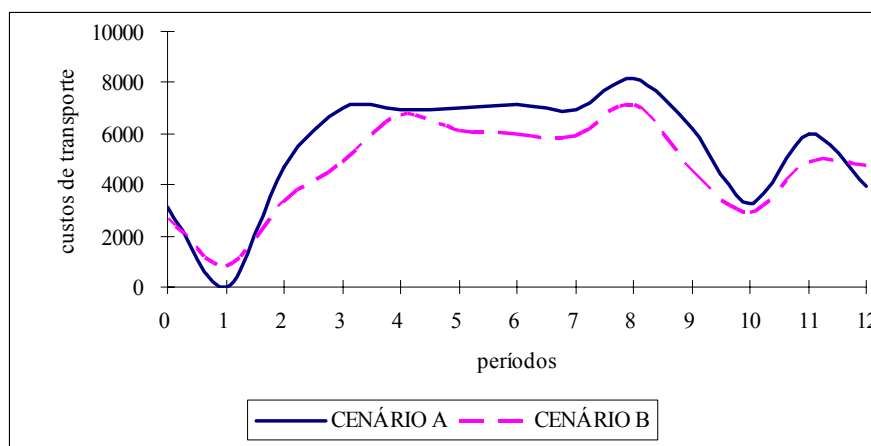


Figura 19 Cenários A e B: Custos de transporte

De modo geral, pode-se dizer que as trocas compensatórias apresentadas pelas variáveis parciais seguem a mesma dinâmica das apresentadas pelas variáveis totais. Os níveis distribuidor e varejista não apresentam trocas compensatórias entre lucratividade e nível de serviço; ambos pioram. Contudo, o nível atacadista apresenta troca compensatória entre estoque e lucratividade.

As alterações observadas na posição do estoque também chamam atenção. No Cenário B, os níveis dessa variável são menores do que os do Cenário A, sendo que a posição de estoque que mais diminuiu foi a do distribuidor, 28,43 %.

Os custos de transporte estão influenciando fortemente a política de pedidos e de vendas. Os pedidos recebidos pelos níveis a montante na cadeia são menores do que os apresentados no Cenário A. O mesmo acontece com as vendas, com o estoque, com os custos e lucros de todos os níveis da cadeia. Com relação aos pedidos acumulados, todos os níveis da cadeia apresentam níveis de serviço piores.

É importante ressaltar a participação relativa que de cada variável parcial no correspondente total. Apesar das alterações apresentadas nas variações relativas das variáveis

totais, não há mudanças significativas nas participações relativas das variáveis parciais no correspondente total, conforme Tabela 6

	CENÁRIO A	CENÁRIO B
CTA	41,45%	41,83%
CTD	39,56%	39,14%
CTV	18,99%	19,03%
EA	47,40%	50,71%
ED	29,46%	27,07%
EV	23,14%	22,22%
PEA	-31,54%	-39,64%
PED	50,46%	47,38%
PEV	81,08%	92,26%
PAA	0,04%	0,00%
PAD	8,35%	17,31%
PAV	91,62%	82,69%
VA	33,35%	32,96%
VD	30,75%	30,78%
VV	35,91%	36,26%
CA	28,60%	29,02%
CD	39,22%	38,28%
CV	32,18%	32,71%
LV	39,70%	40,17%
LD	28,57%	28,82%
LA	31,73%	31,01%

Tabela 6 Cenários A e B: Participação relativa das variáveis parciais

Observa-se uma pequena troca na participação relativa de cada variável sobre o total da cadeia. A variável que apresenta maior mudança na participação relativa no correspondente total, refere-se aos pedidos acumulados no nível distribuidor; no Cenário A essa participação é igual a 8,35 %, enquanto no Cenário B passa para 17,31 %. Ou seja, no Cenário A, o distribuidor atende mais pedidos; no Cenário B, contudo, o distribuidor passa a acumular pedidos, conforme visto anteriormente.

Convém ressaltar a importância do coeficiente de correlação entre as políticas de pedidos de cada nível da cadeia, com a lucratividade total. No Cenário A, esses coeficientes mostram que a posição de estoque desejada do nível atacadista, distribuidor e varejista, são

iguais a -0,23, -0,04 e 0,18, respectivamente. Por outro lado, no Cenário B, esses coeficientes têm suas intensidades alteradas; passam para -0,53, -0,12 e 0,03, respectivamente.

Essa alteração na intensidade dos coeficientes de correlação indica que no Cenário B, a posição desejada de estoque do varejista pode ser menos importante para a lucratividade do que a política de pedidos do atacadista e distribuidor. No Cenário A, a força de relação entre a política de pedidos com a lucratividade total da cadeia, indica que a posição desejada de estoque do distribuidor pode ser menos importante do que as do atacadista e varejista.

Esse tipo de análise é importante porque, além de mostrar as mudanças na intensidade das relações entre as variáveis e a lucratividade da cadeia, indica que, se não for possível seguir as trajetórias temporais das políticas de pedidos indicadas pelos resultados da otimização, os responsáveis pelas tomadas de decisão podem mapear a matriz de correlação das variáveis e despende esforços para a realização das variáveis com maior correlação com a lucratividade total da cadeia.

Como os coeficientes de correlação das políticas de pedidos sofrem alterações, isso significa que as correlações das demais variáveis se alteram, conforme o critério de desempenho estabelecido para ser otimizado. Aqui se observa essa alteração devido à inclusão dos custos de transporte na função de lucratividade total da cadeia. Por exemplo, no Cenário A, o coeficiente de correlação entre o total de pedidos recebidos e a lucratividade total da cadeia é igual a 0,24. No Cenário B, esse mesmo coeficiente passa para 0,08. O nível de serviço do atacadista, que apresenta uma correlação negativa igual a -0,3, no Cenário A, apresenta, no Cenário B, um coeficiente de correlação positiva igual a 0,41. É um resultado perfeitamente aceitável, uma vez que o total de pedidos acumulados do distribuidor está positivamente relacionado com a posição do pedido do varejista, que apresenta forte correlação positiva com a lucratividade total da cadeia.

Essa mudança na correlação entre as variáveis do modelo e o critério de desempenho estabelecido, revela uma alteração na intensidade das relações dinâmicas envolvidas no modelo representativo da cadeia. Posto que, a única diferença entre o Cenário A e o Cenário B é a consideração dos custos de transporte na otimização da lucratividade da cadeia, considera-se que essas alterações ocorrem devido à influência dos custos de transporte nas políticas de pedidos de cada nível da cadeia. Essa análise pode ser realizada a partir da tabela de medidas descritivas apresentada no APÊNDICE C.

No Cenário B, o efeito chicote da cadeia é igual a 0,97, sendo que o maior efeito chicote é apresentado pelo nível distribuidor. O nível distribuidor apresenta o maior efeito chicote em ambos os cenários. A Figura 20 apresenta as taxas entre o total de pedidos recebidos e o total de vendas realizadas na cadeia nos Cenários A e B. A Figura 21 apresenta o efeito chicote de cada um dos níveis e da cadeia, em ambos os cenários.

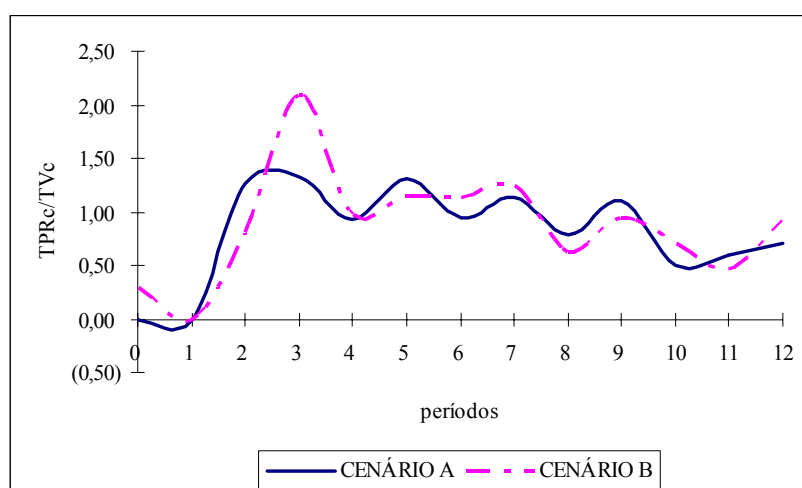


Figura 20 Cenários A e B: Taxa entre pedidos realizados e venda efetuadas

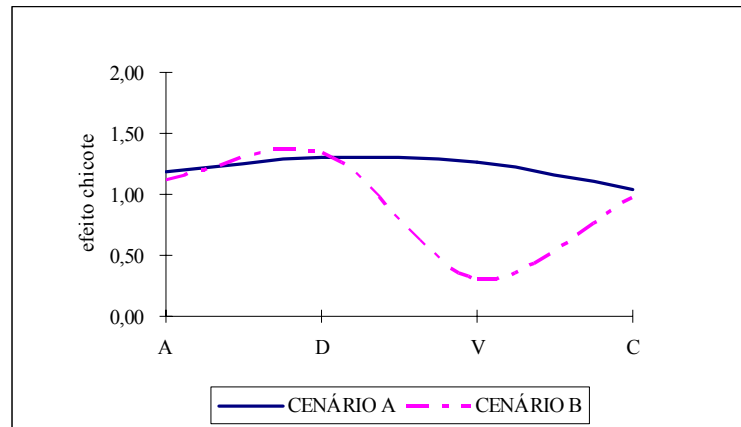


Figura 21 Cenários A e B: Efeito chicote

A Figura 22 apresenta o hiato de satisfação do consumidor final.

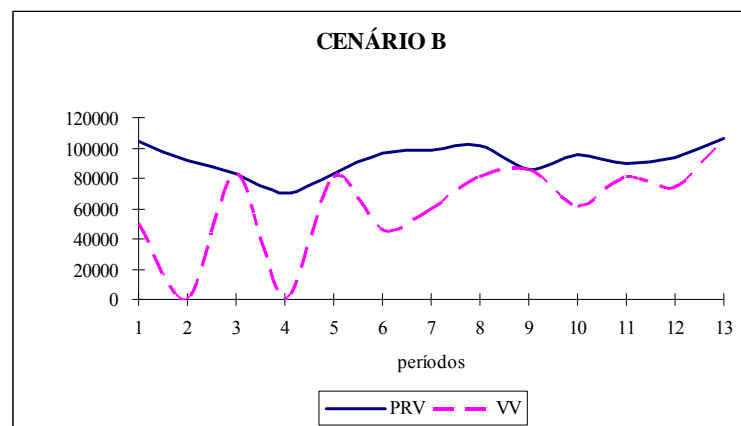
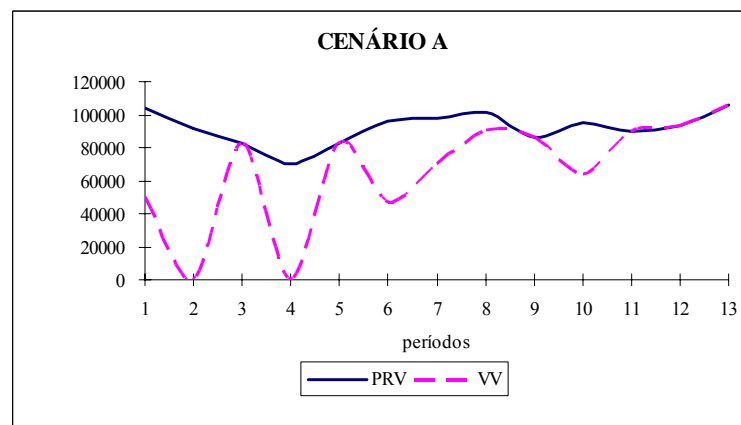


Figura 22 Cenário A e B: Hiato de satisfação do consumidor final

O hiato de satisfação no Cenário B apresenta uma pequena piora, passando de aproximadamente de 31 % para 36 %; apresenta um acréscimo aproximado de 15 %.

Com a comparação dos resultados dos Cenários A e B, observou-se que os custos de transporte exercem fortes influências nas decisões sobre a política de pedidos na cadeia, alterando os resultados do cenário inicial. Embora a lucratividade total da cadeia seja menor do que a do Cenário A, não significa que o Cenário B seja pior do que o Cenário A. Ao contrário, o Cenário B revela que, a consideração, ou não, dos custos de transporte nas decisões sobre tamanho de pedidos pode alterar em muito o desempenho da cadeia de suprimentos. Além disso, mostra que as trocas compensatórias nas variáveis totais da cadeia não são as mesmas observadas nas variáveis parciais. Desse modo, acredita-se que o Cenário B oferece informações mais realistas sobre a dinâmica do desempenho da cadeia de suprimentos do que as oferecidas pelo Cenário A.

3.4.2.3 Cenário C

No Cenário B verifica-se que, com a inclusão dos custos de transportes na otimização da lucratividade total da cadeia, as vendas do varejista apresentam uma queda de 6,28 %. A partir disto, o Cenário C é construído com o objetivo de avaliar as alterações no desempenho da cadeia de suprimentos, considerando-se novas hipóteses. Neste cenário, todos os responsáveis pelas tomadas de decisão nos diferentes níveis da cadeia consideram que, se as vendas do varejista forem maximizadas, tanto a lucratividade da cadeia, como a satisfação do consumidor final, poderão apresentar melhores resultados do que os apresentados pelo Cenário B.

Para analisar essas hipóteses, o Cenário C é especificado a partir da consideração de mais uma função-objetivo – a função representativa do total de vendas do varejista – para ser

otimizada, simultaneamente, com a lucratividade total da cadeia. A função-objetivo representando o total de vendas do varejista é dada pela equação a seguir.

$$\text{MAX } V_v = \sum_{t=1}^{12} V_v(t) \quad (78)$$

O Cenário C resulta da otimização realizada em um tempo de aproximadamente 18 segundos, com 134 iterações e um *gap* relativo nulo. Os resultados gerais deste cenário encontram-se no APÊNDICE D.

Neste cenário, as políticas de pedidos são determinadas por controladores iguais a 1,15, 1,92 e 1,73, para o atacadista, distribuidor e varejista respectivamente. Com relação ao Cenário B, as variações relativas destes controladores são iguais a 5 %, 45 %, para o atacadista e distribuidor, respectivamente, e igual a -13 % para o varejista. Ou seja, para maximizar as vendas do varejista e a lucratividade da cadeia simultaneamente, o varejista precisa atuar com um controlador menor do que o do Cenário B. Com essa nova política de pedidos, obtida com a inclusão da maximização das vendas do varejista, o total da posição de estoque desejada na cadeia apresenta um aumento de 36,55 %. A Figura 23 apresenta a posição de estoque desejada na cadeia de suprimentos.

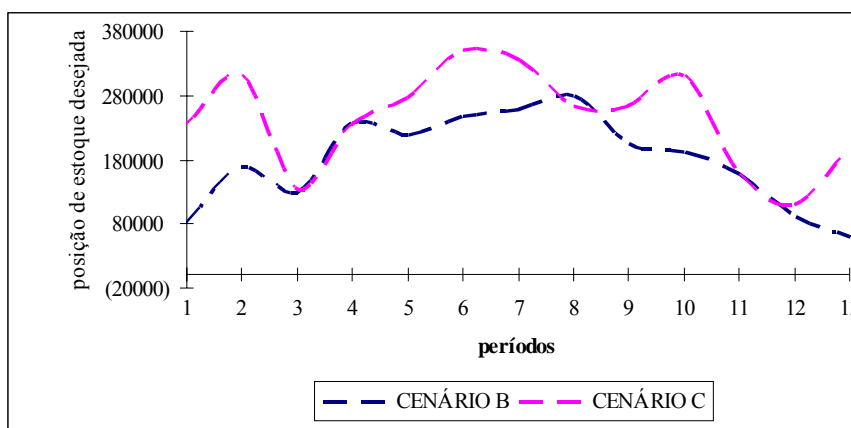


Figura 23 Cenários B e C: Posição de estoque desejada

A lucratividade da cadeia apresenta um acréscimo significativo, ou seja, de 13,5 %. As participações relativas de cada um dos participantes no lucro total da cadeia são iguais a 38 %, 29 % e 33 %, para o atacadista, distribuidor e varejista, respectivamente. O padrão de evolução da lucratividade da cadeia nos Cenários B e C está representado pela Figura 24.

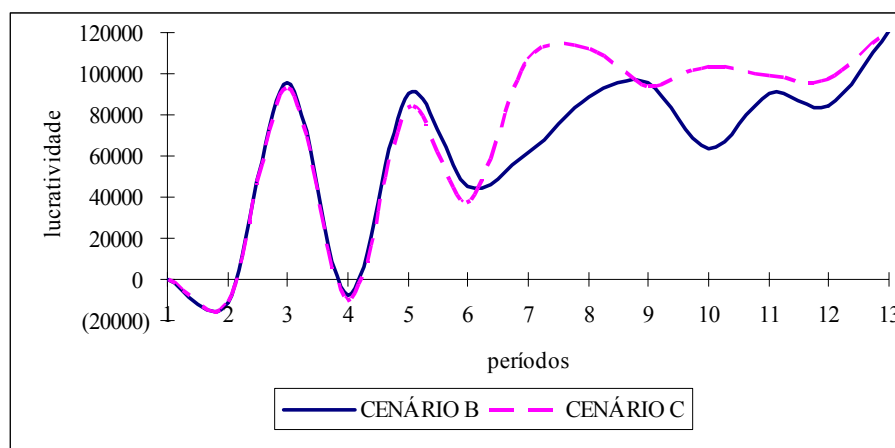


Figura 24 Cenários B e C: Lucratividade total da cadeia

Com a inclusão de mais uma função-objetivo observam-se mudanças significativas nos níveis das variáveis totais, conforme Tabela 7.

TPED _C	36,55%
LT _C	13,50%
CT _C	14,42%
CTT _C	20,06%
E _T	5,91%
TPE _C	95,87%
TPR _C	13,66%
TPP _C	-11,23%
TV _C	16,09%
TPA _C	-33,21%

Tabela 7 Cenários B e C: Variação relativa das variáveis totais

A posição de estoque total da cadeia aumenta em aproximadamente 96 %. Com isso, os custos de transporte e o custo total da cadeia, juntamente com os pedidos recebidos e as vendas totais da cadeia aumentam significativamente. Neste cenário, a participação relativa dos custos de

transporte no custo total da cadeia é igual a 48 %, ou seja, igual a participação apresentada no Cenário A.

Com a maximização das vendas totais do varejista, tanto os pedidos acumulados, como a posição total de pedidos, diminuem em cerca de 33 % e 11 %, respectivamente.

Além das variações relativas apresentadas pelas variáveis totais, verifica-se que existem alterações nas variações relativas das variáveis parciais. Na Tabela 8 são apresentadas essas variações relativas.

PEDA	66,90%	PEV	31,98%	PAD	-52,76%
PEDD	35,15%	PRP	19,47%	PAV	-29,12%
PEDV	29,06%	PRA	14,16%	CA	11,03%
CTA	22,81%	PRD	8,30%	CD	17,55%
CTD	17,50%	PPA	14,16%	CV	13,76%
CTV	19,28%	PPD	-10,12%	LV	7,00%
EA	-2,17%	PPV	-17,80%	LD	15,84%
ED	15,75%	VA	17,83%	LA	19,76%
EV	12,33%	VD	18,11%	HS	27,14%
PEA	-35,08%	VV	12,79%	EC	0,97
PED	110,71%	PAA	0,00%		

Tabela 8 Cenários B e C: Variação relativa das variáveis parciais

Comparando-se o Cenário B com o Cenário C, verifica-se que as trocas compensatórias entre nível de serviço, estoque e lucratividade da cadeia não existem. O estoque aumenta, os custos aumentam, o nível de serviço melhora e a lucratividade aumenta.

O nível atacadista apresenta uma troca compensatória entre estoque e lucratividade. O estoque diminui, o nível de serviço permanece igual ao do cenário anterior, e a lucratividade aumenta. Merece atenção o fato de o estoque diminuir, os custos e a lucratividade aumentarem, caracterizando, uma troca compensatória entre lucratividade e

estoque. Desse modo, o padrão das trocas compensatórias no nível atacadista é diferente do padrão observado nas trocas compensatórias das variáveis totais da cadeia.

Os níveis distribuidor e varejista apresentam o mesmo padrão dinâmico apresentado pelas variáveis totais. O estoque aumenta, os custos aumentam, o nível de serviço melhora e a lucratividade aumenta.

Chama atenção que, devido ao fato de se exigir a maximização das vendas do varejista, a posição desejada de estoque do atacadista aumenta em aproximadamente 67 %. Os custos de transporte de todos os níveis da cadeia aumentam, sendo o maior acréscimo do nível atacadista, cuja participação no custo total de transporte da cadeia representa aproximadamente 43 %. Esse resultado se apresenta interessante, uma vez que, tendo como objetivo otimizar a lucratividade da cadeia e as vendas do varejista, era de se esperar que os custos de transporte do varejista sofressem um acréscimo maior do que o dos outros participantes. No entanto, o maior acréscimo apresentado nos custos de transporte foi o do atacadista. A Figura 25 apresenta a evolução dos custos de transporte na cadeia de suprimentos.

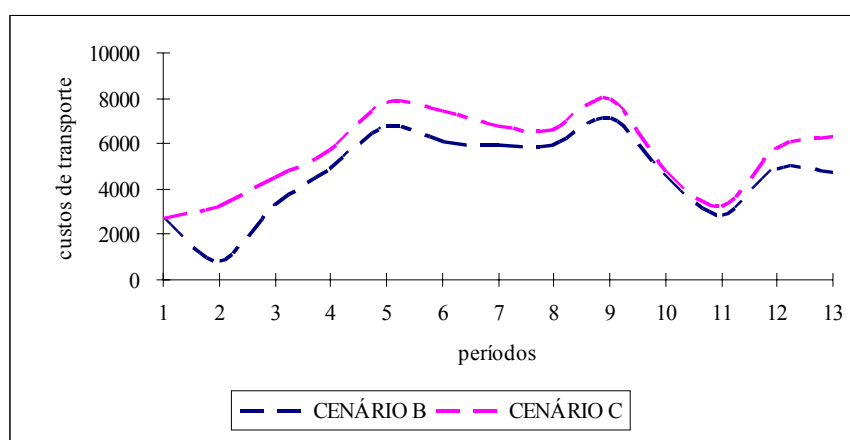


Figura 25 Cenários B e C: Custos de transporte

Com a imposição da maximização das vendas totais do varejista, os pedidos realizados na cadeia apresentam um acréscimo em relação ao Cenário B. Com isso, as vendas da cadeia também aumentam, sendo que o nível que apresenta o maior aumento nas vendas é o do distribuidor, seguido pelo atacadista e pelo varejista. Esse aumento nas vendas melhora o nível de serviço da cadeia, fazendo com que os pedidos acumulados diminuam em aproximadamente 33 %. Com relação ao nível de serviço, o melhor desempenho apresentado foi o do nível distribuidor; os pedidos acumulados diminuem em 53 %, aproximadamente.

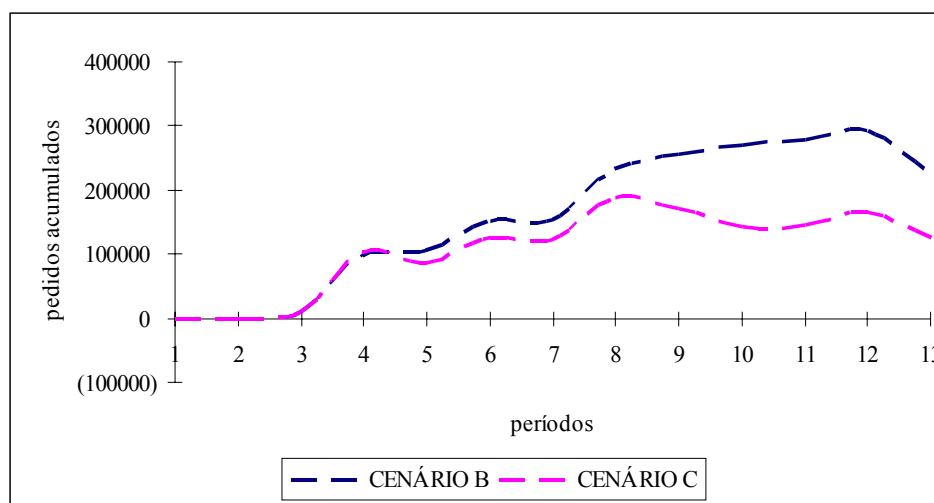


Figura 26 Cenários B e C: Nível de serviço da cadeia

O estoque total da cadeia aumenta, sendo que o estoque do nível atacadista apresenta um decréscimo, enquanto os estoques dos níveis distribuidor e varejista apresentam acréscimos na ordem de 16 % e 12 %, respectivamente. Chama atenção o fato de o nível varejista apresentar o menor acréscimo nos lucros; apenas 7 %, enquanto os níveis atacadista e distribuidor apresentam acréscimos iguais a 19,76 % e 15,84 %, respectivamente.

Com relação à posição relativa que cada variável parcial ocupa no correspondente total, observa-se uma mudança com relação à lucratividade do varejista. No Cenário B, a lucratividade do varejista participa com 40,17% da lucratividade total. No Cenário C, essa

participação é de 37,87 %. Esse resultado contraria as expectativas. Era de se esperar que pelo fato de se otimizar as vendas do varejista essa participação deveria ser maior no Cenário C do que no Cenário B. Fato esse que não ocorreu. Na Tabela 9 apresentam-se participações de cada variável do modelo no respectivo total em cada nível da cadeia.

	CENÁRIO B	CENÁRIO C
CTA	42%	43%
CTD	39%	38%
CTV	19%	19%
EA	51%	47%
ED	27%	24%
EV	22%	24%
PEA	-40%	-13%
PED	47%	51%
PEV	92%	62%
PAA	0%	12%
PAD	17%	12%
PAV	83%	88%
VA	33%	33%
VD	31%	31%
VV	36%	35%
CA	29%	39%
CD	38%	39%
CV	33%	33%
LV	40%	38%
LD	29%	29%
LA	31%	33%

Tabela 9 Cenários B e C: Participação relativa das variáveis parciais

Os coeficientes de correlação entre as variáveis e a lucratividade total da cadeia, permanecem sem grandes alterações. Contudo, observa-se que no Cenário B, os custos de transporte do atacadista apresentam um coeficiente de correlação igual a 0,22. No Cenário C, esse coeficiente passa para -0,18. Isso pode ser explicado pelo fato de, neste cenário, os custos de transporte do atacadista apresentar uma forte correlação positiva com o estoque do distribuidor que, por sua vez, apresenta uma forte correlação positiva com a lucratividade da cadeia. As medidas descritivas dos Cenários B e C encontram-se no APÊNDICE E.

A taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas na cadeia é quase igual à taxa apresentada pelo Cenário B. A Figura 27 apresenta a evolução desta taxa nos dois cenários.

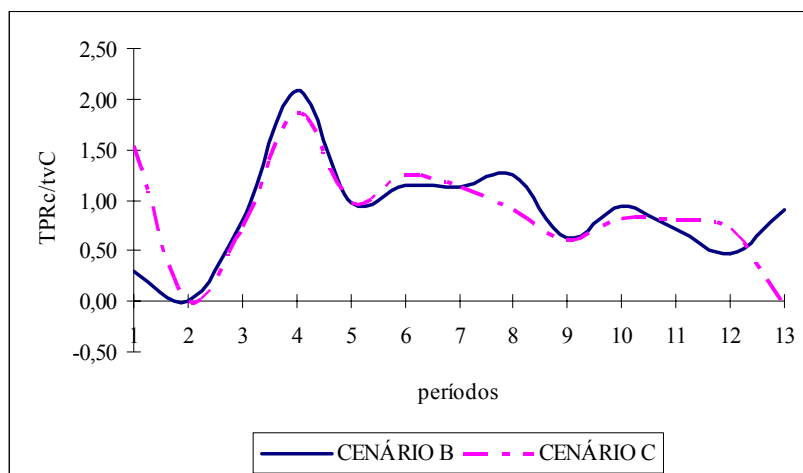


Figura 27 Cenários B e C: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas

Apesar de o efeito chicote do Cenário C ser aproximadamente igual ao do Cenário B, observa-se uma mudança no efeito chicote dos níveis da cadeia. No Cenário C, o maior efeito chicote é o do nível distribuidor, enquanto que no Cenário B o maior efeito chicote é o do nível varejista. A Figura 28 apresenta o efeito chicote de cada nível e o da cadeia.

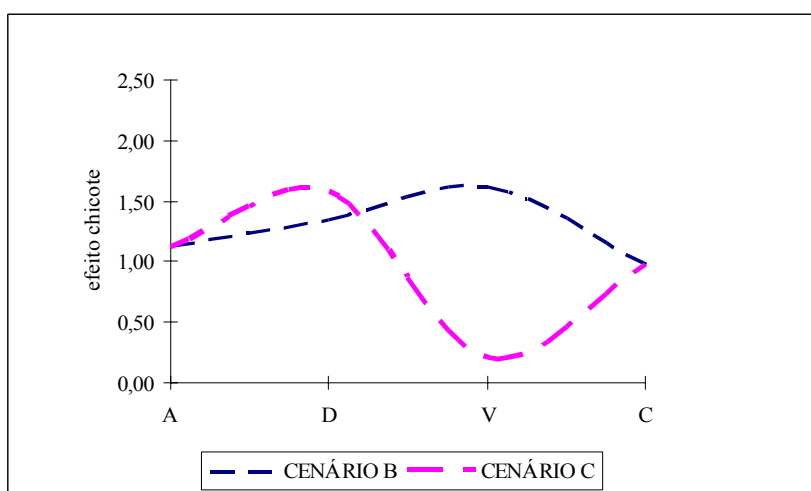


Figura 28 Cenários B e C: Efeito chicote

Os resultados deste cenário indicam que ao maximizar as vendas do varejista em um processo de planejamento conjunto e colaborativo, existe uma importante troca na posição relativa referente aos lucros de cada nível da cadeia. Contudo, não se observam trocas compensatórias nas variáveis parciais. Ou seja, tem-se aqui um caso onde não se observam as conhecidas trocas compensatórias entre nível de serviço, custos de transporte, estoque e lucratividade total da cadeia, conforme salientado na bibliografia. Além disso, o efeito chicote é igual ao do Cenário B.

Mais ainda, os lucros de cada nível da cadeia aumentam significativamente com a maximização das vendas do varejista. Contudo, o maior aumento observado nos lucros foi o do nível atacadista e não do varejista. Além disso, o nível de serviço ao consumidor final melhorou significativamente; passou de 36 % para 27 %, diminuindo em 25 %, aproximadamente.

É um cenário bastante importante uma vez que reflete uma situação de otimização na qual os objetivos foram atingidos, sem aumentar o efeito chicote da cadeia, e sem apresentar as tradicionais trocas compensatórias salientadas na bibliografia. Além de atingir uma situação ganha-ganha, já há tempo salientada na bibliografia, mostra que as tradicionais trocas compensatórias podem não existir, quando os custos de transporte forem considerados em um sistema de planejamento conjunto e colaborativo da cadeia de suprimentos, por meio da otimização multiobjetivo. A Figura 29 apresenta o hiato de satisfação do consumidor final nos dois cenários.

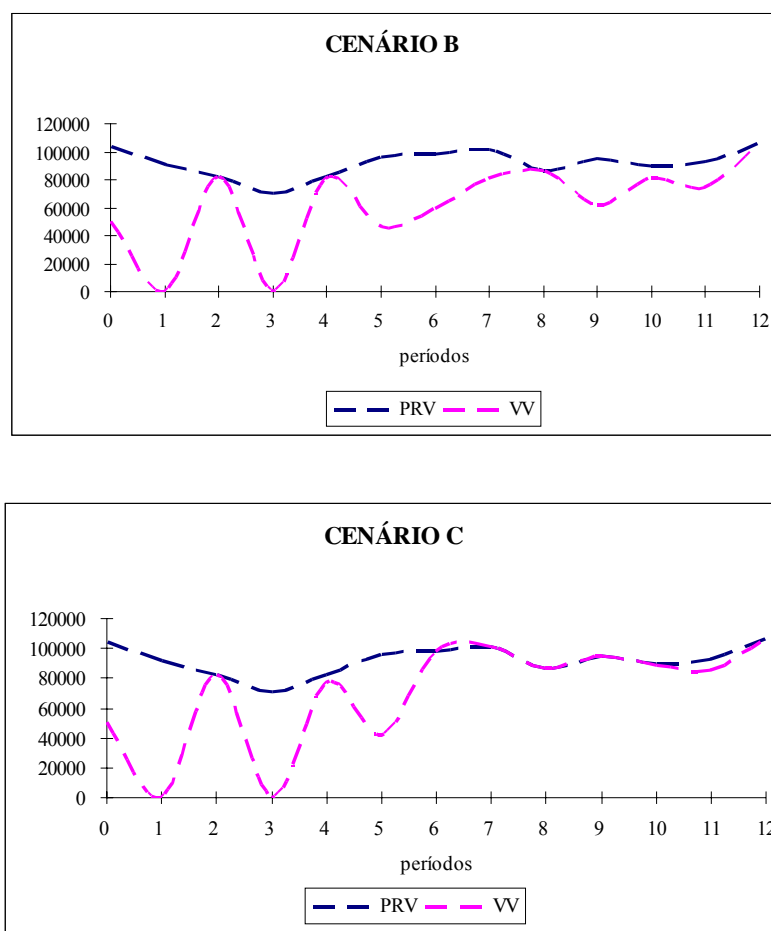


Figura 29 Cenários B e C: Hiato de satisfação do consumidor final

3.4.2.4 Cenário D

Este cenário é construído para analisar as alterações na evolução da cadeia de suprimentos, quando os responsáveis pelas tomadas de decisão estiverem inseridos em um universo restringido pelo domínio do varejista. Para modelar este cenário assume-se que o varejista tem uma posição de domínio na cadeia que lhe permite impor condições de modo a:

- (i) maximizar de seus lucros;
- (ii) maximizar seu nível de serviço; e
- (iii) e a minimizar os desvios entre a demanda do consumidor final e suas vendas.

Além disso, considera-se que o varejista consegue obter descontos nos custos de transporte. Isso significa que, neste cenário, o distribuidor está arcando com uma parte dos

custos de transportes que nos outros cenários são honrados pelo varejista. Para representar esse desconto, atribui-se um peso menor para os custos de transporte do varejista e um peso maior para os custos de transporte do distribuidor. As equações (79) à (82) correspondem às funções-objetivo que são otimizadas, juntamente com a lucratividade total da cadeia.

$$\text{MIN} \sum_{t=1}^{12} PA_v(t+1) \quad (79)$$

$$\text{MAX} \sum_{t=1}^{12} V_D(t+1) \quad (80)$$

$$\text{MAX} \sum_{t=1}^{12} (1 + M_v) * V_v(t+1) - (0.5 * \phi_v * (E_v(t) + E_v(t+1)) - \sum_{j=0}^2 A(j,t) CC_v(j,t)) \quad (81)$$

$$\text{MIN} \sum_{t=1}^{12} \sqrt{((V_v(t+1) - D_{Cr}(t+1))^2)} \quad (82)$$

A equação (79) e (82) são consideradas para representar a maximização do nível de serviço do varejista. Ou seja: minimizar os pedidos acumulados e minimizar os desvios entre vendas e demanda do consumidor final. A equação (80) é considerada representa a maximização das vendas do varejista e a equação (81) a maximização de seus lucros.

O Cenário D resulta da otimização realizada em um tempo de aproximadamente 37 segundos, com 151 iterações e um *gap* relativo de 0,005. Os resultados gerais deste cenário encontram-se no APÊNDICE F.

Neste cenário as políticas de pedidos são determinadas por controladores iguais, respectivamente, a 0,994, 1,639 e 1,78, para o atacadista, distribuidor e varejista, As respectivas variações relativas destes controladores são iguais a -11,5 %, 21,42 % e 1,56 %. Ou seja, atingir, simultaneamente todos os objetivos propostos o atacadista precisa diminuir sua posição de estoque desejada, enquanto o distribuidor e varejistas precisam aumentá-las.

Com essa nova política de pedidos, o total da posição de estoque desejada na cadeia apresenta um aumento de aproximadamente 6,69 %. A Figura 30 apresenta a posição de estoque desejada na cadeia de suprimentos.

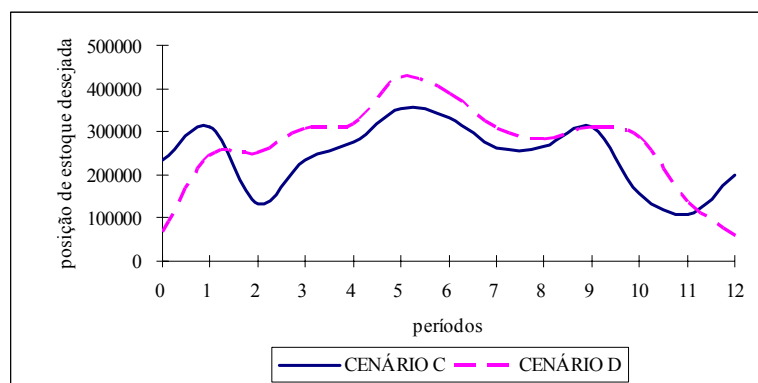


Figura 30 Cenários C e D: Posição de estoque desejada

Apesar de o varejista ocupar uma posição de domínio na cadeia, seu lucro aumenta em apenas 0,8 %, o do distribuidor diminui em 13,9 % e o do atacadista aumenta em 11,7 %. Observa-se que, em uma situação de domínio do varejista, um dos níveis da cadeia – no caso o distribuidor – passa a enfrentar uma situação de perda de lucros, em relação ao Cenário C. O padrão de evolução da lucratividade da cadeia nos Cenários C e D está representado pela Figura 31.

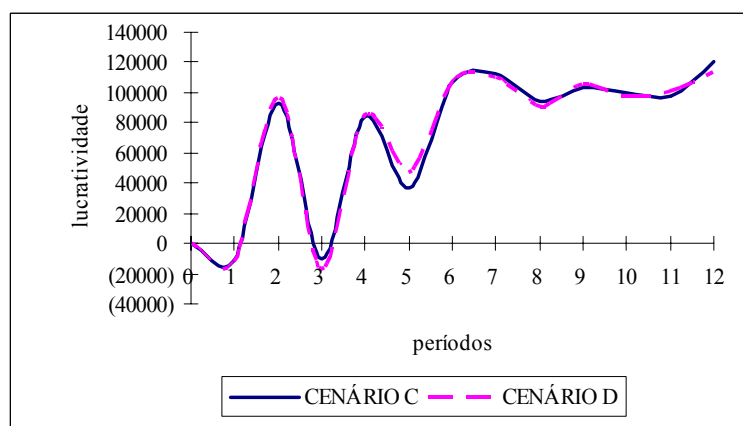


Figura 31 Cenários B e C: Lucratividade total da cadeia

Neste cenário, observam-se mudanças significativas nos níveis totais das variáveis, conforme Tabela 10.

TPED _C	6,69%
LT _C	0,05%
CT _C	16,15%
CTT _C	22,59%
E _T	-0,04%
TPE _C	-1,31%
TPR _C	2,78%
TPP _C	2,37%
TV _C	3,57%
TPA _C	7,33%

Tabela 10 Cenários C e D: Variação relativa das variáveis totais

Como a posição de estoque desejada apresenta um pequeno aumento em relação ao Cenário C, a posição de estoque na cadeia diminui em aproximadamente 1,31 %. Os custos de transporte e o custo total da cadeia aumentam significativamente, enquanto que as vendas totais apresentam um acréscimo de apenas 3,75 %. O total de pedidos realizados e a posição do pedido aumentam em 2,78 % e 2,37 %, respectivamente.

Com as variações relativas apresentadas pelas variáveis totais, tem-se uma mudança nas variações relativas das variáveis parciais no respectivo total. Na Tabela 12 são apresentadas essas variações.

PEDA	-11,50%	PEV	1,18%	PAD	31,42%
PEDD	21,24%	PRP	8,64%	PAV	-9,37%
PEDV	1,56%	PRA	-6,20%	CA	3,07%
CTA	6,90%	PRD	4,97%	CD	48,42%
CTD	76,73%	PPA	14,86%	CV	-11,54%
CTV	-51,62%	PPD	9,16%	LV	0,80%
EA	-16,74%	PPV	-4,94%	LD	-13,90%
ED	24,69%	VA	9,40%	LA	11,70%
EV	2,11%	VD	-1,09%	HS	26,36%
PEA	127,09%	VV	2,18%	EC	1,30
PED	28,76%	PAA	#DIV/0!		

Tabela 11 Cenários C e D: Variação relativa das variáveis parciais

Comparando-se o Cenário C com o Cenário D, verificam-se as trocas compensatórias entre nível de serviço, estoque e lucratividade da cadeia. O estoque diminui, o nível de serviço piora e a lucratividade diminui. Observa-se que apesar de o estoque diminuir, os custos aumentam.

O nível atacadista apresenta as mesmas trocas compensatórias das variáveis totais. O nível distribuidor, por sua vez, apresenta uma troca compensatória entre estoque e lucratividade. Contudo, apesar de o estoque aumentar o nível de serviço piora.

Os níveis distribuidor e varejista apresentam o mesmo padrão dinâmico apresentado pelas variáveis totais. O estoque aumenta, os custos aumentam, o nível de serviço melhora e a lucratividade aumenta.

No nível varejista, o estoque aumenta, mas os custos diminuem. O nível de serviço melhora e a lucratividade aumenta. Ou seja, no nível dominante da cadeia não são observadas trocas compensatórias.

Os custos de transporte de todos os níveis da cadeia apresentam um comportamento bastante diferenciado do apresentado pelo Cenário C. Neste cenário, os custos de transporte

representam com 51 % do custo total da cadeia. Como era de se esperar, os custos de transporte do varejista diminuem em 51,62 %, o do distribuidor aumenta em 76,73 % e o do atacadista aumenta em 6,9 %. Esse resultado revela que, em uma situação de domínio na cadeia, existem relevantes trocas compensatórias nos custos de transporte. A Figura 32 apresenta a evolução dos custos de transporte por nível nos Cenários C e D.

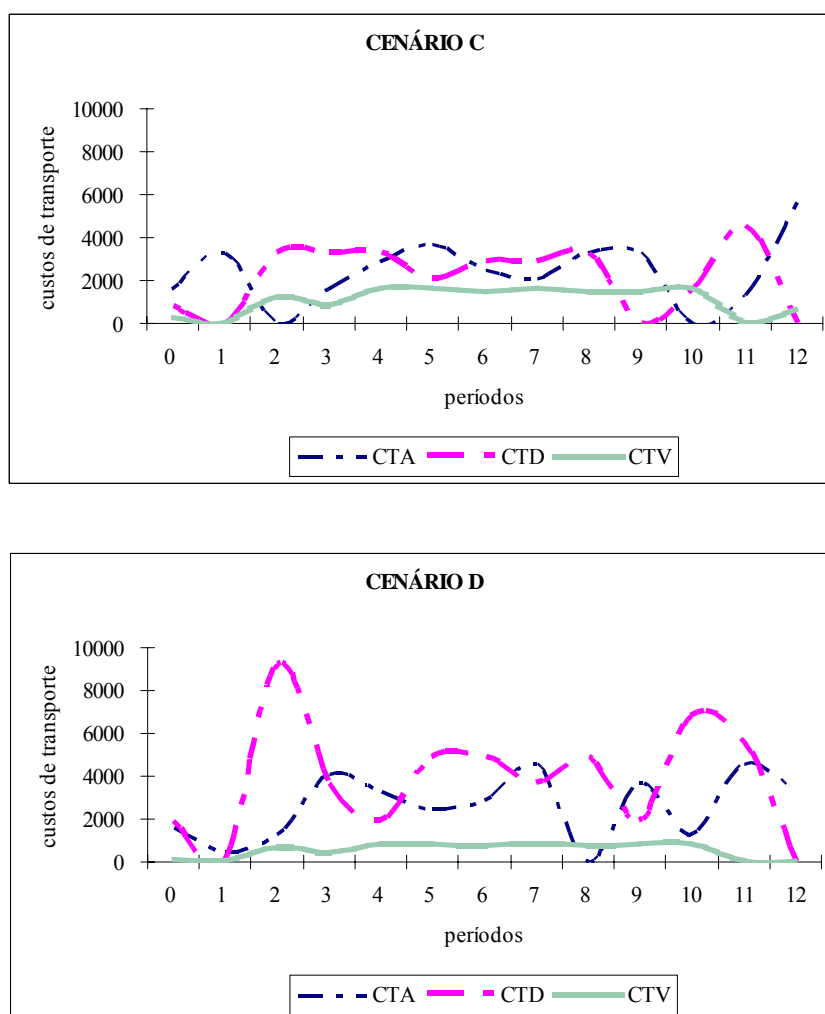


Figura 32 Cenários C e D: Custos de transporte por nível

A Figura 33 apresenta o comportamento dinâmico dos custos de transporte da cadeia nos dois cenários.

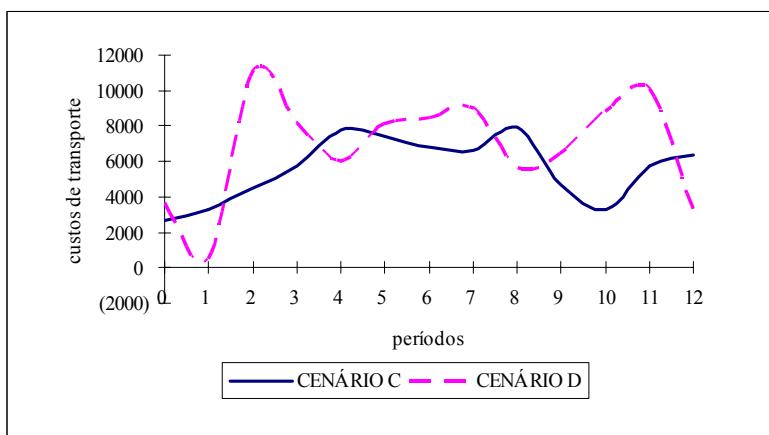


Figura 33 Cenários C e D: Custos de transporte

Com o domínio do varejista, os pedidos realizados na cadeia apresentam um acréscimo de 2,78 %, em relação ao Cenário C. Com isso, as vendas da cadeia também aumentam. É importante ressaltar que o maior acréscimo de vendas é observado pelo nível atacadista (9,4 %) e não pelo nível varejista (2,18 %). Por outro lado o distribuidor apresenta um decréscimo em seu nível de vendas (-1,09 %). Ou seja, neste cenário, tem-se uma situação de domínio do varejista, cujo maior responsável pelo acréscimo nas vendas é o nível atacadista. Apesar de se observar um aumento nas vendas, o nível de serviço da cadeia é pior do que o do Cenário C; os pedidos acumulados aumentam em 7,33 %.

O estoque total da cadeia diminuiu. Contudo, observam-se trocas compensatórias na participação relativa dos estoques de cada nível no estoque total da cadeia. O atacadista participa com -16,74 %, o distribuidor com 24,69 % e o varejista com apenas 2,11 %.

Com relação ao nível de serviço, o pior desempenho fica por conta do nível distribuidor, apresenta um acréscimo de 31,42 % nos pedidos acumulados. Na Tabela 12 apresentam-se participações relativas das variáveis parciais no respectivo total.

	CENÁRIO C	CENÁRIO D
CTA	42,79%	37,32%
CTD	38,31%	55,22%
CTV	18,90%	7,46%
EA	46,85%	39,02%
ED	29,59%	36,91%
EV	23,57%	24,07%
PEA	-13,14%	-30,24%
PED	50,97%	66,50%
PEV	62,17%	63,73%
PAA	0,00%	10,90%
PAD	12,24%	14,99%
PAV	87,76%	74,10%
VA	33,46%	35,34%
VD	31,31%	29,90%
VV	35,23%	34,75%
CA	28,16%	24,99%
CD	39,32%	50,25%
CV	32,52%	24,77%
LV	37,87%	38,16%
LD	29,41%	25,31%
LA	32,72%	36,54%

Tabela 12 Cenários Ce D: Participação relativa das variáveis parciais no total

Os coeficientes de correlação entre as variáveis e a lucratividade da cadeia apresentam alterações significativas. É importante observar que agora existe uma alteração tanto no sentido como na intensidade das correlações. Como exemplo, pode-se citar o caso da posição de estoque desejada pelo nível atacadista; no Cenário C essa variável apresenta uma correlação positiva com a lucratividade da cadeia igual a 0,71. No Cenário D essa correlação passa para -0,06. O coeficiente de correlação da posição de estoque do nível distribuidor é igual a 0,18, enquanto no Cenário C é igual a -0,02. As medidas descritivas destes dois cenários encontram-se no APÊNDICE G.

O efeito chicote no Cenário D é maior do que o do Cenário C. A Figura 34 apresenta a taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas nos dois cenários.

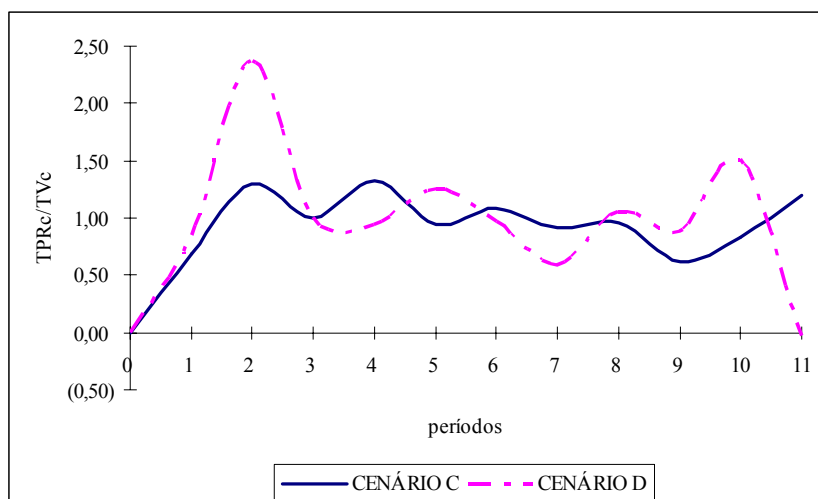


Figura 34 Cenários C e D: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas

Nos dois cenários, o nível que apresenta maior efeito chicote é o distribuidor, conforme Figura 35.

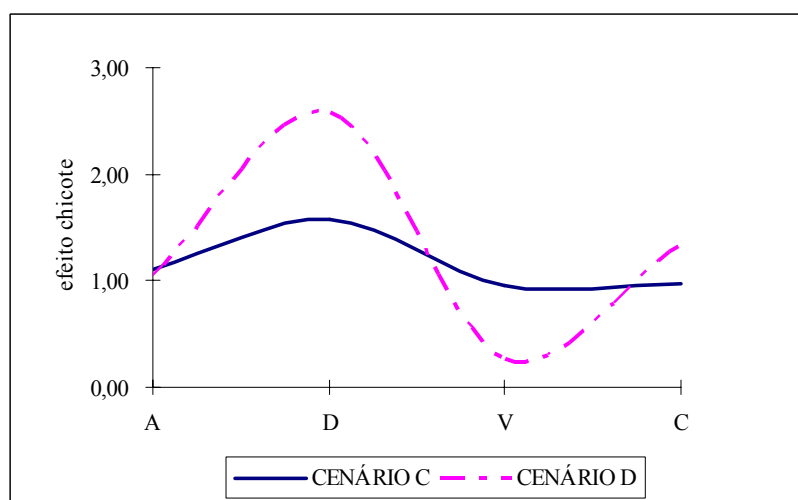


Figura 35 Cenários C e D: Efeito chicote

Além disso, o hiato de satisfação melhorou em relação ao Cenário C. Este passou de 27,14 % para 25,374 %. A Figura 36 apresenta o hiato de satisfação nos dois cenários.

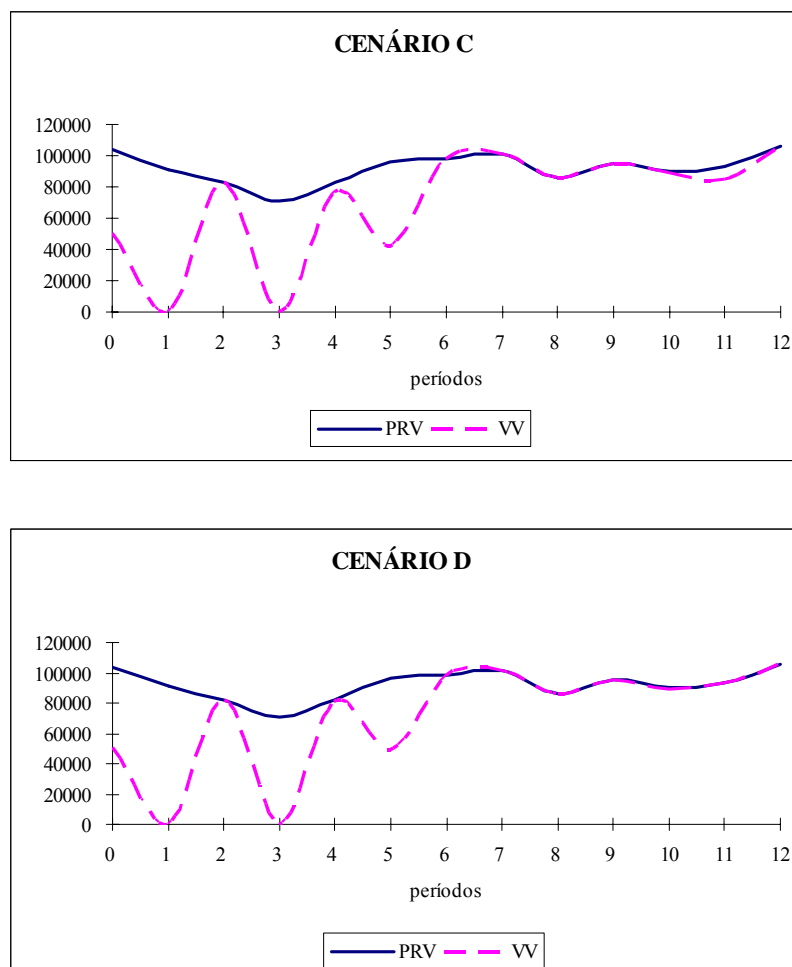


Figura 36 Cenários C e D: Hiato de satisfação do consumidor final

Este cenário mostra que em uma situação de domínio do varejista, têm-se trocas compensatórias significativas referentes à variação relativa de cada nível na lucratividade total da cadeia. O lucro do varejista aumenta em apenas 0,8 %, o do atacadista em 11,7 % e o do distribuidor diminui em aproximadamente 14 %.

É importante observar, que apesar de o varejista ocupar uma situação de domínio na cadeia, o maior aumento de lucros fica por conta do atacadista. Este cenário indica que em situações de domínio, não significa que o nível dominante esteja obtendo os maiores lucros, quando comparados com um cenário no qual não existe nível dominante.

3.4.2.5 Cenário E

De modo análogo ao Cenário D, o Cenário E é construído para analisar o desempenho da cadeia de suprimentos quando o distribuidor estiver ocupando uma posição de domínio. Para especificar essa situação, considera-se que os responsáveis pelas tomadas de decisão nos diferentes níveis da cadeia atuam em um universo restringido pelo domínio do distribuidor que procura (i) maximizar seus lucros; (ii) minimizar os desvios entre suas vendas e o total de pedidos enviados pelo varejista. Além disso, considera-se que o distribuidor está obtendo descontos nos custos de transporte. Para representar esse desconto, atribui-se um peso maior ao custo de transporte do atacadista: ou seja, agora, o custo de transporte do distribuidor diminuiu e do atacadista aumenta.

As equações a seguir apresentam as funções-objetivo otimizadas em conjunto com a lucratividade total da cadeia. A equação (83) é especificada para minimizar os pedidos acumulados no nível distribuidor. A equação (84) serve o objetivo da maximização das vendas do distribuidor. A equação (85) é especificada para maximizar os lucros do distribuidor. A equação (86) é considerada de modo que o distribuidor possa minimizar os desvios entre pedidos recebidos do varejista e vendas efetuadas ao varejista.

$$\text{MIN} \sum_{t=1}^{12} \text{PA}_D(t+1) \quad (83)$$

$$\text{MAX} \sum_{t=1}^{12} V_D(t+1) \quad (84)$$

$$\text{MAX} \sum_{t=1}^{12} (1 + M_D) * V_D(t+1) - (0.5 * \varphi_D * (E_D(t) + E_D(t+1)) - \sum_{j=1}^2 A(j,t) CC_D(j,t)) \quad (85)$$

$$\text{MIN} \sum_{t=1}^{12} \sqrt{((V_D(t+1) - PR_D(t))^2)} \quad (86)$$

O Cenário E resulta da otimização realizada em um tempo de aproximadamente 40 segundos, com 369 iterações e um *gap* relativo nulo. Os resultados deste cenário encontram-se no APÊNDICE H.

As políticas de pedidos são dadas por controladores iguais a 1,35, 2 e 0,573 para o atacadista, distribuidor e varejista, respectivamente. As respectivas variações relativas destes controladores são iguais a 34,3 %, 22,03 % e -67,81 %. Isso significa que em uma situação de domínio do distribuidor, o atacadista e distribuidor precisam aumentar as respectivas posições de estoque desejadas, enquanto o varejista precisa diminuir seu controlador de pedidos. Com essa nova política de pedidos, o total da posição de estoque desejada na cadeia apresenta um decréscimo aproximado de 24 %. A Figura 37 apresenta a posição de estoque desejada na cadeia de suprimentos.

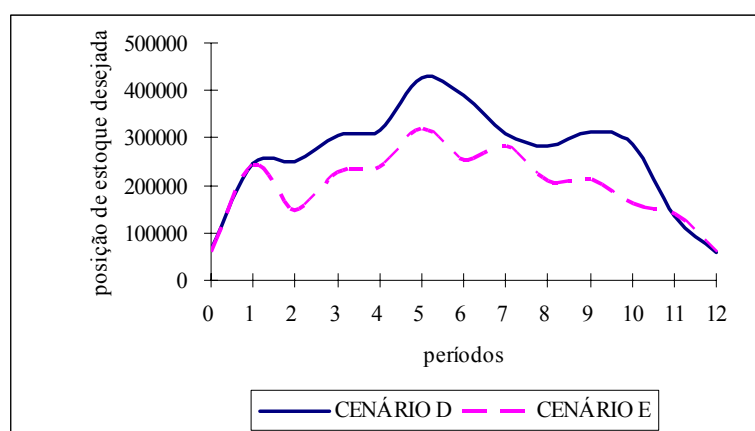


Figura 37 Cenários D e E: Posição de estoque desejada

Com essa posição de estoque desejada, observam-se resultados que caracterizam uma situação perde-perde. Ou seja, os níveis de todas as variáveis totais pioram significativamente, em relação ao Cenário D. Neste cenário, não se observam as trocas compensatórias entre lucratividade e nível de serviço. A lucratividade total da cadeia diminui em aproximadamente

30 %, e o nível de serviços piora – pedidos acumulados apresentam um acréscimo de aproximadamente 42 %.

Os lucros dos níveis varejista, distribuidor e atacadista diminuem em 29,25 %, 4,3 % e 45,05 %, respectivamente. Observa-se que, em uma situação de domínio do distribuidor, todos os níveis da cadeia enfrentam uma situação de perda de lucros, em relação ao Cenário D. O padrão de evolução da lucratividade da cadeia nos Cenários D e E está representado pela Figura 38.

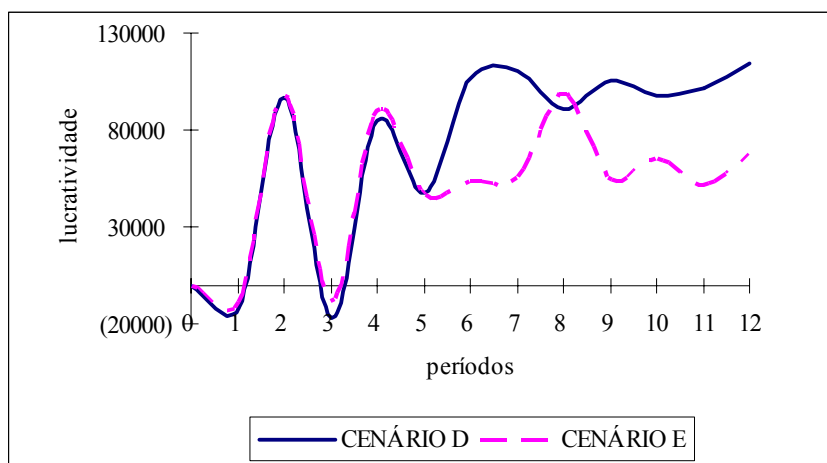


Figura 38 Cenários D e E: Lucratividade total da cadeia

As variáveis totais apresentam mudanças significativas em seus níveis, conforme Tabela 13.

TPED _C	-24,42%
LT _C	-28,71%
CT _C	-34,44%
CTT _C	-31,43%
E _T	-21,40%
TPE _C	-52,03%
TPR _C	-30,46%
TPP _C	5,68%
TV _C	-28,48%
TPA _C	42,27%

Tabela 13 Cenários D e E: Variação relativa das variáveis totais

Como essa posição de estoque desejada, a posição do estoque na cadeia diminui em 52 %, aproximadamente. Os custos de transporte e o custo total da cadeia diminuem, enquanto que as vendas totais apresentam um decréscimo de 28 %. O total de pedidos realizados diminui em 30 %, enquanto o total da posição do pedido aumenta em 6 %.

Com as variações relativas apresentadas pelas variáveis totais, verificam-se mudanças nas variações relativas de cada variável parcial. A Tabela 14 apresenta essas variações.

PEDA	-32,23%	PEV	-40,77%	PAD	-100,00%
PEDD	-59,06%	PRP	-37,05%	PAV	90,54%
PEDV	11,58%	PRA	-9,28%	CA	-10,81%
CTA	20,71%	PRD	-40,27%	CD	-56,71%
CTD	-79,53%	PPA	-24,12%	CV	-13,08%
CTV	63,81%	PPD	-46,55%	LV	-29,25%
EA	3,59%	PPV	45,49%	LD	-4,30%
ED	-36,64%	VA	-35,05%	LA	-45,05%
EV	-38,55%	VD	-22,05%	HS	26,36%
PEA	-76,44%	VV	-27,33%	EC	1,30
PED	-73,93%	PAA	-90,20%		

Tabela 14 Cenários D e E: Variação relativa das variáveis parciais

Comparando-se o Cenário D com o Cenário E, verifica-se que não existem trocas compensatórias entre estoque, nível de serviço e lucratividade da cadeia. O estoque diminui, o nível de serviço piora e a lucratividade diminui.

O nível atacadista apresenta uma troca compensatória entre estoque e lucratividade. O estoque aumenta, o nível de serviço melhora e a lucratividade diminui. É importante ressaltar que este é o primeiro caso onde se observa que o estoque aumentando, o custo de transporte aumenta e o custo total diminui.

O nível distribuidor apresenta a mesma dinâmica de trocas compensatórias que o nível atacadista. O estoque aumenta, o nível de serviço melhora e a lucratividade diminui. Contudo, com o aumento do estoque, tanto o custo de transporte, como o custo total diminuem.

O nível varejista apresenta uma dinâmica muito parecida com a das variáveis totais; não existem trocas compensatórias entre estoque, nível de serviço e lucratividade da cadeia. O estoque diminui, o nível de serviço piora e a lucratividade diminui. Chama-se a atenção para o fato de neste nível, o estoque diminuir e os custos de transporte aumentarem. Este cenário é o primeiro caso no qual nenhum nível da cadeia reproduz a mesma dinâmica das variáveis totais.

A participação relativa dos custos de transporte no custo total da cadeia é igual a 53 %. Os custos de transporte de todos os níveis da cadeia variações relativas importantes. O custo de transporte do atacadista aumenta em 20,71 %, o do distribuidor diminui em aproximadamente 80 % e do varejista aumenta em 63,81 %. Esse resultado revela que em uma situação de domínio na cadeia, existem trocas compensatórias relevantes nos custos de transporte, conforme Figura 39.

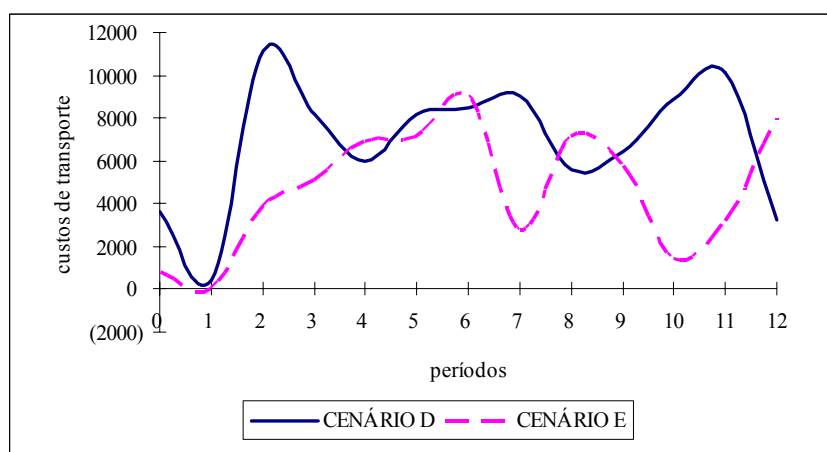


Figura 39 Cenários D e E: Custos de transporte

Os pedidos realizados na cadeia decrescem e, com isso, as vendas da cadeia também diminuem. De modo análogo ao Cenário D, o maior decréscimo nas vendas é observado no nível atacadista. Ou seja, neste cenário, tem-se uma situação de domínio do distribuidor, onde o nível atacadista apresenta o maior decréscimo nas vendas. Com o decréscimo nas vendas, o nível de serviço da cadeia diminui muito; os pedidos acumulados aumentam em 42 %.

O estoque total da cadeia diminui, contudo observam-se trocas compensatórias nas participações relativas dos estoques de cada nível, no estoque total da cadeia. O estoque do atacadista aumenta em 3,59 %, o do distribuidor diminui em 79,53 % e o do varejista aumenta em 63,81 %.

Com relação ao nível de serviço, o pior desempenho fica por conta do nível varejista; os pedidos acumulados neste nível aumentam em 90,54 %, enquanto os do distribuidor e atacadista diminuem em 100 % e 90,2 %, respectivamente.

Na Figura 40 apresentam-se participações de cada variável parcial no correspondente total. Com o domínio do varejista, a maior participação nas vendas totais da cadeia é a do nível varejista. O mesmo acontece com relação aos lucros; a participação do lucro do varejista corresponde a 38 % dos lucros da cadeia.

	CENÁRIO D	CENÁRIO E
CTA	37,32%	65,69%
CTD	55,22%	16,48%
CTV	7,46%	17,82%
EA	39,02%	51,43%
ED	36,91%	29,75%
EV	24,07%	18,82%
PEA	-30,24%	-14,85%
PED	66,50%	36,15%
PEV	63,73%	78,70%
PAA	10,90%	0,75%
PAD	14,99%	0,00%
PAV	74,10%	99,25%
VA	35,34%	32,09%
VD	29,90%	32,59%
VV	34,75%	35,31%
CA	24,99%	33,99%
CD	50,25%	33,17%
CV	24,77%	32,84%
LV	38,16%	37,86%
LD	25,31%	33,98%
LA	36,54%	28,16%

Figura 40 Cenários D e E: Participação relativa das variáveis parciais

Os coeficientes de correlação entre as variáveis e a lucratividade da cadeia apresentam alterações. De modo análogo ao Cenário D, existe uma alteração, tanto no sentido como na intensidade das correlações das variáveis com a lucratividade total da cadeia. Como exemplo, cita-se o caso da posição de estoque desejada pelo nível distribuidor; no Cenário D esta variável apresenta uma correlação igual a -0,71. Contudo, no Cenário E, esse coeficiente de correlação é igual a -0,06. Além disso, neste cenário, o coeficiente de correlação dos custos de transporte do atacadista é igual a 0,25, enquanto no cenário anterior é igual a 0,06. As medidas descritivas destes dois cenários encontram-se no APÊNDICE I.

O efeito chicote no Cenário E diminuiu para 1,24. A Figura 41 apresenta a taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas nos dois cenários.

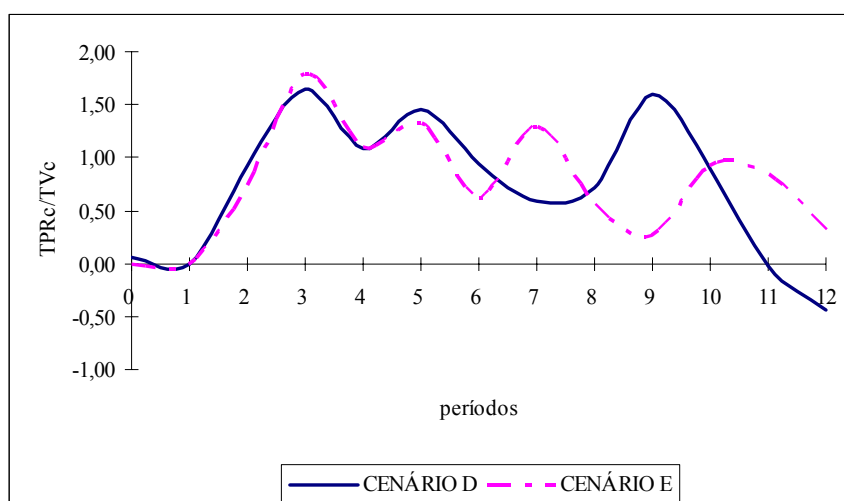


Figura 41 Cenários D e E: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas

O nível de maior efeito chicote é o do atacadista e o de menor efeito chicote é o do varejista, conforme Figura 42.

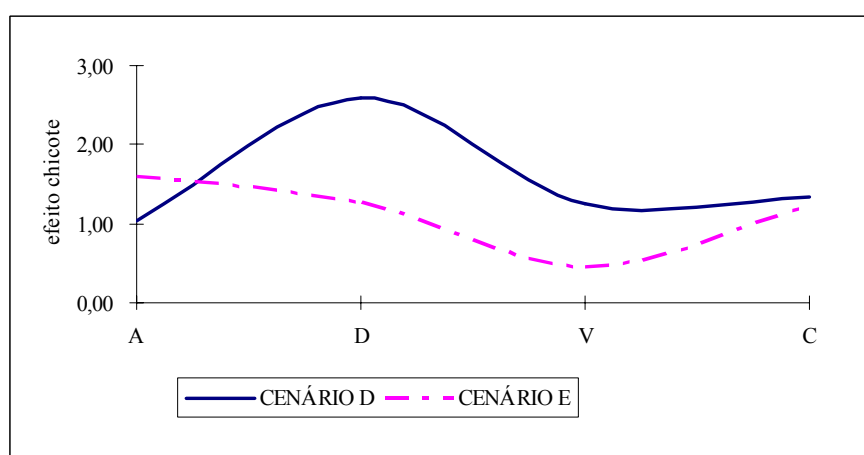


Figura 42 Cenários D e E: Efeito chicote

O hiato de satisfação piorou muito em relação ao Cenário D; passou de aproximadamente 25 % para cerca de 47%; ou seja sofre um acréscimo aproximado de 85 %.

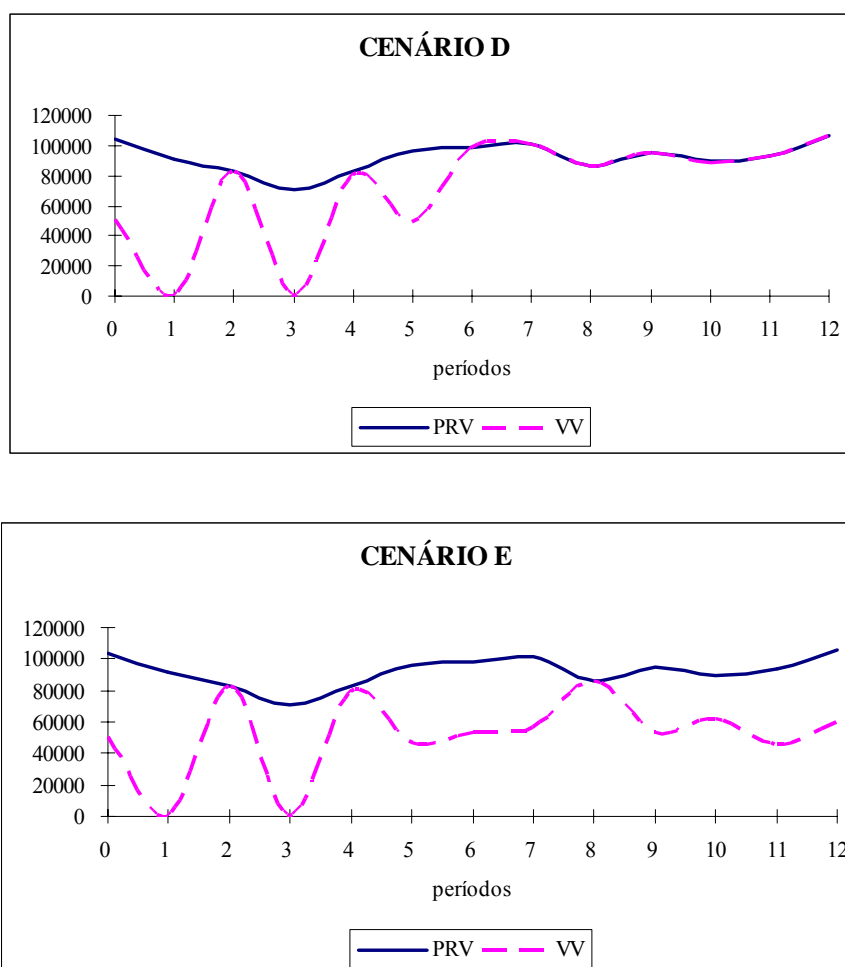


Figura 43 Cenários D e E: Hiato de satisfação do consumidor final

Este cenário reflete uma situação de otimização multiobjetivo, considerando uma cadeia de suprimentos na qual o distribuidor ocupa uma posição de domínio. É um cenário que reflete uma situação perde-perde. Todos os níveis têm seus lucros menores, o hiato de satisfação piorou, o nível de serviço total da cadeia também piorou, em relação ao cenário de domínio do varejista.

Este cenário também pode ser comparado com o Cenário B, no qual não existe nível dominante. Os resultados indicam que neste caso, também se observa uma situação perde-perde. Comparando-se os Cenários B e E, têm-se as variações relativas das variáveis parciais. A Tabela 15 apresenta essas variações.

TPED _C	10,12%
LT _C	-19,04%
CT _C	-12,87%
CTT _C	0,92%
E _T	-16,79%
TPE _C	-7,27%
TPR _C	-18,77%
TPP _C	-3,96%
TV _C	-14,01%
TPA _C	1,98%

Tabela 15 Cenários B e E: Variação relativa das variáveis totais

Comparando-se uma situação de domínio do distribuidor com o Cenário B, onde não existe nível dominante, observa-se que a lucratividade total da cadeia diminui, o nível de serviço piora, o custo total da cadeia diminui em 0,92 % e os custos de transporte diminuem em 12,87 %.

As variações relativas das variáveis parciais são apresentadas na Tabela 18.

PEDA	0,09%	PEV	-20,90%	PAD	-100,00%
PEDD	-32,93%	PRP	-18,29%	PAV	22,40%
PEDV	46,25%	PRA	-2,86%	CA	2,07%
CTA	58,48%	PRD	-32,10%	CD	-24,49%
CTD	-57,50%	PPA	-0,50%	CV	-12,53%
CTV	-5,47%	PPD	-47,56%	LV	-23,70%
EA	-15,61%	PPV	13,69%	LD	-4,55%
ED	-8,55%	VA	-16,28%	LA	-26,49%
EV	-29,51%	VD	-8,94%	HS	47,09%
PEA	-65,27%	VV	-16,25%	EC	1,24
PED	-29,26%	PAA	#DIV/0!		

Tabela 16 Cenários B e E: Variação relativa das variáveis parciais

O nível atacadista apresenta uma dinâmica muito parecida com a das variáveis totais; não existem trocas compensatórias entre estoque, nível de serviço e lucratividade da cadeia. O estoque diminui, o nível de serviço piora e a lucratividade diminui. Chama-se a atenção para o fato de neste nível, o estoque diminuir e os custos aumentarem. No nível varejista não existem

trocas compensatórias; o estoque diminui, os custos diminuem, o nível de serviço piora e a lucratividade diminui.

O nível distribuidor apresenta uma troca compensatória entre nível de serviço e lucratividade. Embora o estoque diminua, juntamente com os custos, o nível de serviço melhora e a lucratividade diminui.

Observa-se que de modo análogo aos resultados obtidos com a comparação dos cenários D e E, os resultados obtidos com a comparação dos cenários B e E, nenhum nível da cadeia reproduz a dinâmica das variáveis totais.

Os lucros de cada nível da cadeia diminuem, sendo que o atacadista é o nível com maior perda de lucros. Interessante observar, que o distribuidor, apesar de ocupar uma situação de domínio na cadeia, também apresenta lucros menores do que os apresentados no Cenário B.

Em relação ao Cenário B, o efeito chicote e o hiato de satisfação do consumidor final aumentam. O hiato de satisfação, que no Cenário B, é igual a 36 %, passa para 47 % no Cenário E. As figuras a seguir apresentam o efeito chicote em cada nível e da cadeia e o hiato de satisfação do consumidor final.

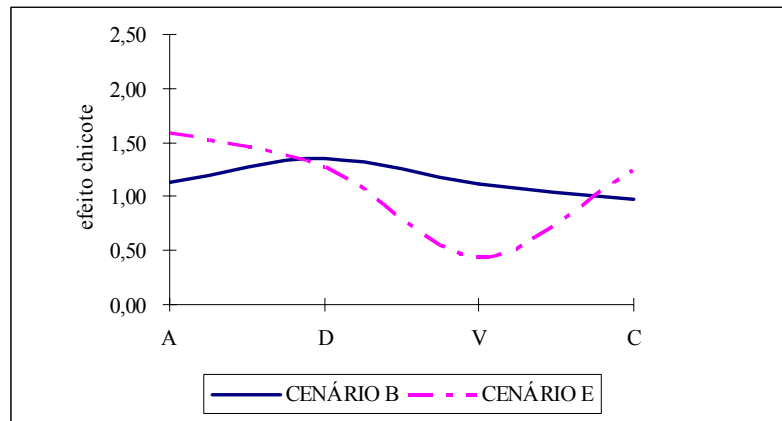


Figura 44 Cenários B e E: Efeito chicote

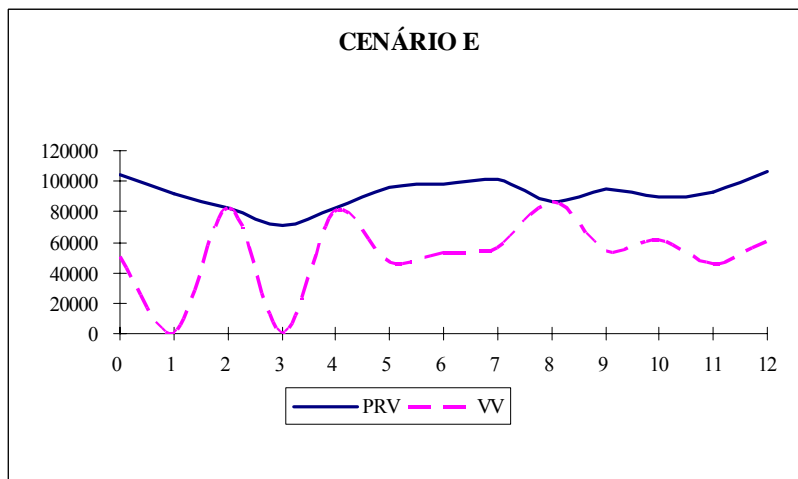
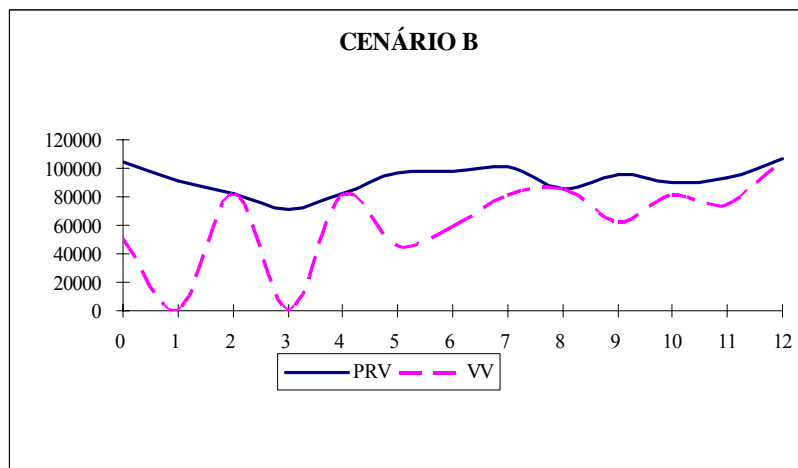


Figura 45 Cenários B e E: Hiato de satisfação do consumidor final

3.4.2.6 Cenário F

O Cenário F é construído para se analisar o desempenho da cadeia de suprimentos onde o varejista ocupa uma posição de domínio, mas os custos de transporte não são considerados como variável relevante para a otimização global de seu desempenho. Este cenário é especificado considerando-se as hipóteses estabelecidas no Cenário D, de modo que se possam realizar as comparações entre esses dois cenários. Ou seja, os participantes concordam em otimizar a lucratividade da cadeia dada por:

$$\begin{aligned} \text{Max } LT_C = & \sum_{t=1}^{12} (1+M_V) * V_V(t+1) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_V * (E_V(t) + E_V(t+1))) \\ & - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_D * (E_D(t) + E_D(t+1))) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_A * (E_A(t) + E_A(t+1))) \end{aligned} \quad (87)$$

A lucratividade total da cadeia é otimizada, simultaneamente, com as equações a seguir:

$$\text{MIN } \sum_{t=1}^{12} PA_D(t+1) \quad (88)$$

$$\text{MAX } \sum_{t=1}^{12} (1+M_V) * V_V(t+1) - (0.5 * \varphi_D * (E_V(t) + E_V(t+1)) - \sum_{j=0}^2 A(j,t) CC_V(j,t)) \quad (89)$$

$$\text{MIN } \sum_{t=1}^{12} \sqrt{((V_V(t+1) - D_C(t))^2)} \quad (90)$$

A equação (88) é considerada para garantir a maximização do nível de serviço do distribuidor; ou seja, minimizar os pedidos acumulados nesse nível. Essa equação serve para induzir o distribuidor a tender o máximo possível dos pedidos do varejista. A equação (89) é especificada para considerar a maximização dos lucros do varejista, e a equação (90) para garantir a minimização dos desvios entre as vendas efetuadas pelo varejista e a demanda do consumidor final. Após a otimização conjunta das funções acima especificadas, ficam

determinadas as quantidades de pedidos, considerando os custos de estocagem. A seguir, em função das quantidades de pedidos determinadas, das restrições de capacidade dos caminhões, e da estrutura de custos, são determinados os carregamentos que minimizam os custos de entregas, dado pela equação a seguir:

$$\text{MIN CTT}_C = \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 \text{CT}_V(j,t) + \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 \text{CT}_D(j,t) + \sum_{t=1}^{12} \sum_{j=1}^2 \text{CT}_A(j,t) \quad (91)$$

O Cenário F resulta da otimização realizada em um tempo de aproximadamente 3 segundos, com 986 iterações e um gap relativo nulo. Os resultados gerais deste cenário encontram-se no APÊNDICE J.

As políticas de pedidos são dadas por controladores iguais a 1,19, 1,973 e 2 para o atacadista, distribuidor e varejista, respectivamente. As respectivas variações relativas destes controladores são iguais 19,82 %, 20,38 % e 12,30 %. Isso significa que em uma situação de domínio do varejista, sem considerar os custos de transporte na otimização da lucratividade total da cadeia, todos os níveis da cadeia precisam aumentar as respectivas posições de estoque desejadas, quando comparada com uma situação onde os custos de transporte são considerados.

Com essa nova política de pedidos, o total da posição de estoque desejada na cadeia apresenta um decréscimo aproximado de 13,52 %. A Figura 46 apresenta a evolução dinâmica da posição de estoque desejada na cadeia de suprimentos, nos dois cenários.

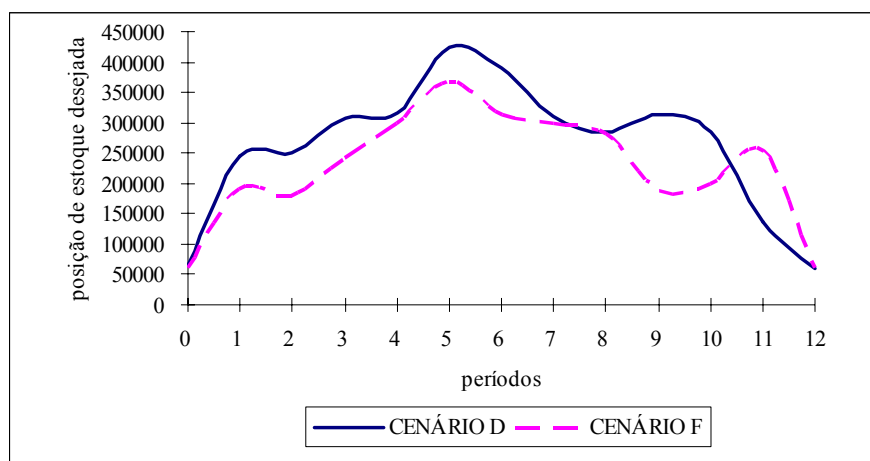


Figura 46 Cenários D e F: Posição de estoque desejada

Com essa posição de estoque desejada, observa-se mais uma vez que não se tem a troca compensatória entre lucratividade e nível de serviço da cadeia. A lucratividade aumenta e o nível de serviço piora.

A lucratividade total da cadeia aumenta em aproximadamente 3,5 %. Os lucros do varejista e distribuidor aumentam em 4,27 % e 18,5 %, enquanto o do atacadista diminui em 7,69 %. Observa-se que, em uma situação de domínio do varejista quem tem maior acréscimo nas vendas e nos lucros é o nível distribuidor.

O padrão de evolução da lucratividade da cadeia nos Cenários D e F está representado pela Figura 47.

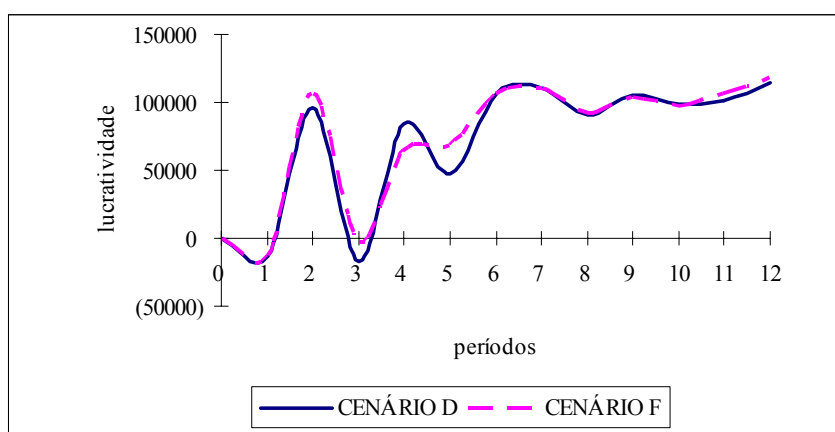


Figura 47 Cenários D e F: Lucratividade total da cadeia

Neste cenário, observam-se mudanças significativas nos níveis das variáveis totais, conforme Tabela 17.

TPEDC	-13,52%
LTC	3,50%
CTC	-5,31%
CTTC	-2,93%
ET	-2,37%
TPEC	-20,93%
TPRC	11,91%
TPPC	11,11%
TVC	1,87%
TPAC	8,10%

Tabela 17 Cenários D e F: Variação relativa das variáveis totais

A posição de estoque desejada apresenta um decréscimo de 13,52 %, em relação ao Cenário D. Agora, a posição de estoque desejada na cadeia diminui em aproximadamente 20,93 %. O custo total de transporte participa com 53 % do custo total da cadeia. Os custos de transporte e o custo total da cadeia diminuem, enquanto, que as vendas totais apresentam um decréscimo de 1,87 %. O total de pedidos realizados aumenta em 11,91 %, enquanto o total da posição do pedido aumenta em 11,11 %.

Com as variações relativas apresentadas nas variáveis totais, verifica-se uma mudança nas variações relativas nas variáveis parciais. A Tabela 18 apresenta essas variações.

PEDA	-23,31%	PEV	-8,53%	PAD	157,85%
PEDD	-23,32%	PRP	-4,78%	PAV	-15,28%
PEDV	-0,93%	PRA	13,95%	CA	-4,92%
CTA	-2,89%	PRD	26,53%	CD	-11,37%
CTD	-5,19%	PPA	4,26%	CV	6,59%
CTV	13,64%	PPD	51,61%	LV	4,27%
EA	6,50%	PPV	-7,68%	LD	18,50%
ED	-18,48%	VA	-4,04%	LA	-7,69%
EV	7,94%	VD	8,71%	HS	26,36%
PEA	-17,67%	VV	1,98%	EC	1,30
PED	-31,32%	PAA	-38,92%		

Tabela 18 Cenários D e F: Variação relativa das variáveis parciais

Comparando-se o Cenário D com o Cenário F, observam-se trocas compensatórias entre estoque, nível de serviço e lucratividade da cadeia. O estoque diminui, o nível de serviço piora e a lucratividade aumenta.

No nível atacadista o estoque aumenta, o nível de serviço melhora e a lucratividade diminui. Tem-se, portanto, uma troca compensatória entre estoque e lucratividade. Convém salientar que apesar de o estoque aumentar, os custos diminuem.

O nível distribuidor apresenta a mesma dinâmica de trocas compensatórias que a das variáveis totais. Ou seja, apresenta a troca compensatória entre estoque e lucratividade.

O nível varejista não apresenta trocas compensatórias. O estoque aumenta, os custos aumentam, o nível de serviço melhora e a lucratividade aumenta.

Os custos de transporte representam 53 % do custo total da cadeia. O custo de transporte do varejista aumenta, enquanto os custos de transporte dos níveis distribuidor e

atacadista diminuem. Esse resultado revela que em uma situação de domínio na cadeia, existem relevantes trocas compensatórias nos custos de transporte.

Os custos de transporte nos dois cenários apresentam praticamente a mesma participação relativa no custo total da cadeia; aproximadamente 52 %. A Figura 48 apresenta a evolução dinâmica dos custos de transporte nos dois cenários.

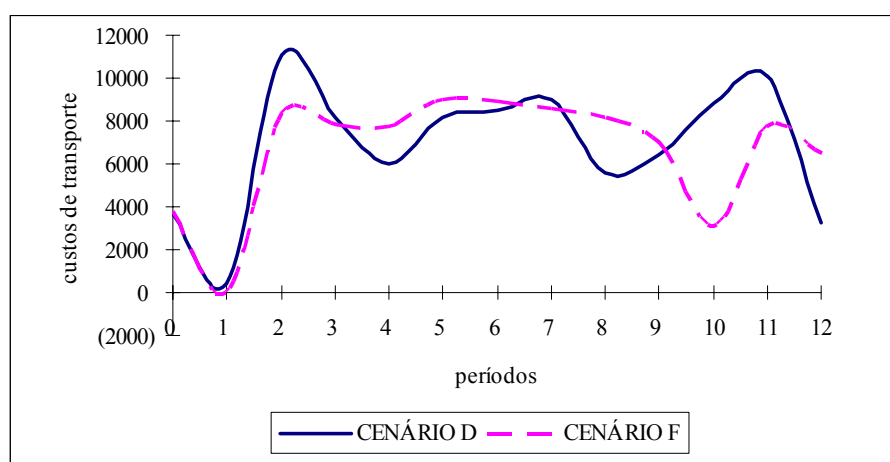


Figura 48 Cenários D e F: Custos de transporte

Sem considerar os custos de transporte, os pedidos realizados na cadeia aumentam e, com isso, as vendas da cadeia também aumentam. O nível que apresenta maior acréscimo nas vendas é o nível distribuidor. Ou seja, neste cenário, tem-se uma situação de domínio do varejista, onde o maior acréscimo nas vendas é o apresentado pelo nível distribuidor.

Com relação ao nível de serviço, o pior desempenho fica por conta do nível distribuidor; os pedidos acumulados neste nível aumentam em 153 %, aproximadamente, enquanto os do atacadista e varejista diminuem em, aproximadamente, 39 % e 15 %, respectivamente.

Na Tabela 19 apresentam-se as participações relativas de cada variável parcial no correspondente total.

	CENÁRIO D	CENÁRIO F
CTA	37,32%	37,33%
CTD	55,22%	53,94%
CTV	7,46%	8,73%
EA	39,02%	42,57%
ED	36,91%	30,82%
EV	24,07%	26,61%
PEA	-30,24%	-31,48%
PED	66,50%	57,76%
PEV	63,73%	73,72%
PAA	10,90%	6,16%
PAD	14,99%	35,76%
PAV	68,55%	58,08%
VA	35,34%	33,29%
VD	29,90%	31,91%
VV	34,75%	34,79%
CA	24,99%	25,09%
CD	50,25%	47,03%
CV	24,77%	27,88%
LV	38,16%	38,44%
LD	25,31%	28,98%
LA	36,54%	32,58%

Tabela 19 Cenários D e F: Participação relativa das variáveis parciais

Os coeficientes de correlação entre as variáveis e a lucratividade da cadeia apresentam alterações significativas. É importante observar que, de modo análogo ao Cenário D, existe uma alteração tanto no sentido, como na intensidade dos coeficientes de correlação com a lucratividade total. Como exemplo, cita-se o caso da posição de estoque desejada pelo nível distribuidor; no cenário anterior, esta variável apresenta uma intensa correlação negativa (-0,71) com a lucratividade total. Neste cenário, este coeficiente apresenta uma correlação mais fraca, (-0,06). O coeficiente de correlação do custo de transporte do atacadista é igual a 0,25, enquanto no cenário anterior é igual a 0,06. As medidas descritivas destes dois cenários encontram-se no APÊNDICE K.

O efeito chicote no Cenário E é igual a 1,24, enquanto que no cenário D é igual a 1,34. A Figura 49 apresenta a taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas nos dois cenários.

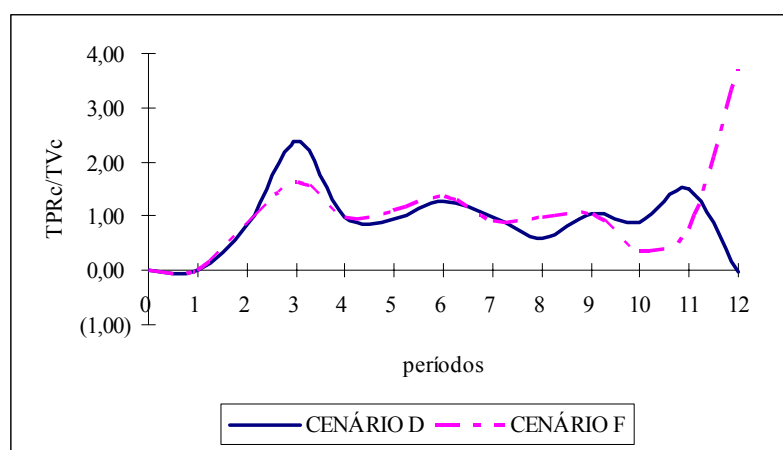


Figura 49 Cenários D e F: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas

O nível com maior efeito chicote é o distribuidor e o com menor efeito chicote é o do varejista, conforme Figura 50.

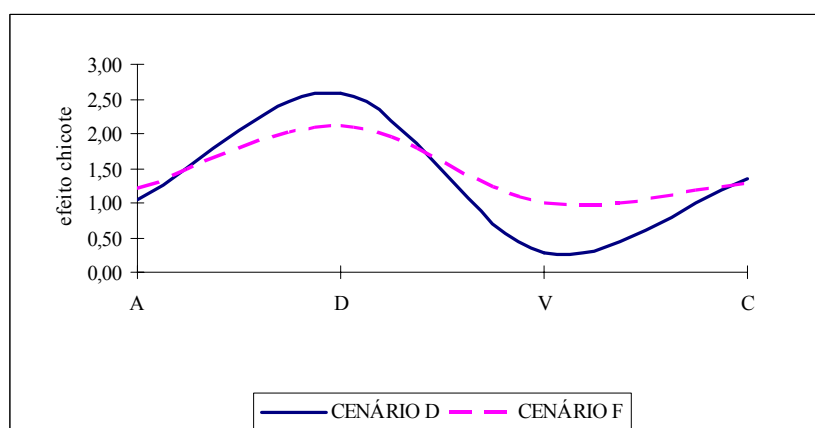


Figura 50 Cenários D e F: Efeito chicote

A Figura 51 apresenta o hiato de satisfação dos Cenários D e E; este último piorou muito em relação ao Cenário D, passando de 25 % para 47 %.

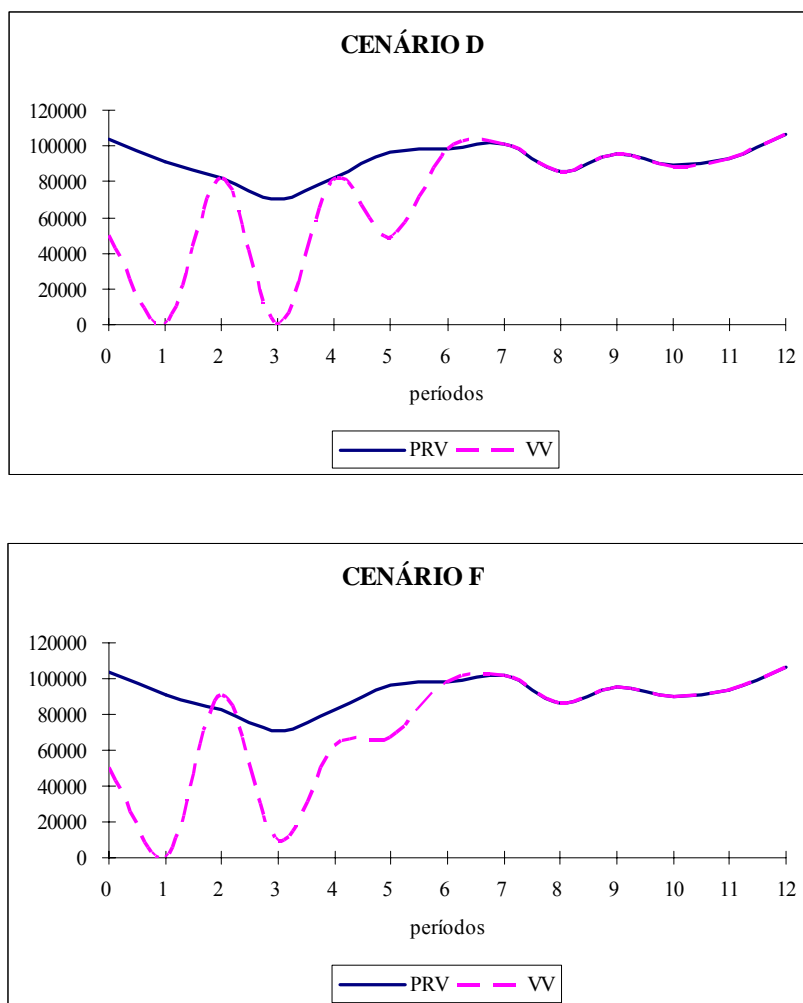


Figura 51 Cenários D e F: Hiato de satisfação do consumidor final

Observa-se que uma situação de domínio do varejista, sem considerar os custos de transporte na otimização da lucratividade da cadeia, as participações relativas dos lucros dos diferentes níveis da cadeia, não se alteram muito. Contudo, sem a inclusão dos custos de transporte, o nível distribuidor apresenta um acréscimo nos lucros igual a 18,5 %, enquanto o varejista apresenta um acréscimo de 4,27 % e o atacadista um decréscimo de 7,69 %. Esse resultado revela que, em uma situação de domínio do varejista, o maior acréscimo de lucros pode ser de outro nível que não o dominante.

O efeito chicote, sem considerar os custos de transporte, é maior do que o observado no cenário no qual os custos de transporte são considerados. Mais ainda, o hiato de satisfação

permanece o mesmo. Esse resultado parece ser distorcido, indicando a necessidade de se considerar os custos de transporte na otimização da lucratividade total da cadeia.

Para dar continuidade a análise das reais potencialidades e limitações da utilização da modelagem multiobjetivo, como sistema de apoio à tomadas de decisão no planejamento conjunto e colaborativo da cadeia de suprimentos, considera-se importante analisar a influencia do *lead time* de entrega dos pedidos, sobre o comportamento dinâmico da cadeia de suprimentos.

Os cenários a seguir constituem a segunda etapa de avaliação das alterações no desempenho global da cadeia. Essa etapa refere-se a inclusão de uma variável para representar o *lead time* de entrega variável em cada um dos níveis da cadeia. Para esse tipo de análise, assume-se a hipótese que cada nível a montante na cadeia tem uma previsão de *lead time* de entrega. Além disso, essa previsão é comunicada ao nível a jusante por ocasião da colocação de seus respectivos pedidos.

3.4.2.7 Cenário G

O Cenário G é especificado para considerar a influência do *lead time* nas decisões de pedidos da cadeia, quando os custos de transporte não são considerados como variável relevante para a otimização do desempenho global da cadeia. Para considerar essa influência, utiliza-se a sugestão apresentada em Bo (2001). O autor sugere que, em um modelo multiobjetivo, no qual são permitidos pedidos acumulados, podem-se representar os custos de falta de estoque por uma função linear da diferença entre o estoque do último período e uma proporção das vendas correntes. De modo análogo, considera-se, neste cenário, a influência do *lead time* na evolução dinâmica da cadeia, por meio de uma função linear que representa a diferença entre duas parcelas. A primeira representa a soma entre os pedidos recebidos e os

pedidos acumulados no período anterior. A segunda parcela representa as vendas do período corrente. Estas são proporcionais ao *lead time* do nível a montante na cadeia.

$$PP_A(t+1) = (PR_A(t+1) + PP_A(t)) - V_A(t+1) * L_P(t-1) \quad (92)$$

$$PP_D(t+1) = (PR_D(t+1) + PP_D(t)) - V_D(t+1) * L_A(t-1) \quad (93)$$

$$PP_V(t+1) = (PR_V(t+1) + PP_V(t)) - (V_V(t+1) * L_D(t-1)) \quad (94)$$

onde:

L_P : *lead time* de entrega do produtor, no período t;

L_A : *lead time* de entrega do atacadista, no período t;

L_D : *lead time* de entrega do distribuidor, no período t.

Para inserir o *lead time* de entrega em cada nível da cadeia, considera-se que os dados históricos do *lead time* do produtor apresenta uma distribuição normal com uma média de atraso nas entregas igual a 0,8 períodos, com desvio padrão igual a 0,3 períodos. De modo análogo, o atraso nas entregas do atacadista segue uma distribuição normal com média igual a 0,8 e desvio padrão igual a 0,4. O atraso nas entregas do distribuidor segue uma distribuição normal com média igual a 0,8 e desvio padrão igual a 0,2. Uma vez que a série de previsões de *lead time*, em cada período de planejamento é gerada e as exceções comunicadas aos níveis a jusante na cadeia, os tempos de atraso são considerados no modelo. A Tabela 20 apresenta a previsão do *lead time* de entrega em cada nível da cadeia,

Período	produtor	atacadista	distribuidor
1	0,7	0,6	0,5
2	0,9	1,5	0,5
3	0,9	0,5	0,8
4	0,3	0,3	1
5	0,6	0,3	1
6	0,5	0,9	0,6
7	0,7	1,3	0,7
8	1	0,3	0,5
9	0,6	1	0,7
10	0,8	1,2	0,6
11	0,5	0,5	0,5
12	0,9	0,4	1

Tabela 20 *Lead time* de entrega em cada nível da cadeia

O Cenário G difere do Cenário A apenas pelas equações (92) (92) (92). Resulta da otimização realizada em um tempo de aproximadamente de 6 segundos, com 2292 iterações e um *gap* relativo nulo. Os resultados gerais deste cenário estão no APÊNDICE L.

As políticas de pedidos são regidas por controladores iguais a 1,353, 1,916 e 2, para os níveis atacadista, distribuidor e varejista, respectivamente. As correspondentes variações relativas destes controladores são iguais 13,98 %, 21,57 % e 15,34 % Isso significa que em um cenário com longos *lead time*, sem considerar os custos de transporte na otimização da lucratividade total da cadeia, todos os níveis da cadeia precisam aumentar as respectivas posições de estoque desejadas.

Com essa nova política de pedidos, o total da posição de estoque desejada na cadeia apresenta um aumento de 16,77 % e a posição do estoque na cadeia aumenta em aproximadamente 70 %. A Figura 52 apresenta a posição de estoque desejada na cadeia de suprimentos.

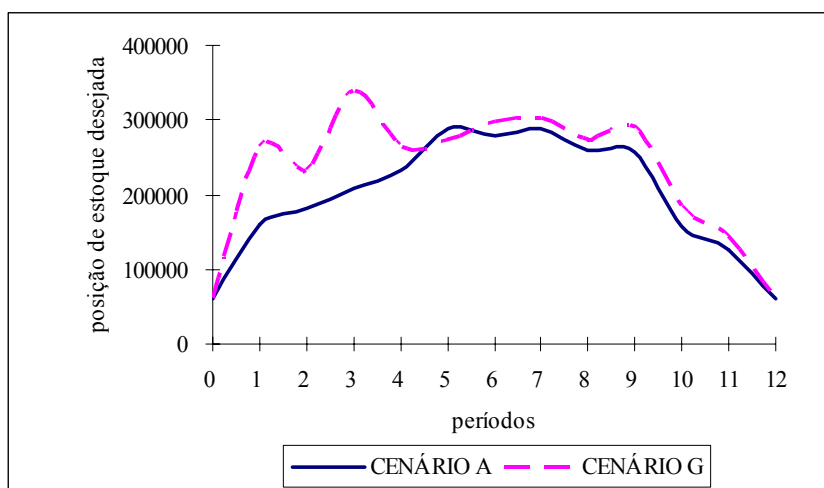


Figura 52 Cenários A e G: Posição de estoque desejada

Com essa posição de estoque desejada, mais uma vez que não se observam as trocas compensatórias entre lucratividade, nível de serviço e estoque da cadeia.

A lucratividade total da cadeia aumenta em aproximadamente 7 %. Os lucros do varejista, distribuidor e varejista aumentam em 4%, 1,698 % e 14,87 %, respectivamente. O padrão de evolução da lucratividade da cadeia nos Cenários A e G está representado pela Figura 53.

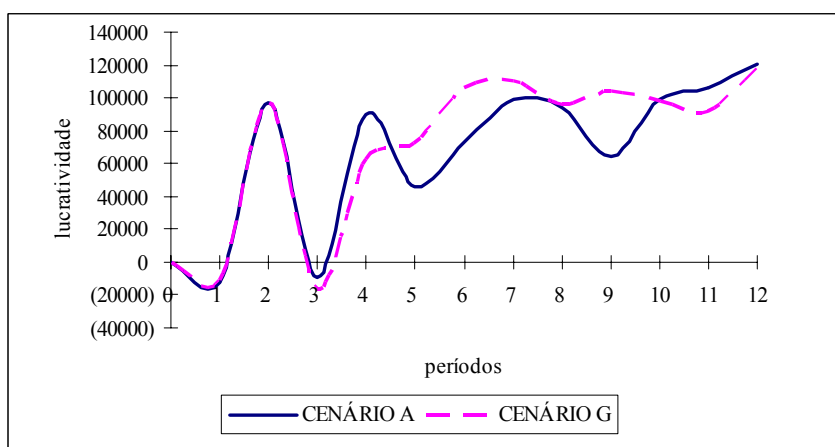


Figura 53 Cenários A e G: Lucratividade total da cadeia

Com a introdução do *lead time* no modelo, observam-se mudanças significativas nos níveis das variáveis totais, conforme Tabela 21

TPED _C	16,77%
LT _C	6,79%
CT _C	11,64%
CTT _C	7,33%
E _T	1,99%
TPE _C	68,99%
TPR _C	-10,63%
TPP _C	27,50%
TV _C	8,85%
TPA _C	50,23%

Tabela 21 Cenários A e G: Variação relativa das variáveis totais

Como a posição de estoque desejada apresenta um decréscimo de 16,77 %, em relação ao Cenário A, a posição de estoque na cadeia aumenta em 70 %, aproximadamente. Os custos de transporte e o custo total da cadeia aumentam em 11,64 % e 7,33 %, respectivamente. As vendas da cadeia também aumentam. Contudo, o nível de serviço piora; os pedidos acumulados na cadeia aumentam em 50,23 %.

Chama atenção que o total de pedidos realizados diminui em 10,63 % e as vendas aumentam. Esse é um resultado interessante, uma vez que a bibliografia chama atenção que em cadeia com longos *lead time*, os pedidos realizados geralmente superestimam o tamanho dos pedidos necessários para satisfazer a demanda.

Embora o total de pedidos diminua, as vendas aumentam. Contudo o nível de serviço aumenta muito; os pedidos acumulados aumentam em 50,23 %. Os pedidos diminuem, mas a posição do estoque aumenta muito (68,9 %). Acredita-se que esse resultado é devido ao fato de a previsão do *lead time* ter sido considerada na equação de posição de pedidos; com isso, cada nível da cadeia está considerando que as respectivas vendas serão menores, e proporcionais ao *lead time* do período.

Com as variações apresentadas nos níveis das variáveis totais, verifica-se uma mudança na participação relativa das variáveis parciais no respectivo total. A Tabela 22 apresenta essas variações.

PEDA	22,58%	PEV	14,13%	PAD	-49,19%
PEDD	29,54%	PRP	12,17%	PAV	51,12%
PEDV	5,51%	PRA	-35,38%	CA	-0,72%
CTA	5,60%	PRD	-10,40%	CD	24,94%
CTD	10,40%	PPA	18,34%	CV	6,42%
CTV	4,72%	PPD	-0,09%	LV	4,00%
EA	-21,02%	PPV	41,00%	LD	1,68%
ED	35,37%	VA	11,85%	LA	14,87%
EV	6,63%	VD	7,68%	HS	26,36%
PEA	-26,47%	VV	7,05%	EC	1,30
PED	97,48%	PAA	20396,51%		

Tabela 22 Cenário A e G: Variação relativa das variáveis parciais

Comparando-se o Cenário A com o Cenário G, observa-se que, apesar de o estoque aumentar, o nível de serviço piora e a lucratividade aumenta. Ou seja, observa-se uma troca compensatória entre nível de serviço e lucratividade.

O nível atacadista também apresenta uma troca compensatória entre nível de serviço e lucratividade. Neste nível, o estoque diminui, o nível de serviço piora e a lucratividade aumenta. Convém ressaltar, que apesar de o estoque diminuir, os custos de transporte aumentam.

O nível distribuidor não apresenta trocas compensatórias. O estoque aumenta, o nível de serviço melhora e a lucratividade aumenta. O nível varejista, por sua vez, apresenta a mesma dinâmica das variáveis totais. Ou seja, apesar de o estoque aumentar, o nível de serviço piora e a lucratividade aumenta.

Os custos de transporte de todos os níveis da cadeia aumentam, sendo o maior acréscimo relativo observado no nível distribuidor. Figura 54 apresenta a evolução dinâmica dos custos de transporte nos dois cenários.

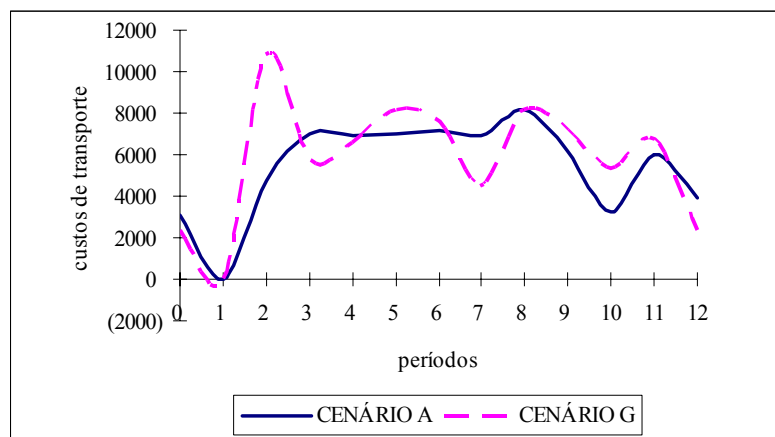


Figura 54 Cenários A e G: Custos de transporte

O estoque total da cadeia aumenta. O estoque do atacadista diminui em 21,02 %, enquanto os do distribuidor e varejista aumentam, respectivamente, em 35,37 % e 6,63 %. Com relação ao nível de serviço, o pior desempenho fica por conta do nível atacadista, e o melhor por conta do nível distribuidor. Na Tabela 23 apresentam-se as participações das variáveis parciais no respectivo total.

	CENÁRIO A	CENÁRIO G
CTA	41,45%	40,78%
CTD	39,56%	40,69%
CTV	18,99%	18,53%
EA	47,40%	36,70%
ED	29,46%	39,11%
EV	23,14%	24,19%
PEA	-31,54%	-13,72%
PED	50,46%	58,96%
PEV	81,08%	54,76%
PAA	0,04%	5,02%
PAD	8,35%	2,82%
PAV	91,62%	92,16%
VA	33,35%	34,27%
VD	30,75%	30,42%
VV	35,91%	35,31%
CA	28,60%	25,43%
CD	39,22%	43,90%
CV	32,18%	30,67%
LV	39,70%	41,29%
LD	28,57%	29,05%
LA	31,73%	36,44%

Tabela 23 Cenários A e G: Participação relativa das variáveis parciais

Os coeficientes de correlação entre as variáveis e a lucratividade da cadeia não apresentam grandes alterações. Contudo, a posição de estoque desejada do distribuidor apresenta uma alteração na intensidade de seu coeficiente de correlação. No Cenário A, o coeficiente de correlação é igual a -0,04; agora, no Cenário G, passa para -0,77. As medidas descritivas destes dois cenários encontram-se no APÊNDICE M.

O efeito chicote no Cenário G é igual a 1,3 e, portanto, maior do que o apresentado no Cenário A. A Figura 55 apresenta a taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas na cadeia nos dois cenários.

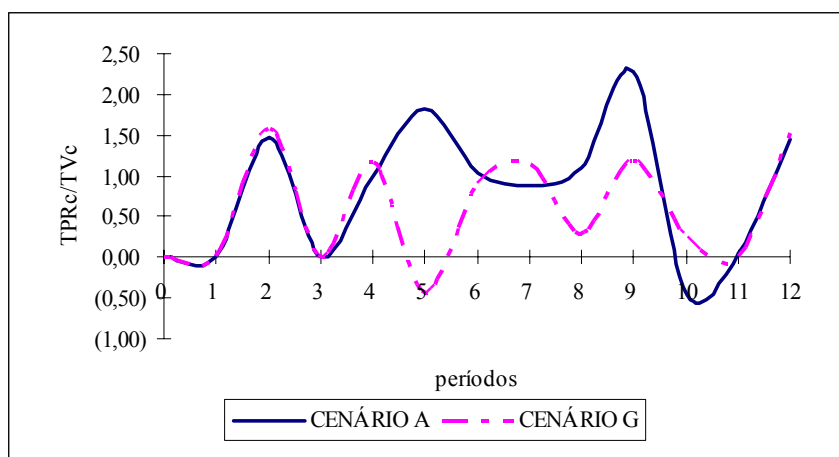


Figura 55 Cenários A e G: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas

Nos dois cenários, o maior efeito chicote é o apresentado pelo nível distribuidor, conforme Figura 56.

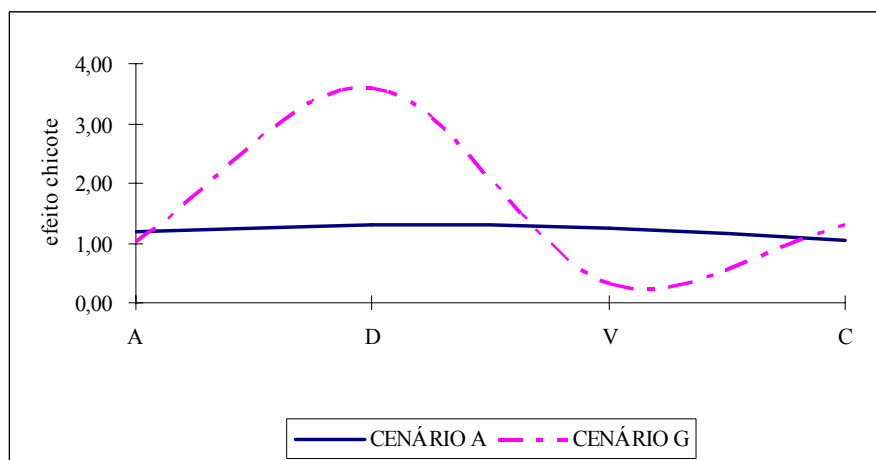


Figura 56 Cenários A e G: Efeito chicote

É importante ressaltar que neste cenário o hiato de satisfação melhorou muito; passou de 31,22 % para 26,36 %, conforme pode-se observar na Figura 57.

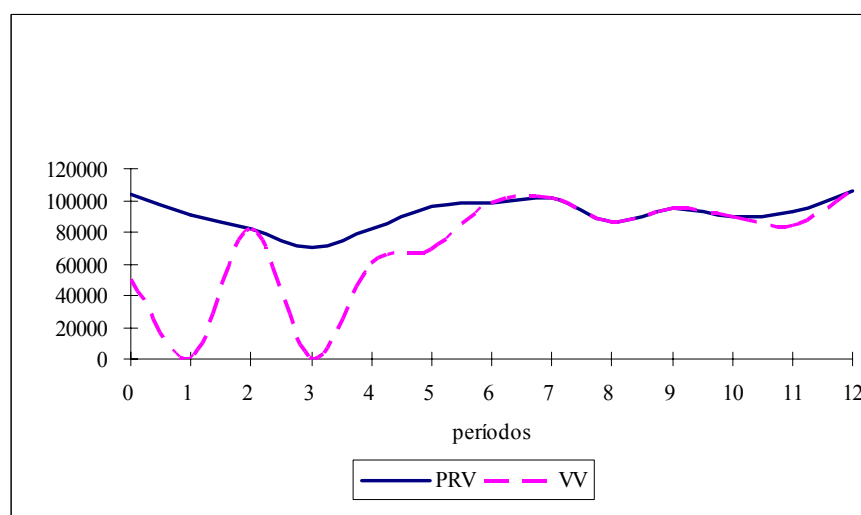
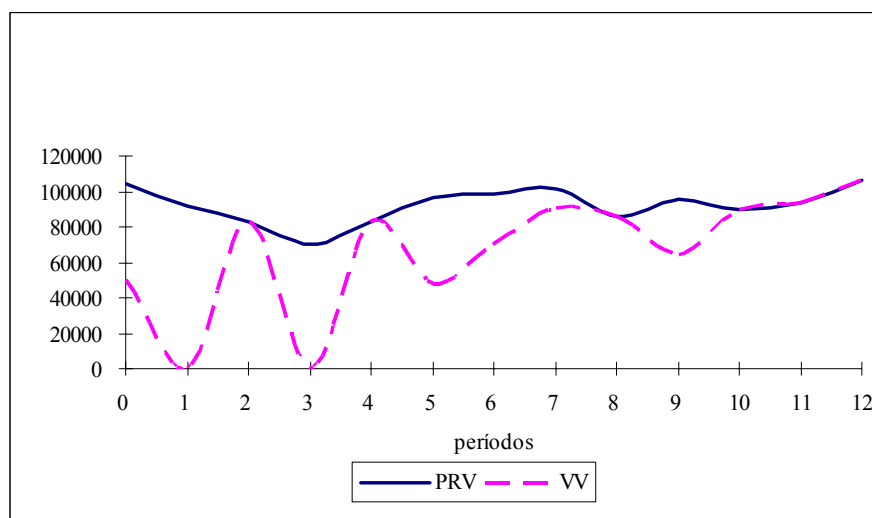


Figura 57 Cenários A e G: Hiato de satisfação do consumidor final

É um cenário bastante importante uma vez que reflete uma situação de otimização multiobjetivo, em uma cadeia de suprimentos na qual o *lead time* de entrega de pedidos é longo, as vendas aumentam, a lucratividade aumenta, os lucros aumentam, e a satisfação do cliente final melhora significativamente. Pode-se dizer, que a influencia negativa de do *lead time* e do efeito chicote, salientada na bibliografia, não foi observada neste cenário. Ou seja, os efeitos negativos do *lead time* e do efeito chicote não são observados, quando a cadeia de suprimentos está inserida em processo de planejamento conjunto, e os custos de transporte não são considerados na otimização do desempenho global da cadeia.

3.4.2.8 Cenário H

O Cenário H é especificado com o objetivo de se analisar as alterações na evolução dinâmica da cadeia de suprimentos quando o *lead time* de entrega dos pedidos for variável e os custos de transporte forem considerados como variável relevante na otimização do desempenho global da cadeia. Desse modo, a análise das alterações na dinâmica da cadeia é realizada comparando-se os resultados do Cenário B com o Cenário H. O Cenário H difere do Cenário B, apenas pelas equações (90), (93) e (94).

O Cenário H resulta da otimização realizada em um tempo de aproximadamente 6 segundos, com 775 iterações e um *gap* relativo nulo. Os resultados gerais deste cenário encontram-se no APÊNDICE N.

As políticas de pedidos são determinadas por controladores iguais a 0,58, 1,47 e 1,42, para os níveis atacadista, distribuidor e varejista respectivamente. As correspondentes variações relativas destes controladores são iguais a -46,94, 10,85 % e -8,35 %. Isso significa que em um cenário com longos *lead time*, considerando os custos de transporte na otimização da lucratividade total da cadeia, tanto o atacadista, como o varejista precisam diminuir os controladores da política de pedidos. Por outro lado, o nível distribuidor precisa aumentar o controlador de pedidos.

Com essa nova política de pedidos, o total da posição de estoque desejada na cadeia apresenta um pequeno acréscimo de 2%, e a posição do estoque um acréscimo de apenas 1 %. A Figura 58 apresenta a evolução da posição de estoque desejada na cadeia de suprimentos.

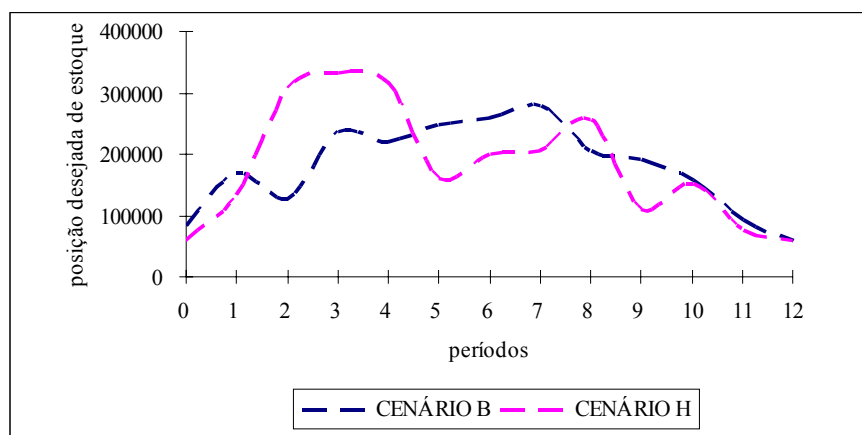


Figura 58 Cenários B e H: Posição de estoque desejada

Com essa posição de estoque desejada, observa-se mais uma vez que não se tem a troca compensatória entre lucratividade e nível de serviço da cadeia. Neste caso, tanto a lucratividade, como o nível de serviço da cadeia pioram. A lucratividade total da cadeia diminui e os pedidos acumulados aumentam em aproximadamente 78 %. Observa-se a troca compensatória entre estoque e lucratividade; enquanto o estoque aumenta em 3 %, a lucratividade diminui em 16 %, aproximadamente.

Os respectivos lucros do varejista, distribuidor e varejista diminuem, aproximadamente em 15 %, 18 % e 14 %. Este é o primeiro cenário no qual, o padrão de evolução da lucratividade da cadeia apresenta-se diferenciado dos demais, apresentando uma alta variabilidade; seu coeficiente de variação cresceu do Cenário B para o Cenário H em aproximadamente 30 %. O padrão de evolução da lucratividade total da cadeia nos Cenários B e H está representado pela Figura 59.

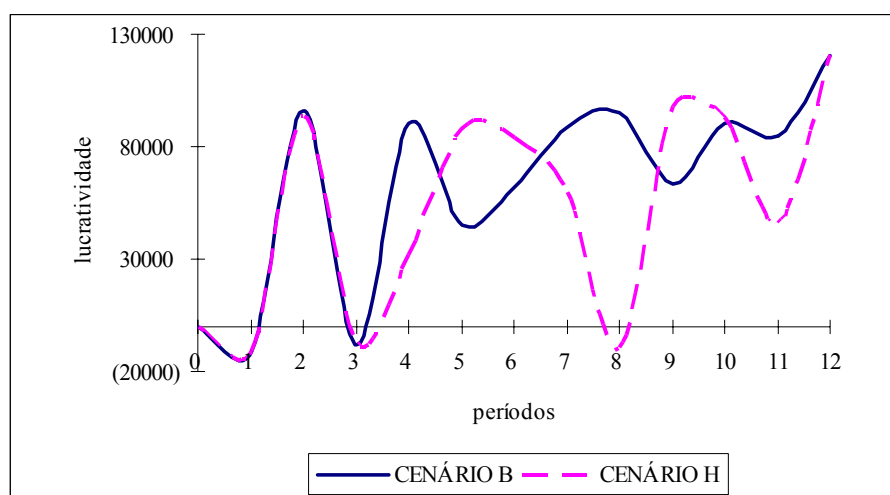


Figura 59 Cenários B e H: Lucratividade total da cadeia

Com *lead time* variável, observam-se mudanças significativas nos níveis das variáveis totais, conforme Tabela 24.

TPED _C	1,80%
LT _C	-16,14%
CT _C	-9,22%
CTT _C	-16,94%
E _T	3,06%
TPE _C	0,59%
TPR _C	-29,76%
TPP _C	33,54%
TV _C	-15,66%
TPA _C	78,00%

Tabela 24 Cenários B e H: Variação relativa das variáveis totais

A posição de estoque desejada apresenta um decréscimo de 2 %, em relação ao Cenário B. Com isso, a posição de estoque na cadeia aumenta em aproximadamente 1 %. Pode-se dizer, assim, que os novos controladores, embora tenham apresentado variações significativas, o nível absoluto da posição de estoque não se alterou muito com a introdução do *lead time*.

Os custos de transporte e o custo total da cadeia apresentam decréscimos de 19 % e 9 %, respectivamente. As vendas da cadeia também diminuem, e o nível de serviço total da cadeia piora muito; os pedidos acumulados apresentam um acréscimo aproximado de 78 %.

Os pedidos realizados na cadeia diminuem em 30 %. Este resultado é interessante, uma vez que a bibliografia chama atenção que, em cadeias com longos *lead time*, os pedidos realizados geralmente tendem a ser maiores do que o necessário, de modo a enfrentar a demanda do período de *lead time*. Com as variações apresentadas nos níveis totais da cadeia, verifica-se uma mudança na participação relativa das variáveis parciais no respectivo total. A Tabela 25 apresenta essas variações.

PEDA	194,77%	PEV	-28,83%	PAD	73,25%
PEDD	-32,08%	PRP	-17,11%	PAV	78,99%
PEDV	-26,52%	PRA	-43,89%	CA	-0,78%
CTA	-22,51%	PRD	-29,04%	CD	-10,67%
CTD	-10,31%	PPA	-19,92%	CV	-15,02%
CTV	-18,34%	PPD	11,77%	LV	-15,19%
EA	16,95%	PPV	55,62%	LD	-18,12%
ED	-9,18%	VA	-15,11%	LA	-14,49%
EV	-13,73%	VD	-17,91%	HS	47,50%
PEA	-78,10%	VV	-14,24%	EC	184,51%
PED	-7,96%	PAA	-100,00%		

Tabela 25 Cenários B e H: Variação relativa das variáveis parciais

Comparando-se os Cenários B e H, observa-se que o estoque aumenta, os custos diminuem, o nível de serviço piora e a lucratividade diminui. Tem-se, portanto, uma troca compensatória entre estoque e lucratividade.

O nível atacadista apresenta uma troca compensatória entre nível de serviço e lucratividade. O estoque aumenta, o nível de serviço melhora e a lucratividade diminui. É importante ressaltar que apesar de o estoque aumentar os custos diminuem.

O nível varejista não apresenta trocas compensatórias. O estoque diminui, os custos diminuem, o nível de serviço piora e a lucratividade diminui. Com a comparação desses dois cenários tem-se mais um caso no qual nenhum nível da cadeia reproduz a dinâmica das variáveis totais.

Os custos de transporte em todos os níveis da cadeia diminuem. A maior redução nos custos de transporte é observada no nível atacadista. A Figura 60 apresenta a evolução dinâmica dos custos de transporte nos dois cenários.

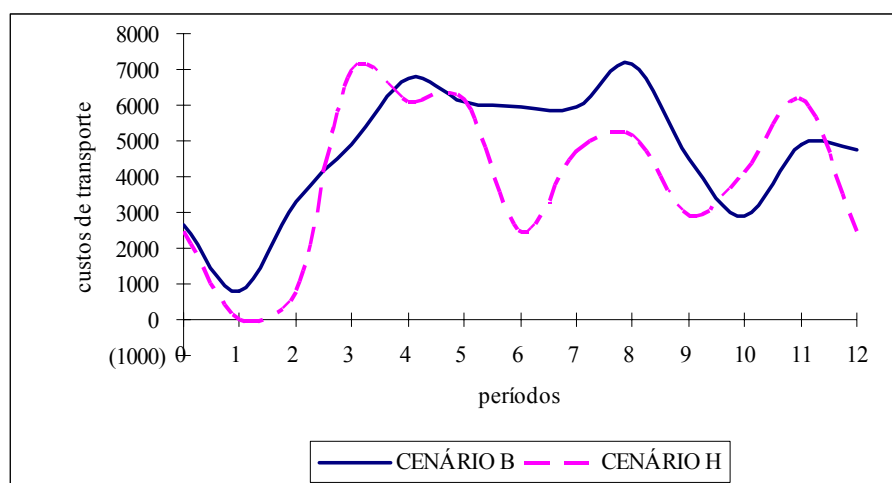


Figura 60 Cenários B e H: Custos de transporte

O estoque total da cadeia aumenta em apenas 3%. Contudo, observam-se importantes variações relativas do estoque de cada nível da cadeia. O estoque do atacadista aumenta em 17%, os estoques do distribuidor e varejista diminuem em 9% e 14%, respectivamente.

Com relação ao nível de serviço, o pior desempenho fica por conta do nível varejista; os pedidos acumulados nesse nível aumentam em, aproximadamente, 80%. O nível de serviço do distribuidor piora em 73,25%. Neste cenário, o nível atacadista não apresenta pedidos acumulados.

Na Tabela 26 apresentam-se as participações relativas das variáveis parciais no correspondente total.

	CENÁRIO B	CENÁRIO H
CTA	41,83%	39,03%
CTD	39,14%	42,27%
CTV	19,03%	18,71%
EA	50,71%	57,55%
ED	27,07%	23,86%
EV	22,22%	18,60%
PEA	-39,64%	-8,63%
PED	47,38%	43,36%
PEV	92,26%	65,27%
PAA	0,00%	0,00%
PAD	17,31%	16,85%
PAV	82,69%	83,15%
VA	32,96%	33,18%
VD	30,78%	29,96%
VV	36,26%	36,87%
CA	29,02%	31,72%
CD	38,28%	37,67%
CV	32,71%	30,62%
LV	40,17%	40,76%
LD	28,82%	27,25%
LA	31,01%	31,99%

Tabela 26 Cenários B e H: Participação relativa das variáveis parciais

Chama-se atenção que com a introdução do *lead time*, a posição do estoque do atacadista que participa com aproximadamente -39,64 % da posição do estoque da cadeia, no Cenário H passa a participar com apenas -8,36 %.

Os coeficientes de correlação entre as variáveis e a lucratividade da cadeia não apresentam grandes alterações, tanto com relação à intensidade da correlação, como em relação ao sentido. Pode-se citar, como exemplo, a posição de estoque desejada. No Cenário B, esta variável apresenta um coeficiente de correlação a igual a -0,53; no Cenário H, este coeficiente de correlação é igual a -0,02. Um exemplo de troca de sentido é o caso das vendas do distribuidor; no Cenário B essa variável apresenta um coeficiente de correlação

igual a 0,35. No Cenário H este coeficiente de correlação é igual a -0,06. As medidas descritivas destes dois cenários encontram-se no APÊNDICE O.

O efeito chicote no Cenário H é maior do que o do Cenário B; passa de 0,87 para 1,95. A Figura 61 apresenta a taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas na cadeia, nos dois cenários.

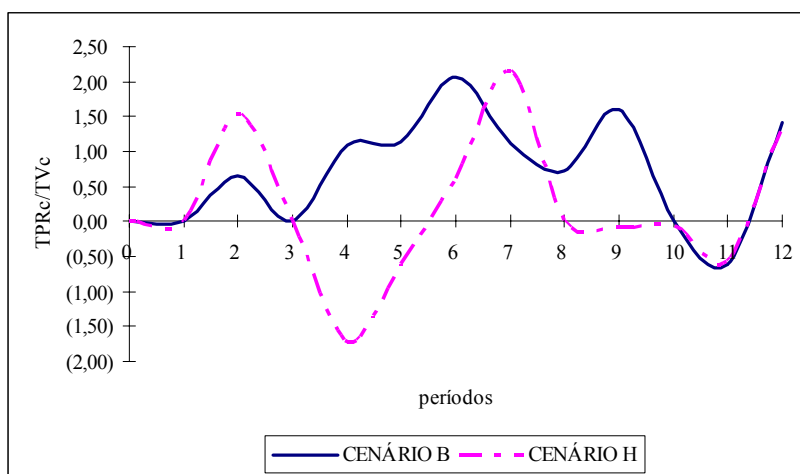


Figura 61 Cenários B e H: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas

O maior efeito chicote é o apresentado pelo nível distribuidor, enquanto no Cenário B o maior é o do nível varejista, conforme Figura 62.

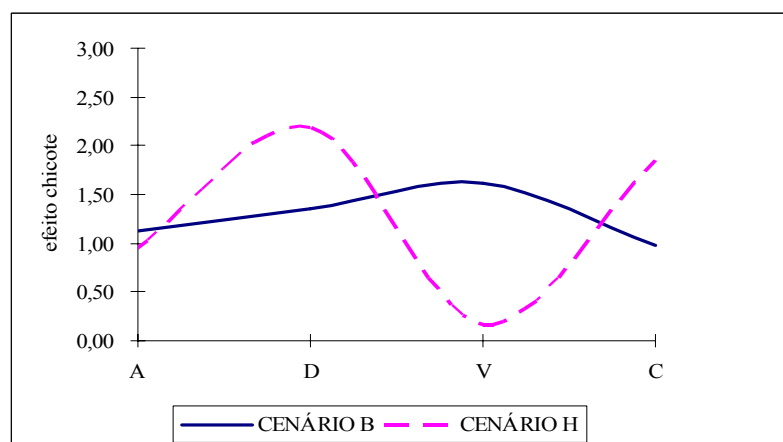


Figura 62 Cenários B e H: Efeito chicote

Como era de se esperar, neste cenário, o hiato de satisfação piorou muito. Passou de 36 % para 47 %. A Figura 63 apresenta a evolução dinâmica do hiato de satisfação nos dois cenários.

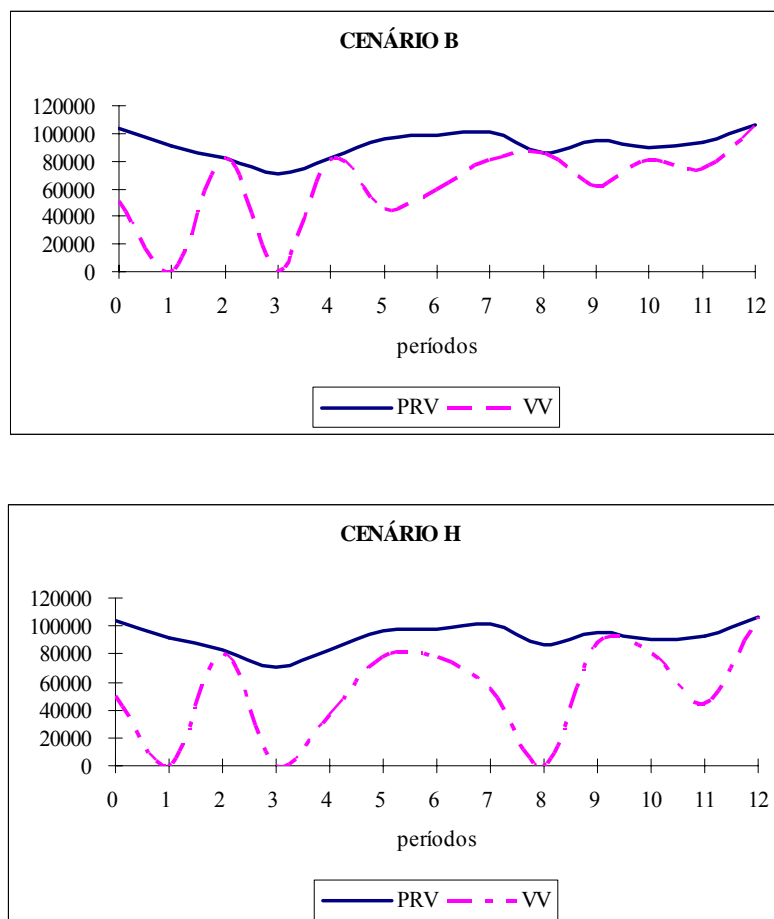


Figura 63 Cenários B e H: Hiato de satisfação do consumidor final

Ainda no contexto de cenários com *lead time* variável considera-se importante analisar as alterações na cadeia, comparando-se o caso da otimização multiobjetivo onde os custos de transporte não são considerados como variável relevante para a otimização do desempenho global da cadeia – Cenário G – com o caso no qual esses custos são considerados – Cenário H.

Comparando-se os resultados dos Cenários G e H observam-se variações significativas nas variáveis totais. Essas variações são apresentadas na Tabela 27.

TPED _C	-20,77%
LT _C	-26,27%
CT _C	-26,82%
CTT _C	-33,27%
E _T	-1,41%
TPE _C	-54,63%
TPR _C	-26,67%
TPP _C	13,47%
TV _C	-28,09%
TPA _C	51,91%

Tabela 27 Cenários G e H: Variação relativa das variáveis totais

Considerando-se os custos de transporte na otimização do desempenho global da cadeia, observa-se a trocas compensatória entre lucratividade e nível de serviço. Os pedidos acumulados aumentam e a lucratividade diminui. Os lucros em todos os níveis da cadeia são menores do que os do Cenário G. A maior perda de lucros é apresentada pelo nível atacadista.

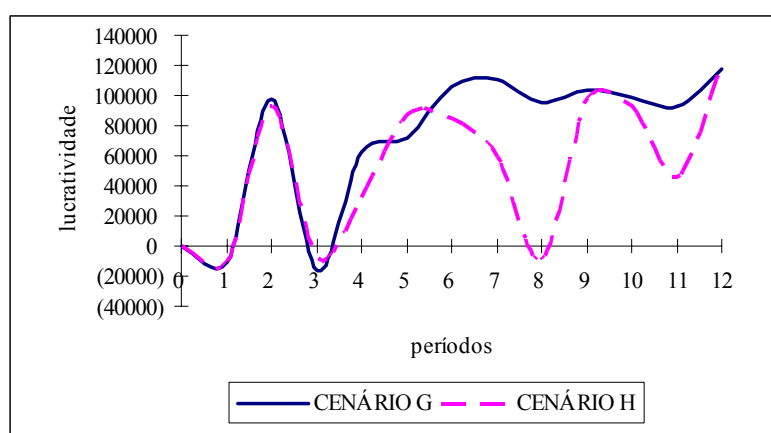


Figura 64 Cenários G e H: Lucratividade total da cadeia

A tabela a seguir apresenta as variações relativas das variáveis parciais.

PEDA	134,26%	PEV	-45,92%	PAD	806,77%
PEDD	-52,47%	PRP	-32,03%	PAV	37,07%
PEDV	-37,77%	PRA	-18,05%	CA	-8,73%
CTA	-36,14%	PRD	-25,88%	CD	-37,20%
CTD	-30,68%	PPA	-36,19%	CV	-26,95%
CTV	-32,63%	PPD	30,16%	LV	-22,27%
EA	54,58%	PPV	20,36%	LD	-26,16%
ED	-39,86%	VA	-30,38%	LA	-30,89%
EV	-24,20%	VD	-29,18%	HS	47,50%
PEA	-71,47%	VV	-24,92%	EC	184,51%
PED	-66,64%	PAA	-100,00%		

Tabela 28 Cenários G e H: Variação relativa das variáveis parciais

Comparando-se os Cenários G e H, verifica-se que não existem trocas compensatórias entre estoque, nível de serviço e lucratividade da cadeia. O estoque diminui, o nível de serviço piora e a lucratividade diminui. Os níveis distribuidor e varejista seguem a mesma dinâmica apresentada pelas variáveis totais. O nível atacadista, por sua vez, apresenta uma troca compensatória entre nível de serviço e lucratividade. O estoque aumenta, o nível de serviço melhora e a lucratividade diminui.

Os custos de transporte em todos os níveis da cadeia diminuem. A maior redução nos custos de transporte é observada no nível atacadista. O estoque total da cadeia diminui. Contudo, observam-se importantes variações relativas no estoque de cada nível da cadeia. O estoque do atacadista aumenta em 54,58 %, os estoques do distribuidor e varejista diminuem em 39,86 % e 24,2 %, respectivamente.

Com relação ao nível de serviço, o pior desempenho fica por conta do nível distribuidor; os pedidos acumulados nesse nível aumentam em, aproximadamente, 807 %.

A Tabela 29 apresenta a participação relativa das variáveis parciais no correspondente total.

	CENÁRIO G	CENÁRIO H
CTA	40,78%	39,03%
CTD	40,69%	42,27%
CTV	18,53%	18,71%
EA	36,70%	57,55%
ED	39,11%	23,86%
EV	24,19%	18,60%
PEA	-13,72%	-8,63%
PED	58,96%	43,36%
PEV	54,76%	65,27%
PAA	5,02%	0,00%
PAD	2,82%	16,85%
PAV	92,16%	83,15%
VA	34,27%	33,18%
VD	30,42%	29,96%
VV	35,31%	36,87%
CA	25,43%	31,72%
CD	43,90%	37,67%
CV	30,67%	30,62%
LV	38,66%	40,76%
LD	27,21%	27,25%
LA	34,13%	31,99%

Tabela 29 Cenários G e H: Participação relativa das variáveis parciais

A participação relativa dos lucros de cada nível na lucratividade total da cadeia se alterou. O varejista tem a maior participação relativa, enquanto o atacadista tem a menor. O nível distribuidor permanece com quase a mesma participação relativa do cenário anterior.

O efeito chicote no Cenário H aumentou; passou de 1,30 para 1,85. A Figura 65 apresenta a taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas.

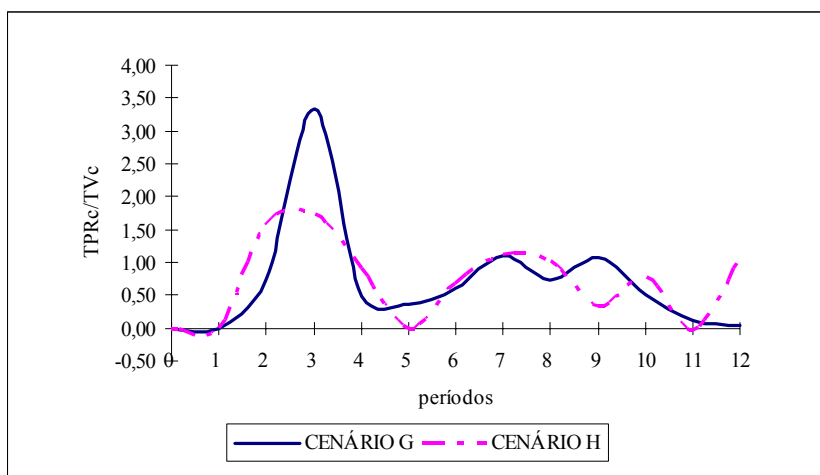


Figura 65 Cenários G e H: Taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas.

Nos dois cenários, o maior efeito chicote é o do nível distribuidor, conforme figura a seguir.

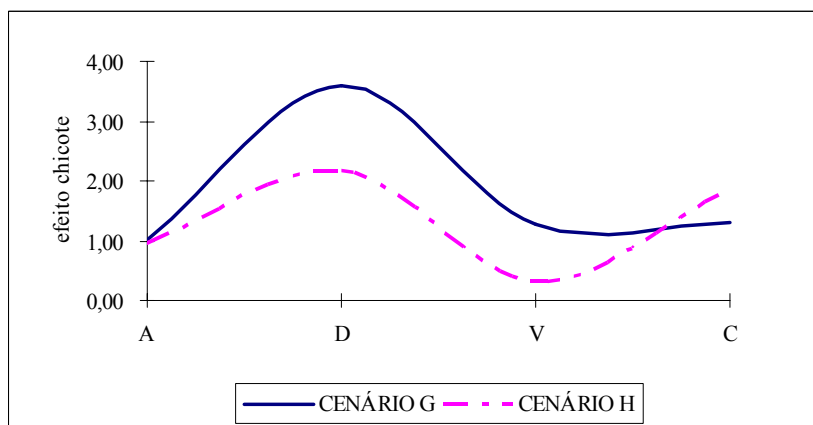


Figura 66 Cenários G e H: Efeito chicote

O hiato de satisfação do consumidor final piorou; passando de 26 % para 47 %. Na Figura 67 apresenta-se o hiato de satisfação do consumidor final nos dois cenários.

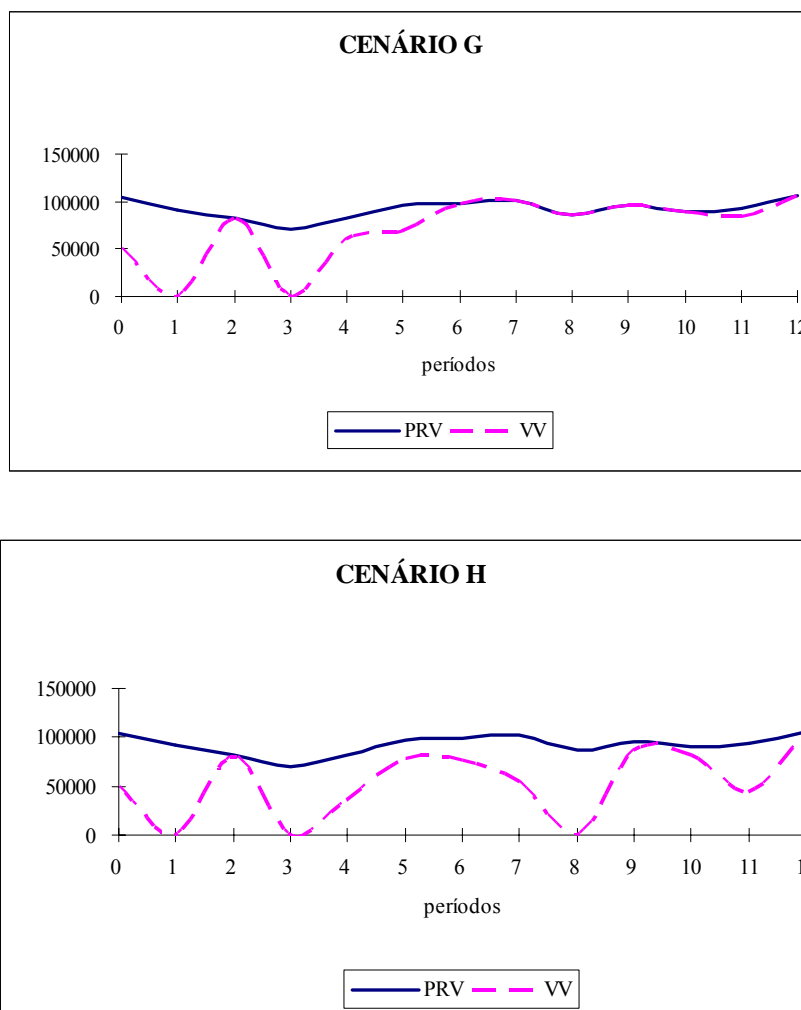


Figura 67 Cenários G e H: Hiato de satisfação do consumidor final

Com o objetivo de se avaliar as reais potencialidades da modelagem multiobjetivo no planejamento conjunto e colaborativo, considera-se importante analisar a evolução dinâmica da cadeia de suprimentos quando seus participantes, embora inseridos no planejamento, tiverem interesses conflituosos. Para atingir esse objetivo serão avaliados os resultados de dois cenários. No primeiro deles – Cenário I –, os custos de transporte não são considerados como variável relevante na otimização da lucratividade total da cadeia. No segundo –Cenário J –, consideram-se os custos de transporte na função de lucratividade total da cadeia.

3.4.2.9 Cenário I

O Cenário I é construído para representar uma situação de conflito na cadeia de suprimentos, sem considerar os custos de transporte na função de lucratividade total. Essa situação de conflito é representada pelas equações (96) à (101).s Além dos conflitos considerados, o varejista ocupa uma situação de domínio, conforme as hipóteses consideradas no Cenário F. Todos os níveis da cadeia atuam de modo a atingir objetivos específicos, que são otimizados em conjunto com a lucratividade total da cadeia, dada pela equação a seguir.

$$\begin{aligned} \text{Max } LT_C(t) = & \sum_{t=1}^{12} (1 + M_V) * V_V(t+1) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_V * (E_V(t) + E_V(t+1))) \\ & - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_D * (E_D(t) + E_D(t+1))) - \sum_{t=1}^{12} (0.5 * \varphi_A * (E_A(t) + E_A(t+1))) \end{aligned} \quad (95)$$

Os objetivos específicos dos demais níveis são representados pelas equações a seguir.

$$\text{MIN } \sum_{t=1}^{12} PA_V(t+1) \quad (96)$$

$$\text{MAX } \sum_{t=1}^{12} (1 + M_V) * V_V(t+1) - (0.5 * \varphi_D * (E_V(t) + E_V(t+1)) - \sum_{j=1}^2 A(j,t) CC_V(j,t)) \quad (97)$$

$$\text{MAX } \sum_{t=1}^{12} (1 + M_D) * V_D(t+1) - (0.5 * j_D * (E_D(t) + E_D(t+1)) - \sum_{j=1}^2 B(j,t) CC_D(j,t)) \quad (98)$$

$$\text{MAX } \sum_{t=1}^{12} (1 + M_A) * V_D(t+1) - (0.5 * j_A * (E_A(t) + E_A(t+1)) - \sum_{j=1}^2 C(j,t) CC_A(j,t)) \quad (99)$$

$$\text{MIN } \sum_{t=1}^{12} E_D(t+1) \quad (100)$$

$$\text{MIN } \sum_{t=1}^{12} \sqrt{((V_V(t+1) - D_C(t))^2)} \quad (101)$$

A equação (96) é especificada para atender um dos objetivos do varejista; a minimização dos pedidos acumulados. As equações (97), (98) e (99) são especificadas para atender os objetivos dos níveis varejista, distribuidor e atacadista que tem como ponto de vista que um melhor desempenho para a cadeia de suprimentos é obtido com a otimização dos lucros individuais. A equação (98), é considerada para atender o objetivo do distribuidor; minimizar seu nível total de estoque. Por último, a equação (98) é especificada para otimizar o hiato de satisfação do consumidor final.

O Cenário I resulta de uma otimização realizada em um tempo aproximado de 7 segundos, com 3311 iterações e um *gap* relativo igual a 0,009. Os resultados gerais deste cenário encontram-se no APÊNDICE Q.

Este cenário apresenta uma lucratividade igual a R\$ 921.743,00 cuja evolução dinâmica é representada na Figura 68.

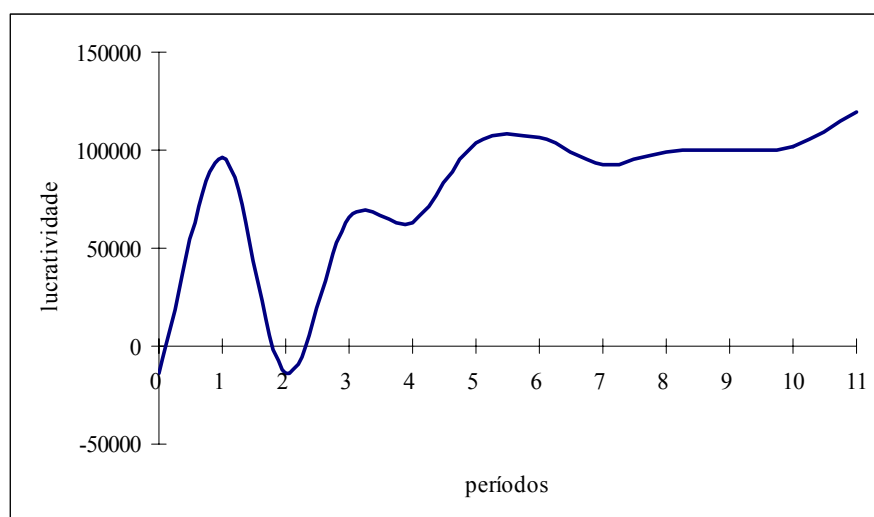


Figura 68 Cenário I: Lucratividade total da cadeia

Para atingir esta lucratividade, os controladores da política de pedidos do atacadista, distribuidor e varejista, são iguais a 1,44, 1,28 e 1,35, respectivamente. Com esses controladores, a posição de estoque desejada pelos níveis atacadista, distribuidor e varejista

são, respectivamente, iguais a 11 %, 36 % e 53 % do total da posição de estoque desejada na cadeia. A Figura 69 apresenta a evolução dinâmica da posição de estoque desejada pelos níveis da cadeia.

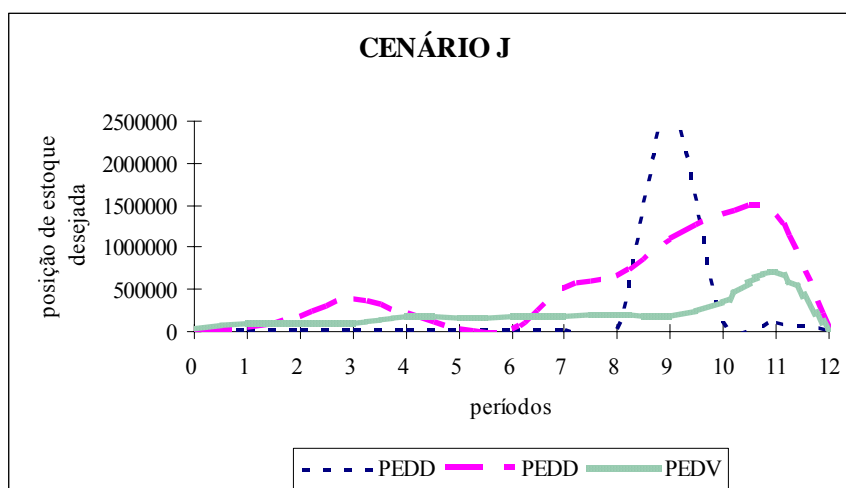


Figura 69 Cenário I: Posição de estoque desejada

O custo total da cadeia é igual a R\$ 181.684,00, cujas participações relativas dos custos do atacadista, distribuidor e varejista no custo total da cadeia são iguais a 25 %, 53 % e 22 %, respectivamente. O custo total de transporte da cadeia é igual a R\$ 96.723,00, representando 53 % do custo total da cadeia. As participações relativas dos custos de transporte dos níveis atacadista, distribuidor e varejista, são iguais a 29 %, 67 % e 4 %, respectivamente. Essas participações representam 16 %, 36 5% e 2 %. A Figura 70 apresenta a evolução dinâmica dos custos de transporte de cada participante da cadeia.

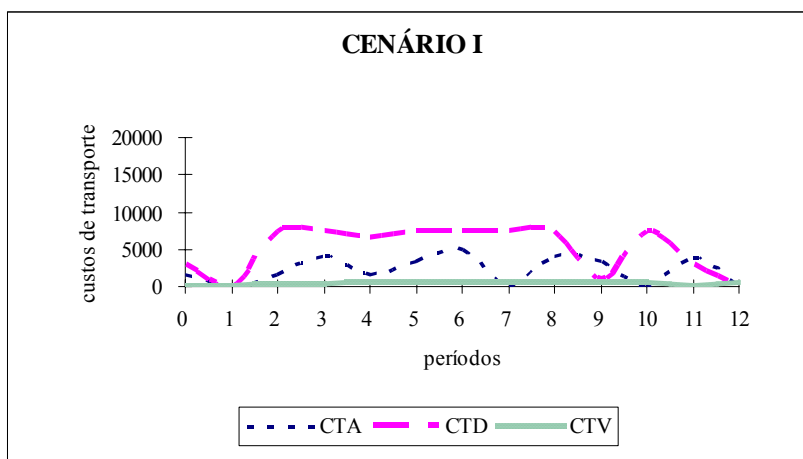


Figura 70 Cenário I: Custos de transporte

O estoque total da cadeia é igual a 4.025.805 , cujas participações relativas dos níveis atacadista, distribuidor e varejista foram iguais a 49 %, 27 % e 24 %, respectivamente. A Figura 71 apresenta a evolução nos níveis de estoque dos participantes da cadeia.

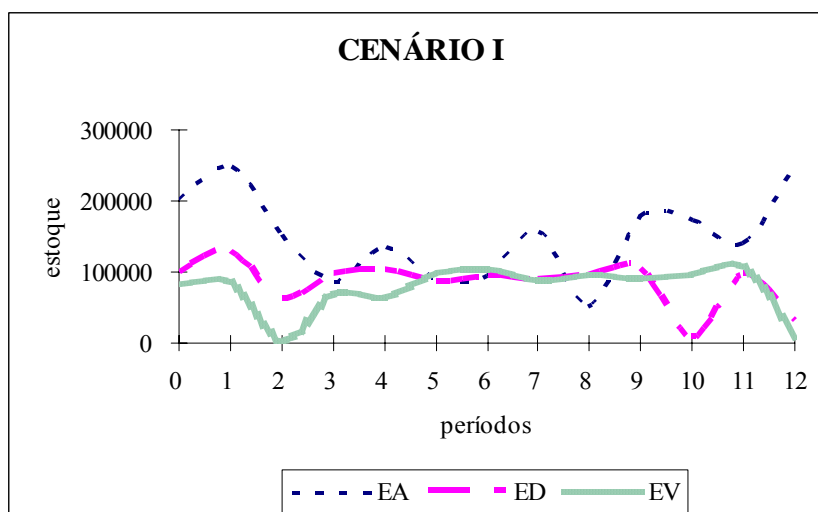


Figura 71 Cenário I: Nível de estoque

O nível total da posição do estoque na cadeia é igual a 1.395.086 kg. O atacadista apresenta uma posição de estoque negativa, correspondendo a -13 % da posição total do estoque da cadeia. As participações relativas da posição de estoque dos níveis distribuidor e varejista são, respectivamente, iguais a 36 % e 76 %.

O total de vendas na cadeia é igual a 2.677.233 kg, cujas participações relativas no total das vendas da cadeia são iguais a 31 %, 34 % e 35 %, para os níveis atacadista, distribuidor e varejista, respectivamente.

O total de pedidos acumulados na cadeia é igual a 3.758.275 kg, cujas participações relativas dos níveis atacadista, distribuidor e varejista, sobre esse total correspondem a 9 %, 61 % e 30 %. O efeito chicote da cadeia é igual a 2,39 e o hiato de satisfação do consumidor final é igual a 25,44 %.

3.4.2.10 Cenário J.

O Cenário J é especificado a partir das hipóteses assumidas na especificação do Cenário I. Contudo, neste cenário, os custos de transporte são considerados como variável relevante para a otimização do desempenho global da cadeia.

O Cenário J resulta da otimização realizada em um tempo de aproximadamente 5 segundos, com 552 iterações e um *gap* relativo nulo. Os resultados gerais deste cenário encontram-se no APÊNDICE R.

Comparando-se os resultados dos cenários I e J, a lucratividade total da cadeia diminui em aproximadamente 56 %. Os lucros dos níveis varejista, distribuidor e atacadista diminuem em 62,70 %, 74,90 % e 23,67 %, respectivamente. Pode-se verificar que em uma situação de objetivos conflituos todos os níveis da cadeia enfrentam uma situação de perda de lucros, em relação ao Cenário I.

O padrão de evolução da lucratividade da cadeia nos Cenários I e J está representado pela Figura 72.

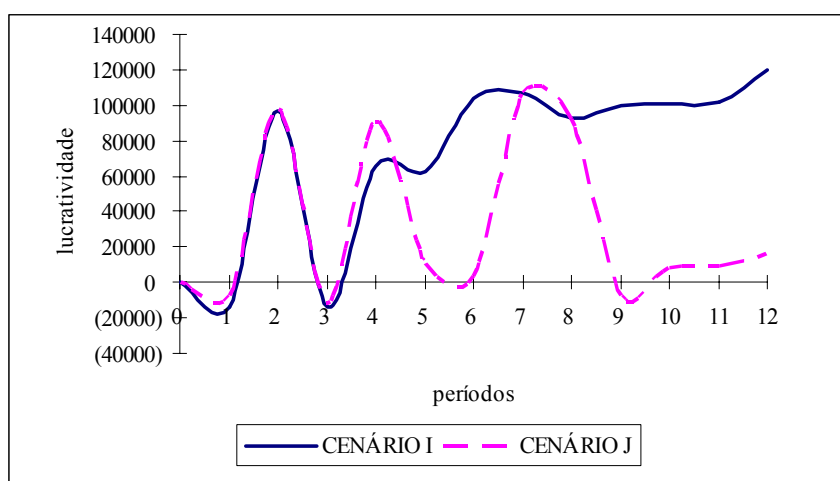


Figura 72 Cenários I e J: Lucratividade total da cadeia

Neste cenário de objetivos conflituosos observam-se mudanças significativas nos níveis totais das variáveis, apresentadas na Tabela 30. As variações nos níveis das variáveis parciais são apresentadas na Tabela 32.

TPED _C	229,20%
LT _C	-55,76%
CT _C	-28,05%
CTT _C	11,53%
E _T	-48,03%
TPE _C	-154,84%
TPR _C	106,12%
TPP _C	217,17%
TV _C	-46,20%
TPA _C	320,46%

Tabela 30 Cenários I e J: Variação relativa das variáveis totais

PEDA	689,98%	PEV	-90,76%	PAD	170,43%
PEDD	377,46%	PRP	-50,98%	PAV	150,27%
PEDV	28,72%	PRA	192,00%	CA	4,51%
CTA	35,00%	PRD	153,39%	CD	-36,42%
CTD	2,84%	PPA	643,02%	CV	-44,84%
CTV	-14,06%	PPD	-100,00%	LV	-62,70%
EA	-46,34%	PPV	-88,43%	LD	-74,90%
ED	-53,14%	VA	-31,25%	LA	-23,66%
EV	-45,65%	VD	-57,68%	HS	26,36%
PEA	417,42%	VV	-48,46%	EC	1,30
PED	-89,89%	PAA	1839,31%		

Tabela 31 Cenários I e J: Variação relativa das variáveis parciais

Comparando-se os Cenários I e J, verifica-se que não existem trocas compensatórias entre as variáveis totais. Em todos os níveis da cadeia, o estoque diminui, o nível de serviço piora e a lucratividade diminui. Contudo, observa-se nitidamente uma troca compensatória entre custos de transporte e lucratividade. Em todos os níveis, apesar de o estoque diminuir, os custos de transporte aumentam, indicando uma troca compensatória entre lucratividade e custos de transporte.

Observa-se uma grande diferença entre a posição de estoque desejada, ou seja, entre as políticas de pedidos. No Cenário J, essa variável aumenta em 229 %, em relação ao Cenário I, conforme pode-se observar pela Figura 73.

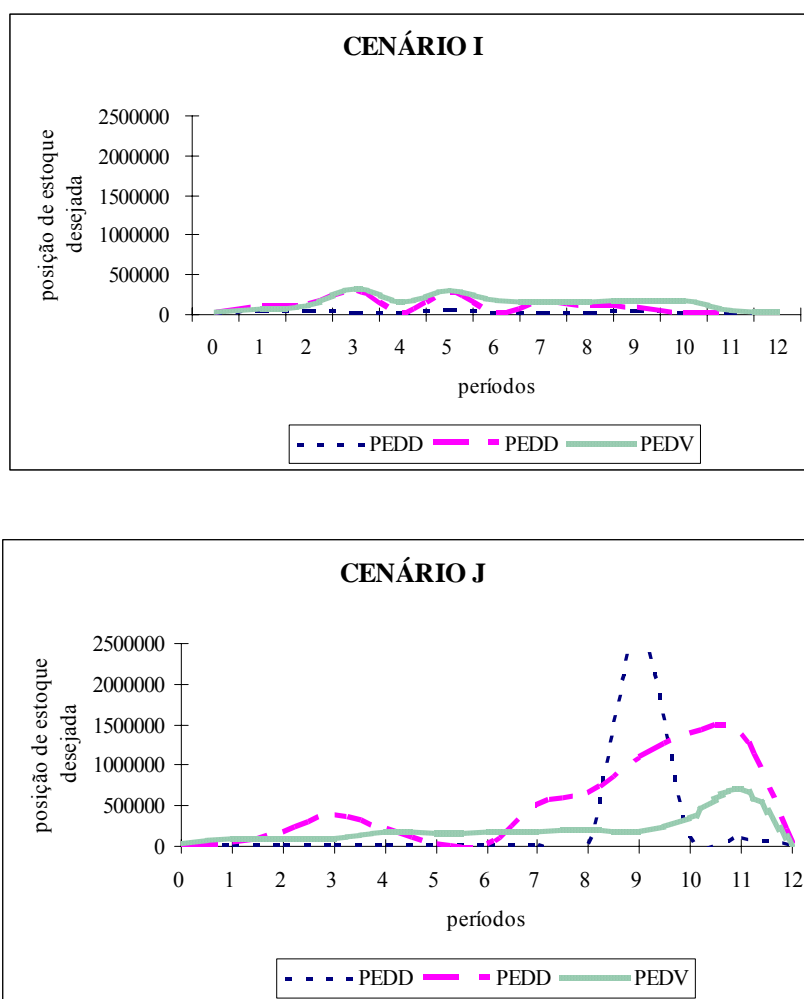


Figura 73 Cenários I e J: Posição de estoque desejada

Os custos de transporte diminuem em 28,05 %, sendo o maior decréscimo apresentado pelo nível varejista, enquanto o custo de transporte do nível atacadista aumenta em 35 %. A Figura 74 apresenta a evolução dos custos de transporte de cada nível da cadeia nos dois cenários.

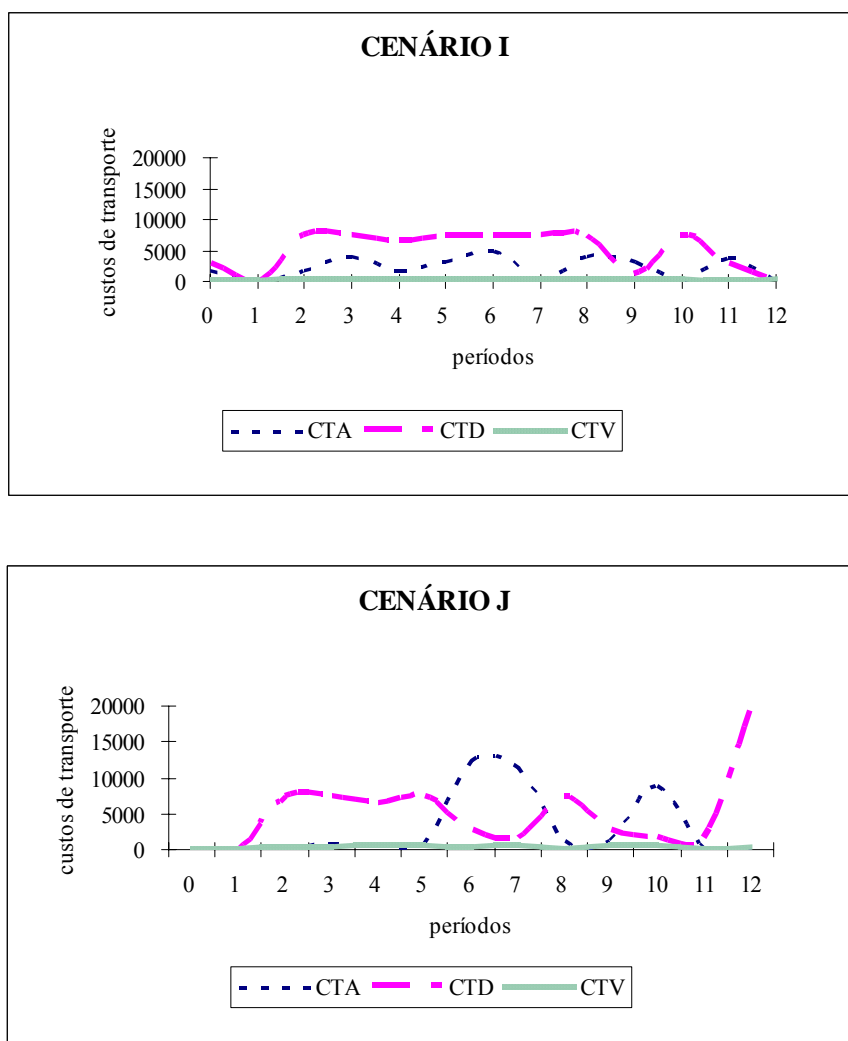


Figura 74 Cenários I e J: Custos de transporte

Apesar de os custos de transporte diminuïrem, o custo total da cadeia aumenta em 11,53 %. É importante ressaltar que, enquanto os custos de transporte do distribuidor aumentam em 2,84 %, o seu custo total diminui em 36,42 %, indicando uma queda nos custos de armazenagem deste nível.

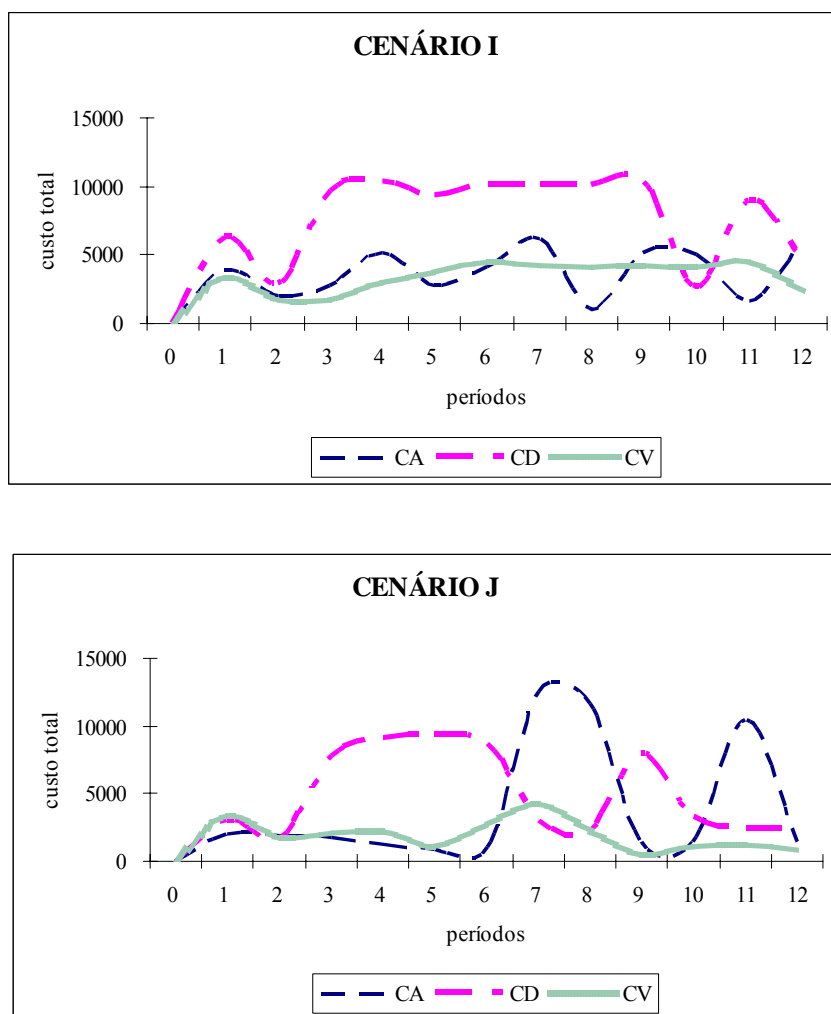


Figura 75 Cenários I e J: Custo total

É importante salientar que com uma situação de conflito de objetivos, o total de pedidos realizados na cadeia aumenta em 106,12 %. O distribuidor é o nível da cadeia que apresenta maior acréscimo nos pedidos colocados (192 %). Essa dinâmica de pedidos é apresentada pela Figura 76.

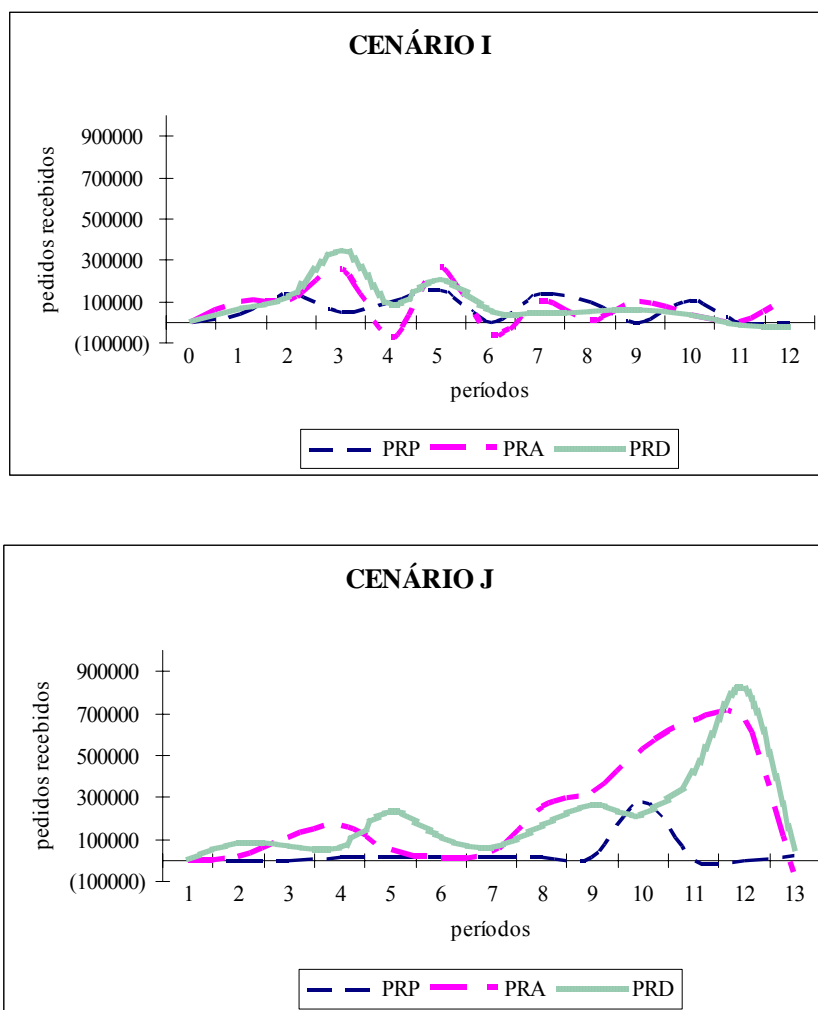


Figura 76 Cenários I e J: Pedidos recebidos pelos níveis

Tanto o total de vendas da cadeia, juntamente com o nível de estoque apresentam níveis menores do que os apresentados no Cenário I – as vendas diminuem em 46,20 % e o nível de estoque em 48,03 %. A Figura 77 apresenta a evolução dinâmica das vendas em cada nível da cadeia. A Figura 78 apresenta a evolução dinâmica do estoque em cada nível da cadeia.

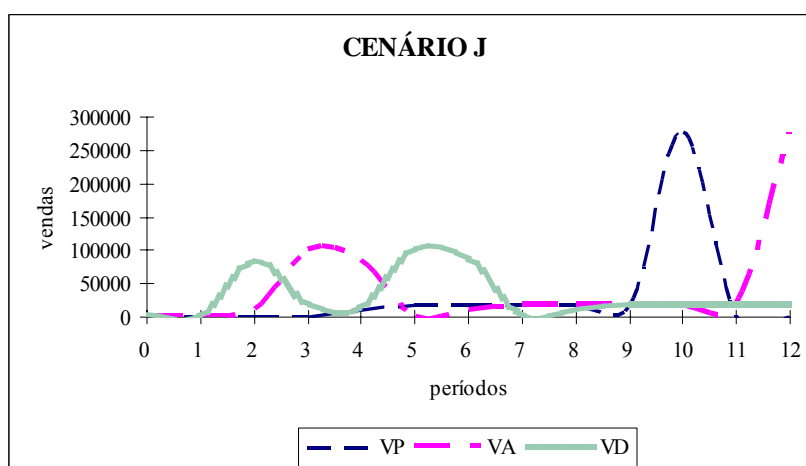
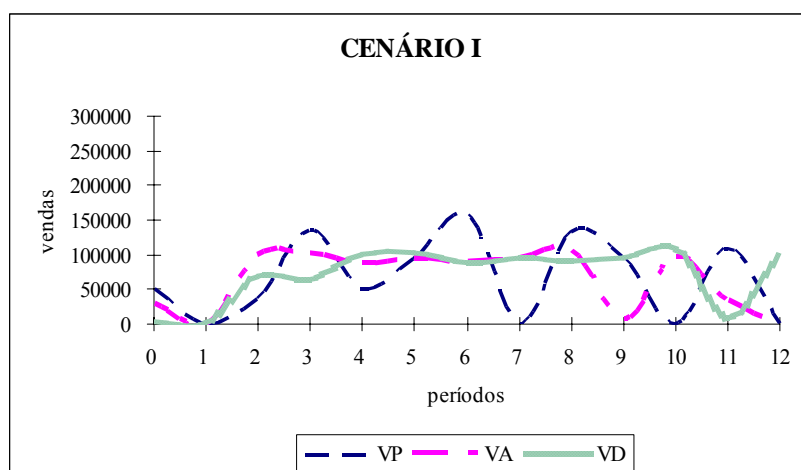


Figura 77 Cenários I e J: Vendas efetuadas pelos níveis

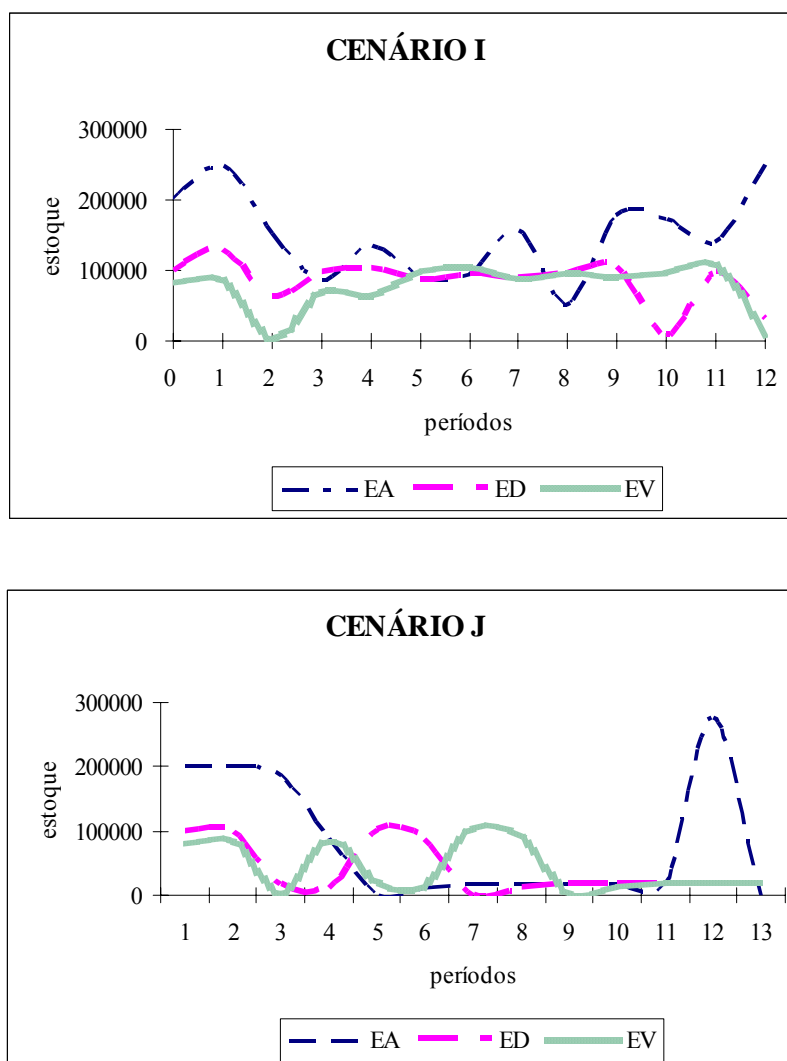


Figura 78 Cenários I e J: Nível de estoque

No cenário J, a posição de estoque da cadeia diminui em 154,84 %. Nos níveis distribuidor e varejista, essa variável decresce em aproximadamente 90 %, enquanto no nível atacadista apresenta um acréscimo de 417,42 %.

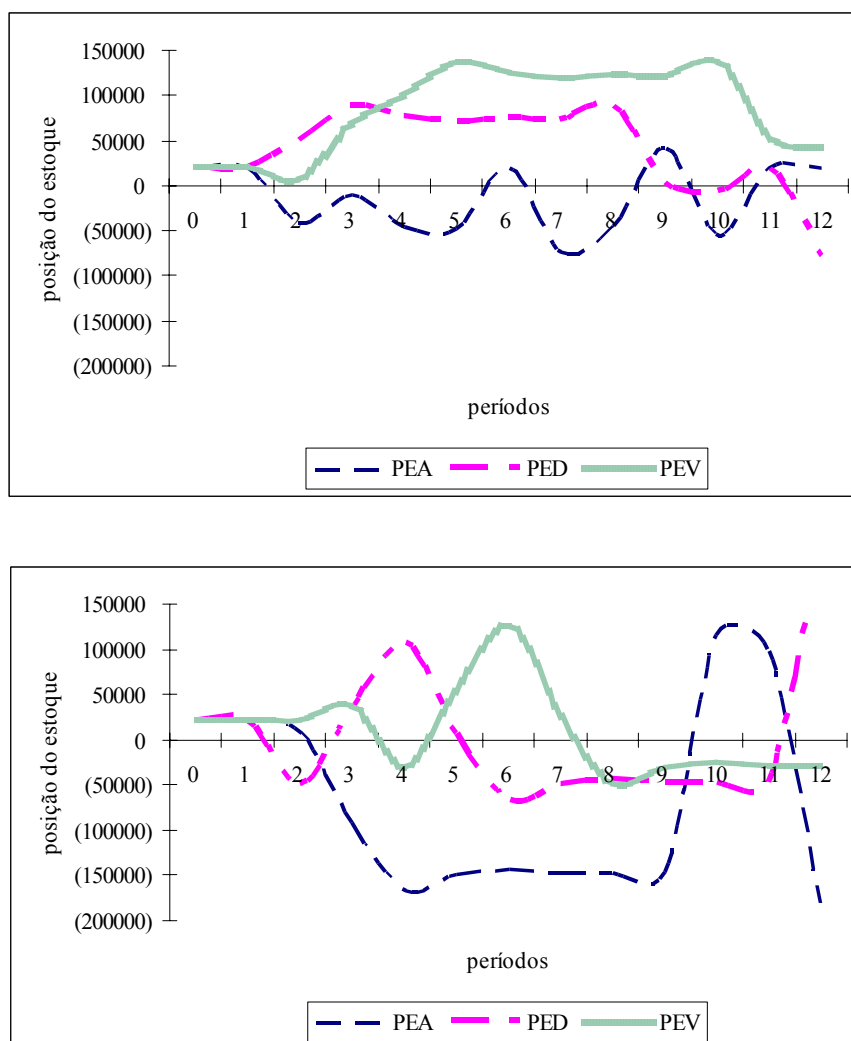


Figura 79 Cenários I e J: Posição de estoque nos níveis

O nível de serviço da cadeia apresenta uma piora significativa; os pedidos acumulados aumentam em aproximadamente 300 %, em relação ao Cenário I. O distribuidor apresenta um decréscimo de 100 %, o varejista de 88,43 %, enquanto o atacadista apresenta um acréscimo de aproximadamente 643 %.

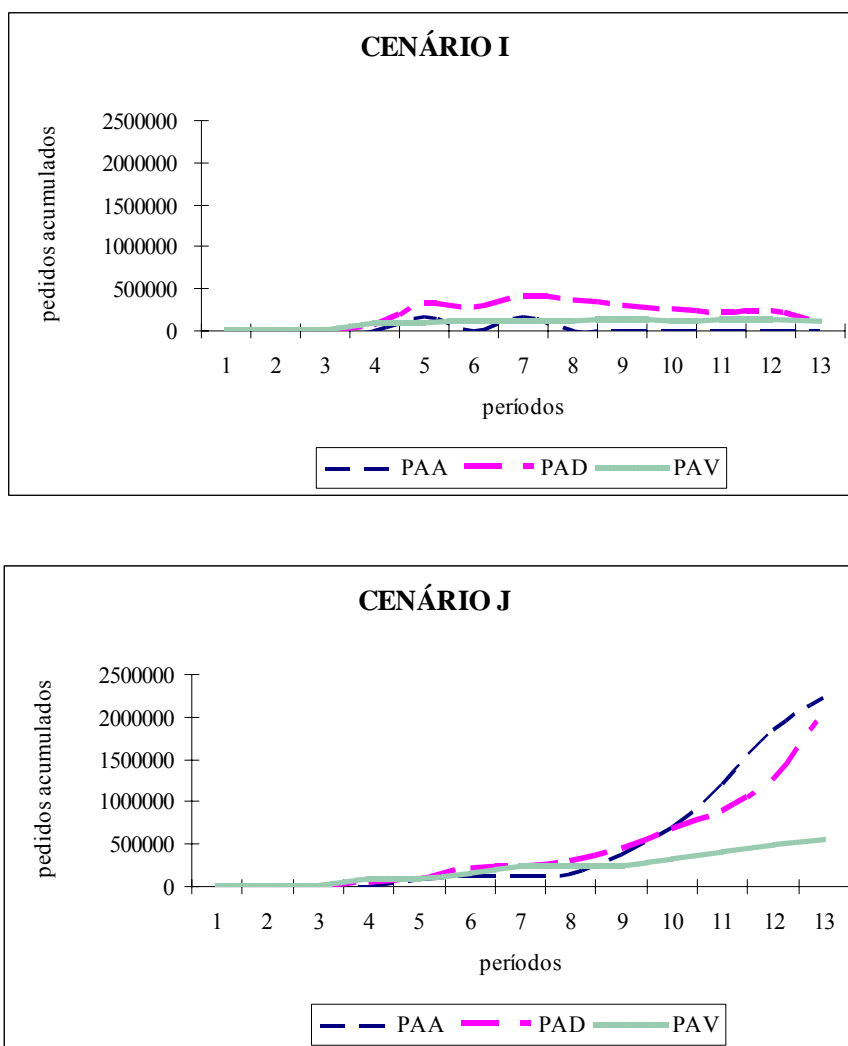


Figura 80 Cenários I e J: Nível de serviço

É importante ressaltar que as maiores variações na dinâmica da cadeia de suprimentos foram observadas a partir da comparação destes dois cenários. Isso significa que o fato de se considerar ou não os custos de transporte na otimização do desempenho global da cadeia pode alterar significativamente os resultados do sistema de apoio à decisão, em um processo de planejamento conjunto e colaborativo da cadeia de suprimentos.

A Tabela 32 apresenta a participação relativa das variáveis parciais no correspondente total.

	CENÁRIO I	CENÁRIO J
CTA	29,14%	35,28%
CTD	66,78%	61,58%
CTV	4,07%	3,14%
EA	48,58%	50,16%
ED	27,33%	24,64%
EV	24,10%	25,20%
PEA	-12,67%	119,56%
PED	36,38%	-6,71%
PEV	76,29%	-12,86%
PAA	8,87%	43,12%
PAD	62,98%	39,23%
PAV	28,15%	17,65%
VA	31,28%	39,97%
VD	33,88%	26,65%
VV	34,84%	33,38%
CA	25,04%	36,38%
CD	52,62%	46,50%
CV	22,34%	17,13%
LV	38,86%	32,76%
LD	33,05%	18,76%
LA	28,09%	48,48%

Tabela 32 Cenários I e J: Participação relativa das variáveis parciais

Pode-se observar uma alteração significativa na posição do estoque do nível atacadista; no Cenário I, essa participação é de -12,67 %, enquanto no cenário J passa para cerca de 119 %.

Com relação aos coeficientes de correlação com a lucratividade total da cadeia, chama atenção o fato de o estoque do distribuidor apresentar um coeficiente de correlação igual a -0,52 no Cenário I; no Cenário J, esse mesmo coeficiente passa para -0,09. De modo análogo, no cenário I, o coeficiente de correlação do total da posição de pedido da cadeia é igual a 0,22. No cenário J, esse mesmo coeficiente apresenta uma troca de intensidade e de sentido, passa para -0,18. As medidas descritivas destes dois cenários são apresentadas no APÊNDICE S

Efeito chicote do Cenário J é menor do que o do Cenário I. A Figura 81 apresenta a taxa entre pedidos realizados e vendas efetuadas na cadeia.

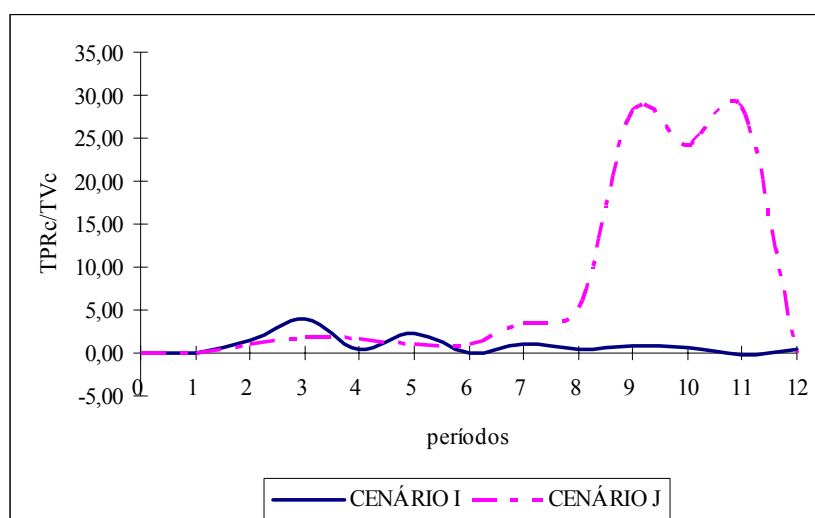


Figura 81 Cenários I e J: Taxa entre pedidos recebidos e vendas efetuadas

Nos dois cenários, o nível que apresenta maior efeito chicote é o distribuidor, conforme Figura 82.

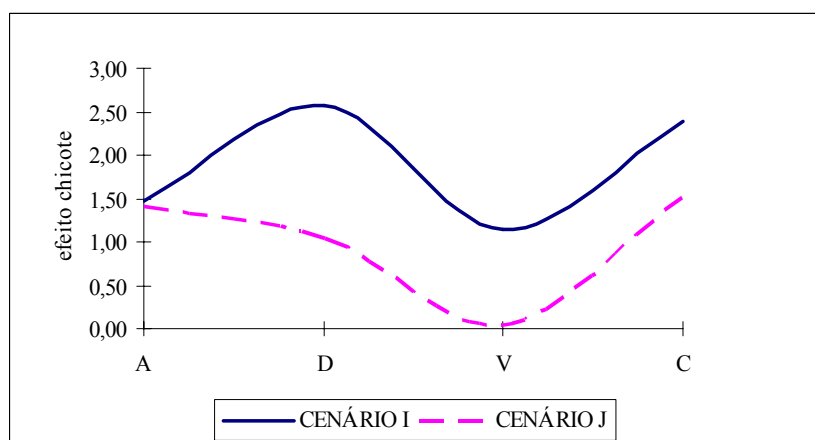


Figura 82 Cenários I e J: Efeito chicote

O hiato de satisfação do cliente final aumentou significativamente. Passou de 25 % para 64%. A Figura 83 apresenta o hiato de satisfação nos dois cenários.

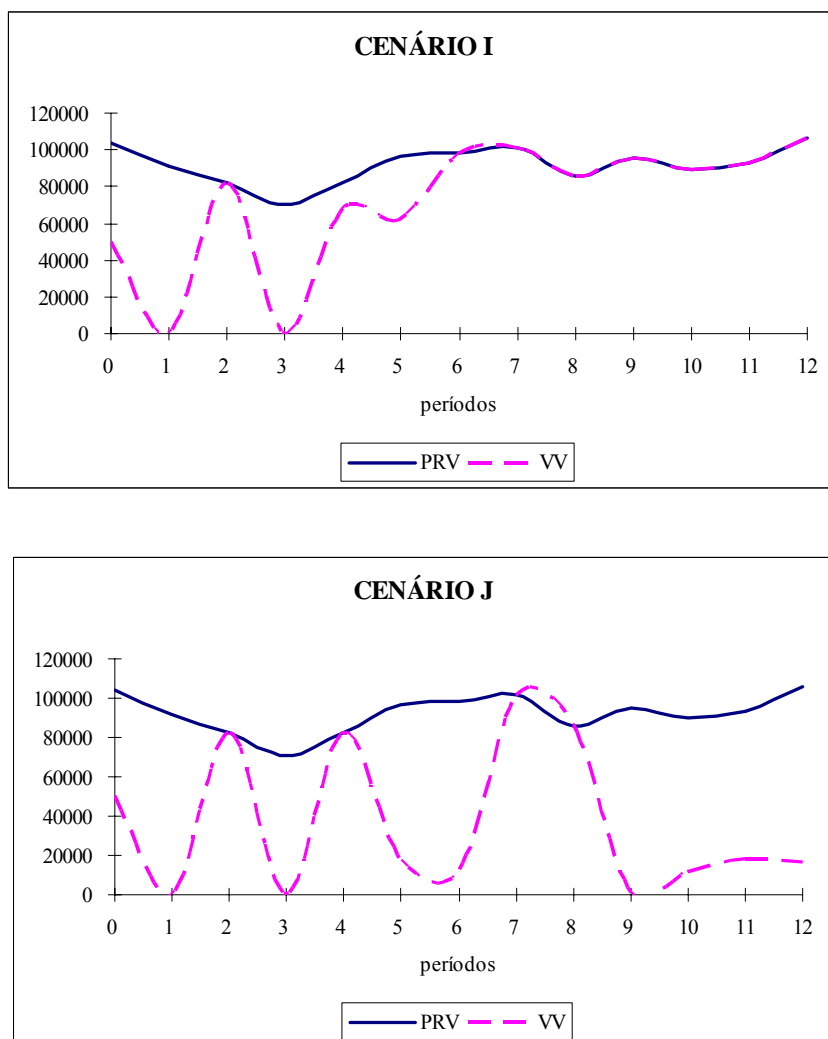


Figura 83 Cenários I e J: Hiato de satisfação do consumidor final

A comparação destes dois cenários é importante para o estudo, uma vez que mostram a consideração de múltiplos objetivos conflitantes no planejamento colaborativo da cadeia de suprimentos. São cenários que mostram que, o fato de se considerar ou não os custos de transporte na função representativa do critério de desempenho da cadeia, pode alterar a evolução dinâmica da cadeia. Isso significa que, em um processo de tomada de decisão e planejamento os custos de transporte devem ser considerados como variável relevante para o desempenho da cadeia. O APÊNDICE S apresenta as medidas descritivas dos cenários I e J. No APÊNDICE U apresenta-se as variações relativas observadas nas quatro etapas de avaliação de cenários.

3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na seção anterior foram simulados vários cenários de planejamento conjunto e colaborativo na cadeia de suprimentos, de modo a atender os objetivos propostos nesta pesquisa. A análise dos cenários foi realizada em três etapas. Na primeira etapa, foram comparados os resultados do Cenário A – sem custos de transporte na função de lucratividade – com Cenário B – com custos de transporte na função de lucratividade total da cadeia.

Na segunda etapa, foram comparados os Cenários derivados do Cenário B. Ou seja foram feitas as comparações entre diferentes cenários que consideram os custos de transporte na função de lucratividade, mas que diferenciam-se pelo fato de se incluir diferentes funções-objetivo para serem otimizadas simultaneamente.

Na terceira etapa foram realizadas as comparações dos resultados obtidos com a inclusão de um *lead time* variável para cada nível da cadeia. Nesta etapa, a comparação foi realizada entre os Cenários A e F e entre os Cenários B e G. Ou seja, foram comparados os resultados obtidos com a otimização multiobjetivo entre os cenários que diferem apenas pela inclusão do *lead time* variável.

Na quarta etapa as comparações foram realizadas considerando os cenários com objetivos conflitantes– Cenários I e J. No Cenário I os custos de transporte não são considerados na função de lucratividade; no Cenário J esses custos são considerados na função de lucratividade total.

Os resultados obtidos com as simulações dos diferentes cenários indicam que a modelagem multiobjetivo pode ser útil para a avaliação do comportamento dinâmico de uma

cadeia de suprimentos, uma vez que oferecem condições de se quantificar as variações relativas no que tange às trocas compensatórias, ao efeito chicote e ao hiato de satisfação do consumidor final, tanto em relação á cadeia como um todo, como em relação a cada nível individualmente. O APÊNDICE T apresenta as variações relativas obtidas com a comparação de todos os cenários. O APÊNDICE U apresenta para todos os cenários os coeficientes de correlação das variáveis com a lucratividade total da cadeia.

Conforme anteriormente mencionado, uma das trocas compensatórias mais abordada na literatura refere-se aos níveis de serviço, estoque e lucratividade. A necessidade de oferecer níveis de serviço competitivos pode levar uma organização a trabalhar com níveis de estoque mais altos e, conseqüentemente, com custos mais altos. Quanto maior forem os custos, menores serão as margens de lucro da organização (CHOPRA, 2003; SIMCHI-LEVI,2003).

Os resultados obtidos com a modelagem de controle ótimo multiobjetivo revelam que as conhecidas trocas compensatórias entre estoque, nível de serviço e lucratividade podem, ou não ocorrer, ou se manifestarem de modo diferente do relatado na bibliografia especializada.

Em muitos cenários, observou-se que as trocas compensatórias apresentadas pelas variáveis totais não se manifestam nos diferentes níveis da cadeia. Em alguns cenários, como nos cenários C e D, verificou-se que a cadeia de suprimentos apresenta uma troca compensatória entre nível de serviço e lucratividade. Contudo, analisando-se as trocas compensatórias em cada um dos níveis da cadeia, observa-se que o nível varejista não apresenta o mesmo tipo de troca compensatória apresentada pela cadeia. Mas chama atenção o fato de neste nível, o estoque aumentar, o nível de serviço melhorar, a lucratividade aumentar e apenas os custos de transporte diminuir. É um caso interessante, pois se observou que, na modelagem de controle multiobjetivo, com a consideração dos custos de

transporte na lucratividade da cadeia, tem-se uma combinação de valores que descaracterizam as trocas compensatórias tradicionalmente citadas na bibliografia. Em muitos cenários, o custo de transporte diminui, o estoque aumenta, o nível de serviço melhora e a lucratividade aumenta. Muito provavelmente, este tipo de resultado não seria observado através das técnicas de otimização monoobjetivo.

Em outros cenários, como é o caso dos resultados apresentados pelos Cenários B e E, nenhum dos níveis da cadeia reproduz o padrão de trocas compensatórias observado nas variáveis totais da cadeia de suprimentos. Esse tipo de resultado revela-se importante, uma vez que indica que, em um processo de planejamento conjunto e colaborativo, as trocas compensatórias apresentadas pelas variáveis totais da cadeia não são as mesmas apresentadas pelos níveis participantes do planejamento.

Isso sugere que as tomadas de decisão na cadeia de suprimentos, em um processo de planejamento conjunto e colaborativo, não podem ser realizadas apenas com base nas conhecidas trocas compensatórias, geralmente apresentadas pelas empresas ou organizações individuais, quando os resultados são obtidos por meio da otimização monoobjetivo. Isso porque, em um processo de planejamento conjunto e colaborativo, essas trocas são diferentes de nível para nível. Desse modo, as trocas compensatórias precisam ser obtidas por meio de um sistema único e analisadas em separado para após serem reavaliadas e, se possível, renegociadas e eliminadas.

A comparação dos Cenários B e C fornece resultados interessantes. No Cenário B, a apenas a função representativa da lucratividade total da cadeia é otimizada. No Cenário C, além da função de lucratividade, é incluída a maximização das vendas do varejista. Observou-se que, com a inclusão da maximização das vendas do varejista, todos os níveis da cadeia tiveram acréscimos em seus lucros, o hiato de satisfação diminuiu significativamente, e o

efeito chicote permaneceu aproximadamente o mesmo. Ou seja, neste cenário todos os níveis da cadeia estão inseridos em uma situação ganha-ganha.

Um resultado interessante refere-se aos Cenários I e J, que foram utilizados na avaliação do desempenho da cadeia de suprimentos, quando múltiplos objetivos conflitantes são considerados. A comparação desses dois cenários indica que existem situações nas quais não se observam trocas compensatórias entre estoque, nível de serviço e lucratividade. Tanto nas variáveis totais, como em cada um dos níveis da cadeia, essas trocas não foram observadas. Contudo, tanto nas variáveis totais, como nos níveis atacadista e distribuidor observou-se que existe uma troca compensatória entre custo de transporte e lucratividade. Ou seja, apesar de o estoque diminuir o custo de transporte aumenta. Esse tipo de resultado indica que o custo de transporte, quando inserido na lucratividade da cadeia, influencia fortemente política de pedidos e, conseqüentemente os estoques e nível de serviço.

Com relação ao efeito chicote e ao hiato de satisfação do consumidor final, observou-se que o maior acréscimo apresentado no efeito chicote foi comparando-se os Cenários G – cenário especificado sem considerar os custos de transporte na função de lucratividade – e o Cenário H – especificado para otimizar a lucratividade da cadeia considerando os custos de transporte. Os resultados comparativos destes dois cenários mostram que, com a inclusão dos custos de transporte, o efeito chicote da cadeia aumenta em aproximadamente 43 % e o hiato de satisfação aumenta significativamente, em torno de 80 %. Este resultado indica que a inclusão dos custos de transporte, sem considerar múltiplos objetivos, pode indicar resultados não muito realistas. Isso porque, sabe-se que os demais níveis também tomam suas decisões considerando os custos de transporte.

Merece consideração o fato de os resultados obtidos com a comparação dos Cenários B e H indicarem que o *lead time* variável, quando incluído no modelo com o objetivo de

influenciar a posição dos pedidos da cadeia, não contribui com o acréscimo do efeito chicote. De fato, do Cenário B para o Cenário H, o efeito chicote diminui em cerca de 90 %. Mais interessante ainda é o fato de que, embora o efeito chicote diminua significativamente, o hiato de satisfação piorou em cerca de 32 %. Ou seja, nem sempre o efeito chicote é o responsável pela diminuição do nível de serviço da cadeia. Ou seja, em um processo de planejamento conjunto e colaborativo, no qual as previsões de *lead time* são compartilhadas entre os níveis da cadeia, o efeito chicote pode diminuir. Mas isso não impede de aumentar o hiato de satisfação do cliente final.

Ainda com relação ao efeito chicote, comparando-se os cenários onde múltiplos objetivos conflitantes foram considerados, Cenários I e J, observou-se que o efeito chicote diminui em aproximadamente 38 %, quando os custos de transporte são considerados na função de lucratividade. Contudo, apesar de diminuir o efeito chicote, o hiato de satisfação aumenta muito, cerca de 152 %.

Embora a solução de modelos de otimização obtida pelo método de *branch-and-bound* não garanta a obtenção de um ótimo global²⁵, convém ressaltar que o *software* utilizado – revelou-se bastante satisfatório para a solução de modelos multiobjetivos, uma vez que o *gap* relativo obtido em cada cenário, ou foi nulo ou muito pequeno. Assim, o modelo desenvolvido está preparado para possibilitar a inclusão de complexidades adicionais referentes à dinâmica da cadeia de suprimentos.

Essas complexidades envolvem desde um maior número de funções-objetivo até novas hipóteses restritivas sobre o comportamento de cada nível da cadeia.

²⁵ O processo de solução pelo método de *branch-and-bound* utilizado pelo GAMS pára quando atinge um limite de iterações ou quando a melhor solução encontrada está a menos de determinado percentual do ótimo global o que é denominado *gap* relativo.

Para finalizar, acredita-se que para a avaliação das trocas compensatórias, do efeito chicote do nível de serviço ao cliente, em cada nível da cadeia e da cadeia como um todo, a otimização multiobjetivo é mais adequada do que a otimização monoobjetivo.

CAPÍTULO 4. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Neste trabalho pesquisa foi proposto um modelo de controle ótimo multiobjetivo para servir de apoio à tomada de decisão no planejamento conjunto e colaborativo de uma cadeia de suprimentos. A modelagem proposta foi construída através da reunião de duas técnicas de modelagem: controle e otimização multiobjetivo.

A consideração simultânea dessas duas técnicas de modelagem revelou-se com reais possibilidades para auxiliar os responsáveis pelas tomadas de decisão em uma cadeia de suprimentos a planejarem suas políticas de atuação, na direção dos objetivos estrategicamente estabelecidos, ao mesmo tempo em que fornece informações relevantes sobre a evolução dinâmica da cadeia de suprimentos. Essas informações referem-se às trocas compensatórias, ao efeito chicote, ao nível de serviço e ao hiato de satisfação do consumidor final.

O resultado mais relevante do trabalho refere-se à constatação de que a evolução dinâmica da cadeia de suprimentos é bastante alterada quando os custos de transporte são considerados como variável relevante na otimização do desempenho global da cadeia. Isso porque, em muitos cenários nos quais não se observam trocas compensatórias entre nível de serviço, estoque e lucratividade, observou-se que, na maioria dos casos, existe a troca compensatória entre lucratividade e custo de transporte.

Os resultados indicam que o *lead time* variável, quando incluído no modelo com o objetivo de influenciar a posição dos pedidos da cadeia, não contribui com o acréscimo do efeito chicote. Contudo, pode contribuir com o aumento do hiato de satisfação do consumidor final. Ou seja, nem sempre o efeito chicote é o responsável pela diminuição do nível de serviço da cadeia.

O modelo de controle ótimo multiobjetivo desenvolvido nesta dissertação mostrou-se promissor para o avanço da pesquisa sobre a importância dos custos de transportes para o gerenciamento integrado da cadeia de suprimentos.

O modelo desenvolvido está preparado para possibilitar a inclusão de complexidades adicionais referentes à dinâmica da cadeia e das variáveis consideradas. Entre essas possibilidades, pode-se citar, por exemplo, a aleatoriedade da demanda, variação de preços e/ou de custos, durante o período de planejamento. Isso permite avaliar o desempenho da cadeia de suprimentos frente às perturbações externas, ao longo do horizonte de planejamento. Além disso, o modelo foi especificado de forma a permitir que, no processo de decisão, possam ser considerados vários critérios para otimização, representando os interesses dos participantes no processo, inclusive dos transportadores.

Existem algumas limitações neste tipo de modelagem que precisam ser referenciadas. Uma das limitações refere-se às hipóteses consideradas na representação da cadeia de suprimentos. Pode-se assumir, por exemplo, hipóteses mais restritivas com relação aos níveis de estoque. Diferentes hipóteses restritivas sobre o estoque total ou sobre o estoque de cada nível da cadeia podem ser realizadas. Pode-se supor, por exemplo, que o estoque em cada nível é limitado pela capacidade de armazenagem e, assim, planejar uma estratégia de pedidos, em conformidade com essa restrição.

Uma outra hipótese que pode ser considerada é a de uma cadeia de suprimentos com mais de um produto. Conforme Lin et al. (2004), se o processamento dos pedidos e o envio de diferentes produtos não estiverem correlacionados, cada produto poderá ser tratado como uma cadeia de suprimentos em separado.

Com relação à aplicação empírica desse sistema de apoio à decisão, duas considerações são oportunas. A primeira refere-se à necessidade de se obter no mundo real

uma cadeia na qual produtores, atacadistas, distribuidores e varejistas estejam dispostos a participar de um processo de planejamento conjunto e colaborativo.

Nesse caso, todos precisam estar dispostos a compartilhar suas informações e a realizar, em conjunto, as previsões de demanda final. Mais ainda, os responsáveis pelas tomadas de decisão precisam estar dispostos a dialogar, de modo a combinar qual critério de avaliação de desempenho será utilizado. Eles podem sugerir que, no lugar de um índice de lucratividade, seja considerada uma função critério representativa do custo total da cadeia. Uma vez que os participantes tenham atingido uma situação de consenso, é necessário entender a cadeia sob estudo, de modo a capturar as relações mais importantes para representar sua dinâmica.

Os resultados obtidos mostram que este tipo de modelagem pode ocupar o espaço destinado aos estudos de sistemas dinâmicos complexos – como é o caso do SCM –, quando se julgar necessário considerar a influência dos custos de transporte nas tomadas de decisões sobre políticas de pedidos e entregas em uma cadeia de suprimentos.

Com relação ao desenvolvimento de trabalhos futuros, e no que concerne à aplicação prática desse tipo de modelagem, sugere-se a consideração da natureza aleatória da demanda do consumidor final, por meio de um conjunto de cenários com diferentes probabilidades de ocorrência, para serem considerados como entrada do sistema. No caso de a demanda seguir uma distribuição de probabilidade específica, através da simulação de Monte Carlo, pode-se obter a versão discreta da distribuição de probabilidade da demanda e, a partir daí, obter diferentes cenários para serem analisados.

Considera-se importante para o desenvolvimento de trabalhos futuros, acrescentar na modelagem multiobjetivo a previsão por horizonte móvel, uma vez que o planejamento de empresas, ou de cadeias de suprimentos, se dá numa base móvel. Ou seja, somente uma parte

de todo o plano é colocada em prática, seguido por um re-planejamento, com informações atualizadas. Uma sugestão para esse tipo de técnica de modelagem de horizonte móvel está disponível em Perea et al. (2003). Uma revisão bibliográfica sobre o tema pode ser encontrada em Broek (2002).

Uma outra sugestão para trabalhos futuros refere-se à realização das comparações de diferentes cenários, quando parâmetros e condições iniciais sofrerem alterações. Esse tipo de trabalho forneceria a possibilidade de se analisar a sensibilidade do modelo às variações dessas magnitudes.

Além disso, considera-se relevante para o desenvolvimento de trabalhos futuros, a especificação de modelos analíticos que envolvam novos elementos capazes de oferecer um meio de repartição de lucros entre os níveis da cadeia, de modo a se ter argumentos para convencer os responsáveis pelas tomadas de decisão a permanecerem inseridos no planejamento conjunto e colaborativo da cadeia de suprimentos. Este é tema contemporaneamente importante, e ainda pouco explorado na literatura. Uma revisão sobre o tema pode ser encontrada em Stadler (2005) e Sucky (2005).

Para concluir, considera-se oportuno ressaltar a importância do desenvolvimento de modelos analíticos para o desenvolvimento do conhecimento. Isto porque, à medida que se desenvolve a capacidade de construir modelos que reproduzam adequadamente a arquitetura básica do pedaço do mundo que se quer estudar, adquire-se a capacidade de reduzir a incerteza (e, portanto, a margem de erro), nas tomadas de decisão. Dito de outra forma, quando se compreende melhor o mundo, torna-se menos dependente das circunstâncias e do imprevisto. Isso tudo porque nada pode remover a impossibilidade de se saber o futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, P. L.; AGGARWAL, V. Incorporating transport cost in the lot size and pricing decisions with downward sloping demand. **International Journal of Production Economics**, v. 95, Issue 3, p. 297-305, 2005.

ALP, O.; ERKIP, N. K.; GULLU, R. Optimal lot-sizing/vehicle-dispatching policies under stochastic *lead times* and stepwise fixed costs. **Operations Research**, v. 51, n. 1, p. 160-166, 2003.

ANGERHOFER, B. J.; ANGELIDES, M. C. System dynamics modelling in supply chain management: research review. **Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference**, p. 342-351, 2000.

ARBID, C.; MARINELLI, F. Integrating process optimization and inventory planning in cutting-stock whit skiving option: An optimization model and its application, **European Journal of Operational Research**, v. 163, p. 617-630, 2005.

AXSÄTER, S; ZHANG, W-F. A joint replenishment policy for multi-echelon inventory control. . **International Journal of production economics**, v. 59, p. 243-250, 1999.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**; tradução Hugo T. Y. Yoshigaki. – São Paulo, Atlas, 388 p., 1993.

BEN-DAYA, M.; HARIGA, M. Integrated single vendor single buyer model whit stochastic demand and variable *lead time*. **International Journal of production economics**, v. 92, p. 75-80, 2004.

BENJAMIN, J. An analysis of inventory and transportation costs with given frequencies. **Transportation Science**, v. 23, n.3, p. 177-183, 1989.

BERNHARD, J.; ANGELIDES, M.C. A model and a performance measurement system for collaborative supply chains. **Decision Support Systems**, v. [s.v], p.[s.p], 2005.

BLUMENFELD, D. E.; BURNS, L. D.; DILTZ, J. D.; DAGANZO, C. F. Analyzing trade-offs between transportation, inventory and production costs on freight networks. **Transportation Research – B: Methodological**, v. 19B, n. 5, p. 361-380, 1985.

BO, HONG. Volatility of sales, expectations errors, and inventory investment: Firm level evidence. **International Journal of Production Economics**, v. 72, p. 273-283, 2001.

BOGASCHEWSKY, R. W.; BUSCHER, U. D.; LINDNER, G. Optimizing multi-stage production whit constant lot size and varying number of unequal sized batches. **International Journal of Production Economics**, v. 29, p. 183-191, 2001.

BOYER, K.K; LEWIS, M.W. Competitive priorities: Investigating the need for trade-offs in operations strategy. **Production and Operations Management**, v.11, p. 9-20, 2002.

BROEK, W.A. Moving horizon control in a dynamic game, **Journal of Economic Dynamics & Control**, v. 26, p. 937-961, 2002.

BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A.; RAMAN, R. **GAMS – a user's guide**. Washington: GAMS Development Corporation, 276p., 1998.

BUCHANAN, J. ; GARDINER, L. A comparison of two reference point methods in multiple objective mathematical programming. **European Journal of Operational Research**, v.149, p. 17-34, 2003

CACHON, G.P., LARIVIERE, M.A. Contracting to assure Supply: How to Share Demand Forecasts in a Supply Chain. **Management Science**, v. 47, n. 5, p. 629-646, 2001.

CAKRAVASTIA, A.; TOHA, I. S.; NAKAMURA, N. A two-stage model for the design of supply chain networks. **International Journal of Production Economics**, v. 80, p. 231-248, 2002.

CAPUTO, A. C.; PELAGAGGE, P. M.; SCACCHIA, F. Integrating transport systems in supply chain management software tools. **Industrial Management and Data Systems**, v. 103, n. 7, p. 503-515, 2003.

CARDOS, M.; GARCÍA-SABATER, J. P. Designing a consumer products retail chain inventory replenishment policy with the consideration of transportation costs. **International Journal of Production Economics**, [s.v.], [s.p.], 2005.

CARTER, J. R.; FERRIN, B. G. The impact of transportation costs on supply chain management. **Journal of Business Logistics**. v. 16, n. 1, p. 189-212, 1995.

CHAN, F. T. S. Comparative Evaluation of Supply Chain Management Strategies: A Simulation Approach. **Seventh International Conference on Control, Automation, Robotics And Vision**, p. 78-83, 2002.

CHAN, L. M. A.; MURIEL, A.; SHEN, Z. J. M.; SIMCHI-LEVI, D.; TEO, C.P. Effective Zero-Inventory-Ordering Policies for the Single-Warehouse Multi retailer Problem with Piecewise Linear Cost Structures. **Management Science**, v. 48, n. 11, p. 1446-1460, 2002.

CHEN, F. Y.; Y. FENG; D. SIMCHI-LEVI. Uniform distribution of inventory positions in two-echelon periodic review system with batch-ordering policies and interdependent demands. **European Journal of Operational Research**, 140, p. 648-654, 2002.

CHEN, F.; SAMROENGRAJA, R. Order volatility and supply chain costs, **Operations Research**, v. 52, n. 5, p. 707-722, 2004.

CHEN, I; PAULRAJ, A. Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements. **Journal of Operations Management**, v. 22, p. 119-150, 2004.

CHEN, Y. W.; LARBANI, M. Simulating the performance of supply chain with various alliances. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 25 p. 803-810, 2005.

CHEN, Z. Y.; FU, Y. B.; LU, F. S.; FANG, X. P. Stock and transport service of enterprise supply chain. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**, v. 4, n. 2, p. 85-88, 2004.

CHILDERHOUSE, P.; TOWILL, D. Simplified material flow holds the key to supply chain integrations. **International Journal of Management Science**, v.31, p. 17-27, 2003.

CHOPRA, S.; MEINDEL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Prentice-Hall, 465p, 2003.

CHRISTOPHER, M. e JÜTTNER.U. Developing strategic partnerships in the supply chain: a practitioner perspective. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 6, p. 117-127, 2000.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia para a redução de custos e melhoria dos serviços**. Pioneira, São Paulo, 2ª edição, 238p, 2001.

CROOM, S.; ROMANO,P; GIANNAKIS,M. Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. **European Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 6, p. 67-83, 2000.

DAGANZO, C. Y.; NEWELL, G. F. Configuration of physical distribution networks. **Networks**, v. 16, p. 113-132, 1986.

DANESE, P.; ROMANO, P.; VINELLI, A. Managing business process across supply networks: the role of coordination mechanisms. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 10, p. 165-177, 2004.

DAVID, A. Models implementation: A state of the art. **European Journal of Operational Research**, v. 134, p. 459-480, 2001.

DEJONCKHEERE, J. DISNEY S.M.; LAMBRECHT, M.R.;TOWILL, D.R. The impact of information enrichment on the Bullwhip effect in supply chains: A control engineering perspective. **European Journal of Operational Research**, v. 153, p. 725-750, 2004.

DEJONCKHEERE, J. et al. Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic approach. **European Journal of Operational Research**, v. 147, p. 567-590, 2003.

DIKS, E.B.; KOK, A.G. Optimal control of a divergent multi-echelon inventory system. **European Journal of Operational Research**, v. 111, p. 75-97, 1998

DISNEY, S.M.; FARASYN,I.; LAMBRECHT , M.; TOWILL,D.R.; VELDE, V.W. Taming the bullwhip effect whilst watching customer service in a single supply chain echelon. **European Journal of Operational Research**, 2005.

DISNEY, S.M.; TOWILL, D.R. The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains. **International Journal of Production Economics**, v. 85, p. 199-215, 2003.

DONG, M.; CHEN ,F.F. Performance modeling and analysis of integrated logistic chain: An analytic framework. **European Journal of Operational Research**, v.162, p. 86-98, 2005.

DORNIER, P.; ERNST, R.; FENDER, M.; KOUVELIS, P. **Logística e Operações Globais: textos e casos**. São Paulo, Atlas, 721p, 2000.

DUDEK, G.; STADLER H., Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners. **European Journal of Operational Research**, v. 163, p. 668-687, 2005

DULMIN, R.; MININNO, V.; Supplier selection using a multi-criteria decision aid method. *Journal of Purchasing & Management*, n. 9, p.177-187, 2003.

EHRET, M. Managing the trade-off between relationships and value networks. Towards a value-based approach of customer relationship management in business-to-business markets. **Industrial marketing management**, v. 33, p.465-473, 2004.

ENGELMANN, E. T.; OLIVA, G. M. proposta de um modelo de otimização da cadeia de suprimentos incorporando custos de transporte. Florianópolis. XVIII ANPET. 2004. v. 2, p. 1051-1061

EROL, I. e W.G. FERRELL Jr. A methodology for selection problems with multiple conflicting objectives and both qualitative and quantitative criteria. **International Journal of Production Economics**, v. 86, p. 187-199, 2003.

ESPER, T. L.; WILLIAMS, L. R. The value of collaborative transportation management (CTM): Its relationship to CPFR and information technology. **Transportation Journal - Lock Haven: Summer**, v. 42, n. 4, p. 56-65, 2003.

FORRESTER, J. W. Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers. **Harvard Business Review**, v. 36, n. 4, p. 37-66, 1958.

FRANSOO, J.C.; WOUTERS, M.J.F.; de KOK, T. G., 2001. Multi-echelon multi-company inventory planning with limited information exchange. **Journal of Operational Research Society**, v. 52, p. 830-838, 2001.

FU, Y. e PIPLANI, R. Supply-side collaboration and its value in supply chains. **European Journal of Operational Research**, v. 152, p. 281-288, 2004.

FYNES, B.; BÚRCA, S.; MARSSHALL, D. Environmental uncertainty, supply chain relationship quality and performance. **Journal of Purchasing and supply Management**, v. 10, p. 179-190, 2004.

GAITHER, N. Using computer simulation to develop optimal inventory policies, **Simulation**, v. 39, n. 3, p. 81-87, 1982.

GANESHAN, R. Managing supply chain inventories: a multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model. **International Journal of Production Economics**, v. 59, p. 341-354, 1999.

GEUNES, J.; ZENG, A. Z. Impacts of inventory shortage policies on transportation requirements in two-stage distribution system. **European Journal of Operational Research**, v. 129, p. 299-310, 2001.

- GIORGIADIS, P.; VLACHOS, D.; IAKOVOU, E. A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of a food chains. **Journal of food engineering**, v. 70, p. 351-364, 2005.
- GOETSCHALCKX, M.; C. VIDAL e K. DOGAN. Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms. **European Journal of Operational Research**, v.50, p. 351-364, 2002.
- GUILLÉN, G.; MELE, F.D.; BAGAJEWICZ M.J; ESPUNA, A.; PUIGJANER, L. Multiobjective supply chain design under uncertainty. **Chemical Engineering Science**. v. 60, p. 1535-1553, 2005.
- GUNASEKARAN, A.; PATEL, C; MCGAUGHEY, R.E. A framework for supply chain performance measurement. **International Journal of Economics**, v. 25, p. 341-354, 2001.
- GUPTA, O. K. Lot-size model with discrete transportation costs. **Computers and Industrial Engineering**, v. 22, n. 4, p. 397-402, 1992.
- HAYKIN, S.; VEEN,B.V. **Sinais e Sistemas**, Porto Alegre, RS, 668p, Bookman, 668p., 2001.
- HEIKKILÄ, J. From supply to demand chain management: efficiency and customer satisfaction. **Journal of Operations Management**, v. 20, p. 747-767, 2002
- HIEBER, R.; HARTEL, I. Impacts of SCM order strategies evaluated by simulation-based “beer game” approach: the model, concept, and initial experiences. **Production Planning and Control**, v. 14, n.2, p. 129-134, 2003.
- HWAN, H.; MOON, D. H.; SWIN, S. W. An EOQ model with quantity discounts for both purchasing and freight costs. **Computers and Operations Research**, v. 17, n. 1, p. 73-78, 1990.
- KARIMA, B., S.M.T. FATEMI e J.M. WILSON. The capacitated lot sizing problem: A review of models and algorithms. **Omega**, v.31, p. 365-378, 2003.
- KELLE, P. AL-KHATEEB, F. MILLER, P.A. partnership and negotiantion support by joint optimal ordering/setup policies for JIT. **International Journal of Production Economics**, v. 81 p. 431-441, 2003
- KELLE, P. e A. MILNE. The effect of (s,S) ordering policy on the supply chain. **International Journal of Economics**, v. 59, p. 113-122, 1999.
- KHOUJA, M. (2003). Optimizing inventory decisions in a multi-stage multi-customer supply chain. **Transportation Research Part E**, v. 39, p. 193-208, 2003.
- KIESMÜLLER, G.P. Optimal control of a one product recovery system with *lead time*. **International Journal of Production Economics**, v. 81-82, p. 333-340, 2003.
- KIM, S-L.; HÁ, D. A JIT lot-splttng model for supply chain management: Enhancing buyer-supplier linkage. **International Journal of production economics**, v. 86, p. 1-10, 2003.

LAI, C.L.; LEE, W.B.; IP, W.H. A study of system dynamics in just-in time logistics. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 138, p. 265-269, 2003.

LEE, C. Y.; ÇETINKAYA, S.; JARUPHONGSA, W. A Dynamic Model for Inventory Lot Sizing and Outbound Shipment Scheduling at a Third-Party Warehouse. **Operations Research**, v. 51, n. 5, p. 735-747, 2003.

LEE, H. L.; PADMANABHAN, V.; WHANG, S. Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect. **Management Science**, v. 43, n. 4, p. 546-558, 1997.

LEJEUNE, M.A.; YAKOVA, N. On characterizing the 4 C's in supply chain management. **Journal of Operations Management**, v. 23, p. 81-100, 2005.

LIN, H. et al.; WONG, S.D.; JANG, S.; SHIEH, S.; CHU, J. Controller design and reduction of bullwhip for a model supply chain system using z-transform analysis. **Journal of Process Control**, v. 14, p. 487-499, 2004.

LUMMUS, R. R.; VOKURKA, R. J. Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines. **Industrial Management and Data Systems**, p. 11-17, 1999.

MACHUCA, J.A.D.; BARAJAS, R.P. The impact of electronic data interchange on reducing bullwhip effect and supply chain inventory costs. **Transportation Research Part E**, [s.v.], 2003. [s.p.].

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.C. **Forecasting Methods for Management**. New York: John Wiley & Sons. 470p, 1989.

MASON, S. J.; RIBERA, P. M.; FARRIS, J. A.; KIRK, R. G. Integrating the warehousing and transportation functions of the supply chain. **Transportation Research Part E**, v.39, p. 141-159, 2003.

MATSATSINIS, N.F.; SAMARAS, A.P. MDCA and preference disaggregation in group decision support system. **European Journal of Operational Research**, v.130, p. 414-429, 2001.

MELACHRINOUDIS, E. e H. MIN. The dynamic relocation and phase-out of a hybrid, two echelon plant/warehousing facility: A multiple objective approach. **European Journal of Operational Research**, v. 123, p. 1-15, 2000.

MELACHRINOUDIS; E., MIN, H.; XU.W. A multiobjective model for the dynamic location of landfills. **Location Science**, v. 3, p. 143-166, 1995.

MENTZER, J.T.; DEWITT, W.; KEEBLER, J. S.; MIN, S.; NIX, N. W.; SHMITH, C. D.; ZACHARIA, Z.G. Defining supply chain management. **Journal of Business Logistics**, v. 22, n. 2, p. 1-25, 2001.

METTERS, R. Quantifying the bullwhip effect in supply chains. **Journal of Operations Management**, v. 15, p. 89-100, 1997.

MIETTINEN, K.; MÄKELÄ, M.M. Synchronous approach in interactive multiobjective optimization. **European Journal of Operational Research**, [s.v.], [s.p], 2005.

MIN, H.; ZHOU, G. Supply chain modeling: past, present and future. **Computers and Industrial Engineering**, v. 43, 2002, p. 231-249.

MINEGISHI, S.; THIEL, D.. System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain. **Simulation Practice and Theory**, v.8, p.321-339, 2000.

MINNER, S. Multiple-supplier inventory models in supply chain management: A review. **International Journal of Production Economics**, v. 81, p. 265-279, 2003.

NAGATANI, T.; HELBING, D., Stability analysis and stabilization strategies for linear supply chains. **Physica A**, v.335, p. 644-660, 2004.

NARASIMHAN, R. e S. MAHAPATRA. Decision models in global supply chain management. *Industrial Marketing Management*, v. 55, p. 98-114, 2003.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. Rio de Janeiro: Campus. 409p., 2001.

OLIVA, G. e C. GRAEFF .Controle Ótimo: uma aplicação no planejamento da produção, XVII ENANPAD, v. 3, p. 151-163, 1993.

OLIVA, G.M.; F.D. MICHEL e E.T. ENGELMANN Controle do efeito chicote na cadeia de suprimentos: proposta de um modelo analítico, *Panorama Nacional da Pesquisa em Transporte*, Natal, v. 2, p. 5-17, 2002.

PEREA, E.; GROSSMANN, I.; YDSTIE, E.; TAHMASSEBI, T. Dynamic modeling and classical control theory for supply chain management. **Computer and Chemical Engineering**, 24, p.1143-1149, 2000.

PEREA-LÓPEZ, E.; YDSTIE, B. E.; GROSSMANN I. E. A model predictive control strategy for supply chain optimization. **Computers and Chemical Engineering**, v. 27, p. 1201-1218, 2003.

PETROVIC, D.; R. ROY e R. PETROVIC Modelling and simulation of a supply chain in an uncertain environment. **European Journal of Operational Research**, v. 109, p.299-309, 1998.

PUJAWAN, I.N., The effect of lot sizing rules on order variability. **European Journal of Operational Research**, v. 115, p. 254-269, 2003.

QU, W. W.; BOOKBINDER, J. H.; IYOGUN, P. An integrated inventory – transportation system with modified periodic policy for multiple products. **European Journal of Operational Research**, v. 115, p. 254-269, 1999.

RAMASESH, R. V. A logistics-based inventory model for JIT procurement. **International Journal of Operations and Productions Management**, v. 13, n. 6, p. 44-58, 1993.

RAO, S.S. **Engineering Optimization: Theory and Practice**. New York. John Wiley&Sons,, 903p., 1996

- RIDDALLS, C.E. e S. BENNET .The optimal control of batched production and its effect on demand amplification. **International Journal of Production Economics**, 72, p. 159-168, 2001.
- SABRI, E.H.; BEAMON, B.M. A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. **International Journal of management Science**, v. 28, p. 581-598, 2000.
- SAHAPIRO, J.F. Challenges of strategic supply chain planning and modeling. **Computer & Chemical Engineering**, v. 28, p. 855-861, 2004.
- SCHNEEWEISS, C. Distributed decision making in supply chain management. **International Journal of Production Economics**, v. 84, p. 71-83, 2003.
- SCHNEEWEISS, C.; ZIMMER, K. Hierarchical coordination mechanisms within the supply chain. management. **European Journal of Operational Research**, v. 153, p.687-703, 2004.
- SEO, Y.; JUNG,S.; HAHM, J. Optimal reorder decision utilizing centralized stock information in a two-echelon dsitribution system. **Computer & Operations Research**, v. 29, p. 171-193, 2002.
- SHAPIRO, J. F. **Modeling the supply chain**. Thompson Learning, USA, 586p, 2001.
- SHARP, K. R. Integrated transportation, improved execution. **Supply Chain Systems, Helmers Publishing Inc.**, v. 23, n. 2, p. 20-21, 2003.
- SHEU, J-B. A multi-layer demand-responsive logistics control methodology for alleviating the bullwhip effect of supply chains. **European Journal of Operational Research**, v. 161, p. 797-811, 2005.
- SILVEIRA, G.J.C. Improving trade-offs in a manufacturing: Method and Illustration. **International Journal of Production Economics**, v. 95, p. 27-38, 2005.
- SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case studies**. Boston: Irwin McGraw-Hill, 321p, 2003.
- SPERANZA, M. G.; UKOVICH, W. Minimizing transportation and inventory costs for several products on a single link. **Operations Research**, v. 42, p. 879-894, 1994.
- STADTLER, H. Supply chain management and advanced planning – basics, overview and challenges. **European Journal of Operational Research**, v. 163, p. 575-588, 2005.
- STERMAN, J. D. Modeling managerial behavior: misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. **Management Science**, v. 35, n. 3, p. 321-339, 2002.
- SUCKY, E. Inventory management in supply chains: A bargaining problem. **International Journal of Production Economics**, v. 93, p. 253-262, 2005.
- SWENSETH S. R.; GODFREY, M. R. Incorporating transportation costs into inventory replenishment decisions. **International Journal of Production Economics**, v. 77, p. 113-130, 2002.

- SWENSETH, S. R.; BUFFA, F. P. The impact of just-in-time manufacturing philosophies on a firm's logistics system. **Journal of Operations Management**, v. 9, n. 2, p. 294-295, 1990.
- TANG, O. e R. W. GRUBBSTRÖM (2003) The detailed coordination problem in a two-level assembly system whit stochastic *lead times*. **International Journal of Production Economics**, 81-82, p. 415-429, 2003
- TAYLOR, A.D. **Logística na cadeia de suprimentos: uma perspectiva gerencial**. São Paulo: pearson addison-Wesley, p. 350, 2005.
- TAYUR, S. et al. **Quantitative models for supply chain management**. Boston: Kluwer Academic, 885p, 1999.
- THOMAS, D.J. e GRIFFIN, P.M. Coordinated supply chain management. **European Journal of Operational Research**, v. 94, p. 1-15, 1996.
- TOWILL, D. R. Industrial dynamics modelling of supply chains. **Logistics Information Management**, v. 9, n. 4, p. 43-56, 1996.
- TOWILL, D. R.; LAMBRECHT, M.R.; DISNEY, S.M.; DEJONCKEERE, J. Explicit filters and supply chain design. **Journal of Purchasing and Supply Management** v. 9, p. 73-91, 2003.
- TOWILL, D.R.; DEL VECHIO, A. The application of filter theory to the study of supply chain dynamics. *Production Planning Control*, v.5, p. 82-96, 1994.
- TYWORTH, T. E. Modeling transportation-inventory trade-offs in a stochastic setting. **Journal of Business Logistics**, v. 13, n. 2, p. 97-124, 1992.
- URBAN, T.L. Inventory models whit inventory-level-dependent demand: A comprehensive review and unifying theory. **European Journal of Operational Research**, V. 162, P.792-804, 2005.
- VAN EIJS, M. J. G. Multi-item inventory systems with joint ordering and transportation decisions. **International Journal of Production Economics**, v. 35, p. 285-292, 1994.
- VIDAL, C. J.; GOETSCHALCKX, M. A global supply chain model with transfer pricing and transportation cost allocation. **European Journal of Operational Research**, v. 129, p. 134-158, 2001.
- WANG, Q.; K. L, YUNG, W. H. IP. A hierarchical multi-view modeling for Networked joint manufacturing system. **Computers in Industry**, v. 53, p. 59-73, 2004.
- WANG, Q.; K. LEUNG YUNG, IP .W. H. A hierarchical multi-view modeling for Networked joint manufacturing system. **Computers in Industry**, v. 53, p. 59-73, 2004.
- WARBURTON, D-H. R. An analytical solution to the production inventory control problem. **International journal of production economics**, v. 92, p. 81-96, 2004.
- WEBER, C. A., CURRENT, J. R., & BENTON, W. C. Vendor selection criteria and methods. **European Journal of Operational Research**, v.50, p. 2-18, 1990.

WEBER, M.M. Calculating the Cost of Variances in the Supply Chain. Determining Supplier and Buyer Effect on Inventory Performance. **Industrial Marketing Management**, v. 29, p.57-64, 2000.

WEISS, M.; WEISS, G. Optimal control of stable weakly regular systems. **Mathematics of Control, Signals, and Systems**, vol. 10 (4), p.287-330, 1997.

WIENDAHL, H.P. e J.W. BREITHAUPT. Automatic production control applying control theory. **International Journal of Production Economics**, v. 63, p. 33-46, 2000.

WIENDAHL, H.P. e J.W. BREITHAUPT. Automatic production control applying control theory. **International Journal of Production Economics**, v. 63, p. 33-46, 2000.

WIENDAHL, H-P; BREITHAUPT, J-W. Automatic production control applying control theory. **International Journal of Production Economics**, v. 63, p. 33-46, 2000.

XU K.; Y. DONG e T.P. Evers Towards better coordination of the supply chain, **Transportation Research**, Part E, p. 35-54, 2001.

YANG, P. C.; WEE, H. M. Optimal strategy in vendor-buyer alliances with quantity discount. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 16, n. 6, p. 455-463, 2003.

YU, C.-S. e H.-L. LI. A robust optimization model for stochastic logistic problems. **International Journal of Production Economics**, 64, p. 385-397, 2000.

ZHAO, Q. H.; WANG, S. Y.; LAI, K. K.; XIA, G. P. Model and algorithm of an inventory problem with the consideration of transportation cost. **Computers and Industrial Engineering**, v. 46, p. 389-397, 2004.

ZORYK-SCHALLA, A.J.; FRANSOO, J.C.; KOK, T.G. Modeling the planning process in advanced planning system. **Information & Management**, v. 42, p75-87, 2004.

APÊNDICE A RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO A

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
LT _C	0	(12066)	96685	(9547)	90210	46105	73808	99100	94082	64736	98825	106677	120315	868930
PED _A	20000	34257	35995	20062	22746	49372	25066	20000	20000	20038	20529	20000	20000	328065
PED _D	20000	64574	66279	118672	114591	97071	102978	140794	99883	42882	20000	57662	20000	965386
PED _V	20000	61262	80407	70170	96293	141421	150754	127950	138890	193870	116811	47785	1265613	1265613
TPED _C	60000	160092	182681	208904	233630	287865	278798	288745	258773	256790	157340	125447	120315	2559065
CT _A	1632	0	816	2893	2448	3709	2448	2448	3264	3709	0	2077	3709	29153
CT _D	1261	0	2448	3264	3264	1632	3264	3264	3264	816	1632	3709	0	27818
CT _V	223	0	1447	816	1224	1632	1447	1224	1632	1632	1632	223	223	13355
CTT _C	3116	0	4711	6973	6936	6973	7159	6936	8160	6157	3264	6009	3932	70326
E _A	200000	249894	179658	104297	82326	113341	136416	106125	65924	141241	203174	98926	152048	1833372
E _D	100000	130000	47477	70236	92284	105871	63999	89771	93295	106125	17082	61535	162043	1139719
E _V	80000	82516	0	82523	47477	70236	90651	86101	63999	89771	93295	106125	2306	895000
E _T	380000	462410	227135	257056	222087	289449	291065	281997	223219	337137	313551	266586	316397	3868090
PE _A	20000	20000	(33314)	(43330)	(72324)	(3708)	(30474)	(57845)	(71570)	20038	(26720)	(74885)	34780	(319351)
PE _D	20000	20000	7713	52520	86522	40100	43770	73066	89420	13207	(46159)	55783	55004	510946
PE _V	20000	20000	20007	67484	55197	98371	114236	87584	91254	120550	136904	45915	(56470)	821032
TPE _C	60000	60000	(5593)	76674	69395	134763	127531	102805	109104	153796	64025	26813	33314	1012626
PR _P	0	16923	82267	75244	112845	63004	65924	92399	108691	0	56083	112625	(17543)	768464
PR _A	0	70236	92284	104238	44229	89771	93295	106721	16486	46759	104248	2961	(55156)	716072
PR _D	0	82523	120800	5371	82192	86101	73037	80733	95272	146639	(40185)	3740	152939	889163
TPR _C	0	169682	295351	184853	239266	238876	232257	279853	220449	193398	120146	119327	80240	2373699
PP _A	70236	92284	104238	44229	89771	93295	106721	17082	46759	104248	2961	(55156)	(55156)	716668
PP _D	0	82523	120800	78694	90651	86101	73037	89771	95272	148616	2306	3740	152939	1024451
PP _V	0	91344	91344	161901	161901	210832	238773	249585	249585	280880	280880	280880	280880	2578787
TPP _C	0	244103	304428	344834	296780	386704	405105	446078	361940	476255	387434	287582	378663	4319906
V _P	49894	0	16923	82267	75244	112845	63004	65924	92399	108691	0	56083	112625	835902
V _A	30000	0	70236	92284	104238	44229	89771	93295	106125	17082	46759	104248	2961	801228
V _D	2516	0	82523	47477	70236	90651	86101	63999	89771	93295	106125	2306	3740	738740
V _V	50000	0	82516	0	82523	47477	70236	90651	86101	63999	89771	93295	106125	862694
TV _C	82516	0	235275	139761	256997	182356	246108	247945	281997	174377	242655	199849	112826	2402661
PA _A	0	0	0	0	0	0	0	0	596	0	0	0	0	596
PA _D	0	0	0	73323	8458	(0)	(0)	9038	(0)	1977	42491	0	0	135288
PA _V	0	0	8828	91344	79378	114424	140596	148122	163484	185586	191109	187585	174755	1485213
TPA _C	0	0	8828	164667	87836	114424	140596	157161	164081	187563	233600	187585	174755	1621097
C _A	0	3881	2148	2236	3826	3426	4958	3661	3308	4300	5431	1511	3332	42017
C _D	0	4711	2662	4214	5702	6236	4180	5571	6010	6255	2664	2811	6618	57634
C _V	0	3473	1650	3097	3416	3578	4850	4982	4226	4707	5293	5620	2392	47286
CT _C	0	12066	6460	9547	12944	13241	13988	14213	13544	15263	13389	9942	12341	146937
x _A	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	15
x _D	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	20
x _V	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	23
CT _{Aj1}	0	0	0	445	0	445	0	0	0	445	0	445	445	2225
CT _{Aj2}	1632	0	816	2448	2448	3264	2448	2448	3264	3264	0	1632	3264	26928
CT _{Dj1}	445	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	445	0	890
CT _{Dj2}	816	0	2448	3264	3264	1632	3264	3264	3264	816	1632	3264	0	26928
CT _{Vj1}	223	0	223	0	0	0	223	0	0	0	0	223	223	1115
CT _{Vj2}	0	0	1224	816	1224	1632	1224	1224	1632	1632	1632	0	0	12240

APÊNDICE B RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO B

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
LT _C	0	(11576)	95763	(8236)	90692	44946	61465	88504	95414	63388	90163	84609	120725	815856
PED _A	41329	43354	23298	20000	20000	42257	0	20000	20000	29367	20000	20000	20000	319605
PED _D	20000	64698	59355	112940	111487	101939	91975	127862	72778	20000	20000	52059	20000	875093
PED _V	20000	60761	45446	103749	87363	104066	166109	130506	112091	142828	117940	20000	1130859	1130859
TPED _C	81329	168814	128099	236689	218850	248262	258084	278369	204869	192195	157940	92059	120725	2325558
CT _A	1632	816	0	1632	2448	3264	2077	2448	2448	3264	0	816	4525	25370
CT _D	816	0	2077	2448	3264	1632	2448	2448	3264	0	1261	4080	0	23738
CT _V	223	0	1224	816	1039	1224	1447	1039	1447	1224	1632	0	223	11538
CTT _C	2671	816	3301	4896	6751	6120	5972	5935	7159	4488	2893	4896	4748	60646
E _A	200000	250000	214051	133051	70367	109138	136138	121944	75304	151367	230484	100308	121678	1913831
E _D	100000	127000	46000	59303	81000	105658	61786	81000	74548	105230	0	28883	151273	1021681
E _V	80000	82516	0	81000	46000	59303	81000	86101	61786	81000	74548	105230	0	838484
E _T	380000	459516	260051	273354	197367	274099	278924	289045	211637	337597	305032	234421	272950	3773995
PE _A	20000	43354	(15949)	(53975)	(78633)	(12862)	(33508)	(49466)	(78633)	29367	484	(108322)	32186	(305956)
PE _D	20000	20000	(1697)	33303	79658	40887	35786	48548	72778	(1770)	(78117)	52059	44273	365707
PE _V	20000	20000	18484	64484	42787	77787	104585	85371	80270	93032	117262	42714	(54730)	712045
TPE _C	60000	83354	838	43812	43812	105812	106863	84453	74415	120629	39629	(13549)	21729	771796
PR _P	23354	0	42974	81000	108000	60353	58590	76063	108000	0	21369	140509	(13344)	706869
PR _A	0	59303	81000	105658	42229	81000	74548	105230	0	28883	130176	0	(32204)	675823
PR _D	0	81000	53578	78026	88579	52220	122259	89692	63234	98954	1348	(45137)	148501	832255
TPR _C	23354	140303	177552	264684	238808	193573	255397	270985	171234	127837	152893	95372	102954	2214947
PP _A	59303	81000	105658	42229	81000	74548	105230	0	28883	130176	0	(32204)	(32204)	675823
PP _D	0	81000	53578	85604	114881	86101	122259	150165	132399	156805	52923	7786	148501	1192003
PP _V	0	91344	91344	161901	163424	213832	252706	273169	273169	306677	315448	334195	335090	2812300
TPP _C	0	231647	225922	353164	320534	380933	449513	528564	405568	492365	498547	341981	451388	4680125
V _P	50000	23354	0	42974	81000	108000	60353	58590	76063	108000	0	21369	140509	770213
V _A	27000	0	59303	81000	105658	42229	81000	74548	105230	0	28883	130176	0	735026
V _D	2516	0	81000	46000	59303	81000	86101	61786	81000	74548	105230	0	7786	686270
V _V	50000	0	82516	0	81000	46000	59303	81000	86101	61786	81000	74548	105230	808484
TV _C	79516	0	222819	127000	245961	169229	226404	217334	272331	136334	215113	204723	113016	2229780
PA _A	0	0	0	(0)	0	0	0	0	(0)	0	(0)	(0)	0	(0)
PA _D	0	0	0	7578	26302	33881	0	60473	69165	57851	51575	52923	0	359748
PA _V	0	0	8828	91344	80901	117424	154529	171706	187068	211383	225677	240900	228965	1718726
TPA _C	0	0	8828	98922	107203	151305	154529	232179	256233	269234	277252	293823	228965	2078473
C _A	0	3882	3136	1736	2649	3346	4490	3367	3434	3581	5173	1654	1926	38375
C _D	0	4221	2595	3657	4553	6064	4144	4590	4781	5961	1578	1694	6782	50619
C _V	0	3473	1650	2844	3356	3145	4030	4789	3997	4303	4335	5228	2105	43254
CT _C	0	11576	7382	8236	10558	12554	12664	12746	12212	13845	11087	8576	10813	132249
x _A	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	14
x _D	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	17
x _V	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	26
CT _{Aj1}	0	0	0	0	0	0	445	0	0	0	0	0	445	890
CT _{Aj2}	1632	816	0	1632	2448	3264	1632	2448	2448	3264	0	816	4080	24480
CT _{Dj1}	0	0	445	0	0	0	0	0	0	0	445	0	0	890
CT _{Dj2}	816	0	1632	2448	3264	1632	2448	2448	3264	0	816	4080	0	22848
CT _{Vj1}	223	0	0	0	223	0	223	223	223	0	0	0	223	1338
CT _{Vj2}	0	0	1224	816	816	1224	1224	816	1224	1224	1632	0	0	10200

APÊNDICE C

CENÁRIOS A E B: MEDIDAS DESCRITIVAS

	CENÁRIO A				CENÁRIO B				VARIÇÃO		
	MA	DP	CV	CC	MA	DP	CV	CC	MA	%CV	Δ%
LT_C	66841	46279	0,69	1,00	62758	11976	0,19	1,00	-0,06	-72,44	-6,11%
PED_A	25236	9124	0,36	-0,23	24585	39574	1,61	-0,53	-0,03	345,22	-2,58%
PED_D	74260	41107	0,55	-0,04	67315	39574	0,59	-0,12	-0,09	6,20	-9,35%
PED_V	97355	53153	0,55	0,18	86989	49421	0,57	0,03	-0,11	4,06	-10,65%
TPED_C	196851	80641	0,41	0,07	178889	71346	0,40	-0,14	-0,09	-2,64	-9,12%
CT_A	2243	1308	0,58	0,18	1952	1330	0,68	0,22	-0,13	16,81	-12,98%
CT_D	2140	1325	0,62	0,27	1826	1348	0,74	0,28	-0,15	19,24	-14,67%
CT_V	1027	641	0,62	0,35	888	579	0,65	0,35	-0,14	4,61	-13,61%
CTT_C	5410	2289	0,42	0,36	4665	1825	0,39	0,48	-0,14	-7,58	-13,76%
E_A	141029	54021	0,38	-0,39	147218	58531	0,40	-0,40	0,04	3,79	4,39%
E_D	87671	36912	0,42	-0,18	78591	40742	0,52	-0,19	-0,10	23,13	-10,36%
E_V	68846	33349	0,48	-0,34	64499	32022	0,50	-0,48	-0,06	2,49	-6,31%
E_T	297545	67873	0,23	-0,57	290307	70106	0,24	-0,67	-0,02	5,86	-2,43%
PE_A	-24565	39282	-1,60	-0,38	-23535	48288	-2,05	-0,29	-0,04	28,31	-4,19%
PE_D	39304	36881	0,94	0,16	28131	40157	1,43	0,07	-0,28	52,13	-28,43%
PE_V	63156	53420	0,85	0,03	54773	46615	0,85	-0,05	-0,13	0,62	-13,27%
TPE_C	77894	46122	0,59	-0,16	59369	41463	0,70	-0,33	-0,24	17,95	-23,78%
PR_P	59113	45487	0,77	0,33	54375	47508	0,87	0,18	-0,08	13,54	-8,02%
PR_A	55082	51118	0,93	-0,23	51986	49917	0,96	-0,20	-0,06	3,46	-5,62%
PR_D	92120	59326	0,64	0,28	64020	9926	0,16	0,13	-0,31	-75,92	0,00%
TPR_C	182592	83895	0,46	0,24	170381	74344	0,44	0,08	-0,07	-5,03	-6,69%
PP_A	59722	50470	0,85	-0,23	51986	49917	0,96	-0,20	-0,13	13,62	-5,70%
PP_D	78804	50384	0,64	0,20	91693	52123	0,57	0,35	0,16	-11,09	16,36%
PP_V	198368	90914	0,46	0,67	216331	107074	0,49	0,65	0,09	7,99	9,06%
TPP_C	332300	119162	0,36	0,49	360010	144334	0,40	0,54	0,08	11,80	8,34%
V_P	64300	39463	0,61	0,16	59247	43020	0,73	0,22	-0,08	18,31	-7,86%
V_A	61633	39968	0,65	0,31	56540	43938	0,78	0,24	-0,08	19,84	-8,26%
V_D	56826	40615	0,71	0,31	52790	37657	0,71	0,35	-0,07	-0,20	-7,10%
V_V	66361	33923	0,51	0,95	62191	31893	0,51	0,94	-0,06	0,32	-6,28%
TV_C	184820	81886	0,44	0,70	171522	76910	0,45	0,70	-0,07	1,21	-7,20%
PA_A	46	165	3,61	0,18	171522	76910	0,45	-0,15	3738,59	-87,56	-100,00%
PA_D	10407	22232	2,14	-0,30	27673	27674	1,00	0,41	1,66	-53,19	165,91%
PA_V	114247	72607	0,64	0,63	132210	89420	0,68	0,62	0,16	6,42	15,72%
TPA_C	124700	77844	0,62	0,50	159883	109351	0,68	0,61	0,28	9,56	28,21%
C_A	3232	1459	0,45	0,31	2952	1360	0,46	0,27	-0,09	2,03	-8,67%
C_D	4433	1947	0,44	0,28	3894	1964	0,50	0,27	-0,12	14,89	-12,17%
C_V	3637	1595	0,44	0,41	3327	1424	0,43	0,32	-0,09	-2,45	-8,53%
CT_C	11303	4133	0,37	0,40	10173	3618	0,36	0,37	-0,10	-2,74	-10,00%

APÊNDICE D RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO C

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
LT _C	0	(11446)	93332	(10226)	83348	37046	107020	112384	93892	103466	99309	97128	120773	926024
PED _A	113617	127999	46998	20109	22656	45519	20000	22475	20000	34047	20000	20000	20000	533420
PED _D	100000	118320	41621	108000	117823	119609	95294	88786	85090	106125	0	43950	158025	1182645
PED _V	20000	64229	45381	105222	135792	186775	218526	152023	159614	170505	136255	45210	1459532	1459532
TPED _C	233617	310548	134001	233331	276270	351903	333820	263284	264705	310676	156255	109160	120773	3175596
CT _A	1632	3264	0	1632	2893	3709	2448	2077	3264	3264	0	1261	5712	31156
CT _D	816	0	3264	3264	3264	2077	2893	2893	3264	0	1632	4525	0	27892
CT _V	223	0	1224	816	1632	1632	1447	1632	1447	1447	1632	0	631	13763
CTT _C	2671	3264	4488	5712	7789	7418	6788	6602	7975	4711	3264	5786	6343	72811
E _A	200000	250000	249999	141999	69897	96897	116520	112429	66847	158563	220096	77310	111808	1872364
E _D	100000	118320	41621	108000	117823	119609	95294	88786	85090	106125	0	43950	158025	1182645
E _V	80000	82516	0	76699	41621	98177	101463	86101	95294	88786	85090	106125	0	941873
E _T	380000	450836	291620	326698	229341	314683	313277	287316	247231	353474	305186	227386	269833	3996882
PE _A	20000	127999	19999	(56854)	(71317)	(24694)	(32480)	(57028)	(71437)	34047	(9904)	(118192)	41229	(198634)
PE _D	20000	20000	51301	117680	122752	83075	85760	75556	92895	7805	(54370)	88416	59705	770573
PE _V	20000	20000	14183	55804	77282	137124	125048	118879	121564	111360	128699	43609	(33805)	939749
TPE _C	60000	167999	85483	116630	128717	195504	178327	137407	143022	153212	64426	13833	67129	1511688
PR _P	107999	0	31147	88786	108409	81000	60542	91716	105484	0	34498	159421	(24490)	844512
PR _A	0	108000	108000	103249	61786	88786	85090	106125	(0)	43950	142786	0	(76231)	771542
PR _D	0	76699	54102	85697	101463	86101	162103	57476	65985	102564	13103	2776	93305	901372
TPR _C	107999	184699	193249	277732	271658	255887	307736	255317	171468	146514	190387	162198	(7417)	2517426
PP _A	108000	108000	103249	61786	88786	85090	106125	0	43950	142786	0	(76231)	(76231)	771542
PP _D	0	76699	54102	98177	101463	86101	162103	124285	101483	118957	25935	28711	93305	1071320
PP _V	0	91344	91344	161901	167725	222512	222512	222512	222512	222512	223497	231701	231701	2311772
TPP _C	0	276043	253446	363327	330974	397399	469705	452921	323995	385419	392217	260413	248775	4154633
V _P	50000	107999	0	31147	88786	108409	81000	60542	91716	105484	0	34498	159421	919002
V _A	18320	0	108000	108000	103249	61786	88786	85090	106125	0	43950	142786	0	866093
V _D	2516	0	76699	41621	98177	101463	86101	95294	88786	85090	106125	0	28711	810584
V _V	50000	0	82516	0	76699	41621	98177	101463	86101	95294	88786	85090	106125	911873
TV _C	70836	0	267215	149621	278125	204870	273064	281847	281012	180384	238861	227876	134836	2588550
PA _A	0	0	0	(0)	0	0	0	0	0	0	(0)	(0)	0	0
PA _D	0	0	0	12480	0	(0)	0	66809	35499	16393	12832	25935	0	169947
PA _V	0	0	8828	91344	85202	126104	124335	121049	136411	127218	133726	138406	125576	1218198
TPA _C	0	0	8828	103824	85202	126104	124335	187858	171909	143611	146557	164341	125576	1388145
C _A	0	3882	5764	1960	2691	3727	4776	3593	2973	4391	5157	1487	2207	42609
C _D	0	4091	2399	5508	6651	6825	5301	5654	5501	6132	1592	2291	7555	59501
C _V	0	3473	1650	2758	3182	4428	5625	5198	5260	5129	4925	5456	2123	49207
CT _C	0	11446	9813	10226	12525	14980	15701	14445	13734	15652	11674	9235	11884	151316
x _A	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	15
x _D	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	25
x _V	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	23
CT _{Aj1}	0	0	0	0	445	445	0	445	0	0	0	445	0	1780
CT _{Aj2}	1632	3264	0	1632	2448	3264	2448	1632	3264	3264	0	816	5712	29376
CT _{Dj1}	0	0	0	0	0	445	445	445	0	0	0	445	0	1780
CT _{Dj2}	816	0	3264	3264	3264	1632	2448	2448	3264	0	1632	4080	0	26112
CT _{Vj1}	223	0	0	0	0	0	223	0	223	223	0	0	223	1115
CT _{Vj2}	0	0	1224	816	1632	1632	1224	1632	1224	1224	1632	0	408	12648

APÊNDICE E CENÁRIOS B E C: MEDIDAS DESCRITIVAS

	CENÁRIO B				CENÁRIO C				VARIÇÃO		
	MA	DP	CV	CC	MA	DP	CV	CC	MA	%CV	Δ%
LT_C	62758	43790	0,70	1,00	71233	48980	0,69	1,00	0,14	-1,46	13,50%
PED_A	24585	11976	0,49	-0,53	41032	36819	0,90	-0,70	0,67	84,21	66,90%
PED_D	67315	39574	0,59	-0,12	90973	41197	0,45	-0,48	0,35	-22,97	35,15%
PED_V	86989	49421	0,57	0,03	112272	66795	0,59	0,44	0,29	4,72	29,06%
TPED_C	178889	71346	0,40	-0,14	244277	76780	0,31	-0,21	0,37	-21,19	36,55%
CT_A	1952	1330	0,68	0,22	2397	1562	0,65	-0,18	0,23	-4,37	22,81%
CT_D	1826	1348	0,74	0,28	2146	1517	0,71	0,38	0,17	-4,23	17,50%
CT_V	888	579	0,65	0,35	1059	644	0,61	0,59	0,19	-6,84	19,28%
CTT_c	4665	1825	0,39	0,48	5601	1786	0,32	0,38	0,20	-18,47	20,06%
E_A	147218	58531	0,40	-0,40	144028	66152	0,46	-0,34	-0,02	15,52	-2,17%
E_D	78591	40742	0,52	-0,19	90973	41197	0,45	-0,48	0,16	-12,64	15,75%
E_V	64499	32022	0,50	-0,48	72452	35820	0,49	-0,03	0,12	-0,42	12,33%
E_T	290307	70106	0,24	-0,67	307452	62324	0,20	-0,66	0,06	-16,06	5,91%
PE_A	-23535	48288	-2,05	-0,29	-15280	64170	-4,20	-0,44	-0,35	104,69	-35,08%
PE_D	28131	40157	1,43	0,07	59275	49721	0,84	-0,02	1,11	-41,24	110,71%
PE_V	54773	46615	0,85	-0,05	72288	55912	0,77	0,52	0,32	-9,12	31,98%
TPE_c	59369	41463	0,70	-0,33	116284	54158	0,47	-0,09	0,96	-33,31	95,87%
PR_P	54375	47508	0,87	0,18	64962	53524	0,82	0,05	0,19	-5,70	19,47%
PR_A	51986	49917	0,96	-0,20	59349	62271	1,05	-0,03	0,14	9,27	14,16%
PR_D	64020	52983	0,83	0,13	92120	9926	0,11	0,12	0,44	-86,98	0,00%
TPR_C	170381	74344	0,44	0,08	193648	84363	0,44	0,10	0,14	-0,16	13,66%
PP_A	56319	49518	0,88	-0,20	59349	62271	1,05	-0,03	0,05	19,33	14,16%
PP_D	91693	52123	0,57	0,35	82409	44950	0,55	0,31	-0,10	-4,05	-10,12%
PP_V	216331	107074	0,49	0,65	177829	73491	0,41	0,65	-0,18	-16,50	-17,80%
TPP_c	360010	144334	0,40	0,54	319587	120748	0,38	0,49	-0,11	-5,76	-11,23%
V_P	59247	43020	0,73	0,22	70692	46702	0,66	-0,13	0,19	-9,02	19,32%
V_A	56540	43938	0,78	0,24	66623	49283	0,74	0,36	0,18	-4,81	17,83%
V_D	52790	37657	0,71	0,35	62353	41551	0,67	0,61	0,18	-6,58	18,11%
V_V	62191	31893	0,51	0,94	70144	36257	0,52	0,95	0,13	0,79	12,79%
TV_c	171522	76910	0,45	0,70	199119	89151	0,45	0,85	0,16	-0,15	16,09%
PA_A	0	0	#DIV/0!	-0,15	199119	89151	0,45	-0,19	#DIV/0!	0,00	0,00%
PA_D	27673	27674	1,00	0,41	13073	19924	1,52	0,44	-0,53	52,40	-52,76%
PA_V	132210	89420	0,68	0,62	93708	54115	0,58	0,60	-0,29	-14,62	-29,12%
TPA_c	159883	109351	0,68	0,61	106780	65176	0,61	0,63	-0,33	-10,76	-33,21%
C_A	2952	1360	0,46	0,27	3278	1611	0,49	0,49	0,11	6,71	11,03%
C_D	3894	1964	0,50	0,27	4577	2311	0,51	0,15	0,18	0,11	17,55%
C_V	3327	1424	0,43	0,32	3785	1757	0,46	0,62	0,14	8,46	13,76%
CT_C	10173	3618	0,36	0,37	11640	4118	0,35	0,52	0,14	-0,52	14,42%

APÊNDICE F RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO D

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
LT _C	0	(12580)	96701	(16606)	84814	47492	106758	110597	90825	105397	98091	101093	113859	926442
PED _A	24896	57027	20000	21252	66294	59841	101878	20000	20000	20000	20874	20000	20000	472061
PED _D	20000	123714	158385	189159	108741	133079	135805	139878	86385	105822	121155	91697	20000	1433819
PED _V	20000	65501	72138	96505	141657	232119	151415	149288	177472	187077	143844	25270	1482286	1482286
TPED _C	64896	246241	250523	306916	316691	425039	389098	309166	283857	312899	285873	136967	113859	3388167
CT _A	1632	445	1261	4080	3264	2448	2893	4525	0	3709	1261	4525	3264	33307
CT _D	1892	0	9236	3672	1892	4896	4896	3672	4896	1892	6788	5564	0	49293
CT _V	112	0	612	408	816	816	724	816	724	816	816	0	0	6659
CTT _C	3635	445	11109	8160	5972	8160	8513	9013	5620	6417	8865	10089	3264	89259
E _A	200000	248911	83823	34786	132312	119575	98339	106125	142786	142786	105477	644	143430	1558994
E _D	100000	130000	49000	169955	152778	86101	95294	101081	93295	106125	0	142786	248263	1474678
E _V	80000	82516	0	81000	49000	98177	101463	86101	95294	88786	93295	106125	0	961757
E _T	380000	461427	132823	285741	334090	303853	295096	293307	331375	337697	198772	249555	391693	3995428
PE _A	20000	24867	(113125)	(61813)	(14042)	(29491)	(41786)	20000	(86125)	19352	(122790)	(85481)	19355	(451079)
PE _D	20000	20000	108955	140955	77564	71395	86375	72081	89420	(3875)	32786	138263	138263	992181
PE _V	20000	20000	18484	67484	84661	137124	125048	118879	121564	119565	136904	43609	(62516)	950806
TPE _C	60000	64867	14314	146626	148183	179028	169637	210960	124859	135042	46900	96391	95102	1491908
PR _P	4867	31963	132312	82558	79845	88786	142786	0	105477	644	142786	104836	641	917500
PR _A	0	169955	81000	78991	51089	101081	81000	111099	(4974)	179759	144810	(76306)	(193796)	723708
PR _D	0	81000	95514	51663	101463	169109	46939	54133	99527	120184	12355	(32647)	146894	946135
TPR _C	4867	282918	308825	213212	232396	358976	270725	165232	200030	300588	299951	(4117)	(46261)	2587343
PP _A	169955	81000	78991	95294	101081	81000	111099	0	179759	181783	0	(193796)	(193796)	886167
PP _D	0	81000	95514	98177	101463	169109	129947	88786	99527	126417	32647	0	146894	1169480
PP _V	0	91344	91344	161901	163424	210832	210832	210832	210832	210832	211817	211817	211817	2197624
TPP _C	0	342299	267858	339069	360181	481022	421779	410717	310359	517008	426247	211817	164915	4253271
V _P	48911	4867	31963	132312	82558	79845	88786	142786	0	105477	644	142786	104836	965770
V _A	30000	0	169955	81000	34786	95294	101081	81000	106125	0	142786	105477	0	947504
V _D	2516	0	81000	49000	98177	101463	86101	95294	88786	93295	106125	0	0	801757
V _V	50000	0	82516	0	81000	49000	98177	101463	86101	95294	88786	93295	106125	931757
TV _C	82516	0	333471	130000	213963	245757	285359	277757	281012	188589	337697	198772	106125	2681018
PA _A	0	0	0	0	44205	0	0	0	4974	0	36973	76306	0	162459
PA _D	0	0	(0)	46514	0	(0)	83008	34653	(0)	6232	20292	32647	0	223345
PA _V	0	0	8828	91344	80901	114424	112655	109369	124731	115538	122046	118522	105692	1104050
TPA _C	0	0	8828	137858	125106	114424	195663	144022	129705	121770	179311	227475	105692	1489854
C _A	0	3877	2109	1854	4915	4523	3538	3915	5770	1428	4950	1792	5245	43916
C _D	0	5342	2685	12520	8513	5475	7617	7842	6588	7887	3483	8929	11429	88309
C _V	0	3362	1650	2232	3008	3760	4809	4475	4444	4405	4458	4804	2123	43529
CT _C	0	12580	6444	16606	16436	13758	15963	16232	16801	13720	12891	15525	18797	175754
x _A	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	13
x _D	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	21
x _V	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	23
CT _{Aj1}	0	445	445	0	0	0	445	445	0	445	445	445	0	3115
CT _{Aj2}	1632	0	816	4080	3264	2448	2448	4080	0	3264	816	4080	3264	30192
CT _{Dj1}	445	0	445	0	445	0	0	0	0	445	445	445	0	2670
CT _{Dj2}	816	0	5712	2448	816	3264	3264	2448	3264	816	4080	3264	0	30192
CT _{Vj1}	223	0	0	0	0	0	223	0	223	0	0	0	0	669
CT _{Vj2}	0	0	1224	816	1632	1632	1224	1632	1224	1632	1632	1632	0	12648

APÊNDICE G

CENÁRIOS C E D: MEDIDAS DESCRITIVAS

	CENÁRIO C				CENÁRIO D				VARIÇÃO		
	MA	DP	CV	CC	MA	DP	CV	CC	MA	%CV	Δ%
LT _C	77169	46016	0,60	1,00	71265	26414	0,37	1,00	-0,08	-37,84	0,05%
PED _A	41032	36819	0,90	-0,71	36312	48409	1,33	-0,06	-0,12	48,57	-11,50%
PED _D	90973	41197	0,45	-0,25	110294	48409	0,44	-0,13	0,21	-3,08	21,24%
PED _V	112272	66795	0,59	0,26	114022	69268	0,61	0,23	0,02	2,11	1,56%
TPED _C	244277	76780	0,31	-0,25	260628	111523	0,43	0,07	0,07	36,14	6,69%
CT _A	2397	1562	0,65	0,06	2562	1520	0,59	0,25	0,07	-8,95	6,90%
CT _D	2146	1517	0,71	0,20	3792	2662	0,70	0,33	0,77	-0,74	76,73%
CT _V	1059	644	0,61	0,49	512	356	0,69	0,41	-0,52	14,21	-51,62%
CTT _c	5601	1786	0,32	0,40	6866	3031	0,44	0,46	0,23	38,45	22,59%
E _A	144028	66152	0,46	-0,37	119923	63539	0,53	-0,34	-0,17	15,36	-16,74%
E _D	90973	41197	0,45	-0,25	113437	59822	0,53	-0,11	0,25	16,45	24,69%
E _V	72452	35820	0,49	-0,20	73981	35703	0,48	-0,18	0,02	-2,39	2,11%
E _T	307452	62324	0,20	-0,67	307341	84044	0,27	-0,42	0,00	34,90	-0,04%
PE _A	-15280	64170	-4,20	-0,33	-34698	54581	-1,57	-0,22	1,27	-62,55	127,09%
PE _D	59275	49721	0,84	-0,02	76322	48221	0,63	0,18	0,29	-24,68	28,76%
PE _V	72288	55912	0,77	0,23	73139	61591	0,84	0,20	0,01	8,87	1,18%
TPE _c	116284	54158	0,47	-0,16	114762	57698	0,50	0,15	-0,01	7,95	-1,31%
PR _p	64962	53524	0,82	-0,11	70577	56098	0,79	0,19	0,09	-3,53	8,64%
PR _A	59349	62271	1,05	-0,22	55670	104009	1,87	-0,23	-0,06	78,07	-6,20%
PR _D	92120	45372	0,49	0,16	72780	9926	0,14	0,11	-0,21	-72,31	0,00%
TPR _C	193648	84363	0,44	-0,15	199026	132887	0,67	-0,05	0,03	53,26	2,78%
PP _A	64295	62316	0,97	-0,22	68167	100993	1,48	-0,17	0,06	52,86	14,86%
PP _D	82409	44950	0,55	0,31	89960	51888	0,58	0,19	0,09	5,75	9,16%
PP _V	177829	73491	0,41	0,67	169048	67671	0,40	0,65	-0,05	-3,14	-4,94%
TPP _c	319587	120748	0,38	0,41	327175	140650	0,43	0,26	0,02	13,78	2,37%
V _P	70692	46702	0,66	0,07	74290	52570	0,71	0,18	0,05	7,11	5,09%
V _A	66623	49283	0,74	0,19	72885	55627	0,76	0,28	0,09	3,17	9,40%
V _D	62353	41551	0,67	0,49	61674	44533	0,72	0,42	-0,01	8,36	-1,09%
V _V	70144	36257	0,52	0,96	71674	36247	0,51	0,96	0,02	-2,16	2,18%
TV _c	199119	89151	0,45	0,72	206232	102510	0,50	0,67	0,04	11,02	3,57%
PA _A	0	0	#DIV/0!	-0,16	206232	102510	0,50	0,28	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
PA _D	13073	19924	1,52	0,35	17180	25713	1,50	0,13	0,31	-1,80	31,42%
PA _V	93708	54115	0,58	0,62	84927	48278	0,57	0,58	-0,09	-1,56	-9,37%
TPAc	106780	65176	0,61	0,62	114604	72359	0,63	0,53	0,07	3,44	7,33%
C _A	3278	1611	0,49	0,39	3378	1770	0,52	0,36	0,03	6,60	3,07%
C _D	4577	2311	0,51	0,25	6793	3448	0,51	0,16	0,48	0,50	48,42%
C _V	3785	1757	0,46	0,48	3348	1478	0,44	0,52	-0,12	-4,92	-11,54%
CT _C	11640	4118	0,35	0,50	13520	5068	0,37	0,39	0,16	5,96	16,15%

APÊNDICE H RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO E

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
LT _C	0	(9471)	97166	(8284)	89409	46605	53849	55113	98656	54043	65091	51217	67095	660491
PED _A	20000	33994	20000	20000	20000	20000	44742	20000	20000	20000	41157	20000	20000	319893
PED _D	20000	49280	29364	51463	82655	77862	60011	77291	55891	23151	20000	20000	20000	586969
PED _V	20000	159341	99088	156906	135822	197223	174180	185396	133871	150746	120331	101029	1653932	1653932
TPED _C	60000	242615	148452	228369	238478	319826	254191	282687	209762	215053	160331	141029	67095	2560793
CT _A	0	0	1632	3264	4896	4896	6528	890	4896	4896	0	890	7418	40206
CT _D	408	0	1039	1039	1224	1224	1039	1039	1224	0	408	1447	0	10089
CT _V	408	0	1224	816	816	1039	1447	816	1039	816	1039	816	631	10907
CTT _C	816	0	3895	5119	6936	7159	9014	2745	7159	5712	1447	3153	8049	61202
E _A	200000	200000	141440	99075	76180	64056	86255	132469	59483	140456	194255	106783	114569	1615020
E _D	100000	27000	47139	58854	67050	87239	77318	82118	82118	116700	56362	39528	92920	934346
E _V	0	82509	0	79861,305	46845	53134	56369	86101	54000	61786	46191	60338	43736	591009
E _T	300000	309509	188579	157929	190075	204429	219942	300689	195601	318942	296808	206649	251225	3140375
PE _A	20000	20000	(19594)	(27262)	(39765)	(34944)	14255	(39745)	(39544)	41157	14255	(65431)	50355	(106264)
PE _D	20000	20000	(1301)	13184	36608	56419	29118	36904	55891	9700	(23736)	20000	(14080)	258708
PE _V	20000	20000	17353	64198	37471	46994	79961	77592	53277	45468	44020	41566	15308	563209
TPE _C	60000	60000	(3542)	50120	34314	68469	123335	74752	69624	96325	34539	(3866)	51582	715653
PR _P	0	18966	53662	64056	81000	108000	7786	80973	80701	0	7786	115786	(41140)	577576
PR _A	0	58560	61331	76558	92094	42886	61786	80773	0	26902	87472	0	68161	656522
PR _D	0	79861	46845	53134	56369	86101	54000	61786	46191	338	43736	34080	2689	565131
TPR _C	0	157388	161838	193747	229463	236987	123572	223532	126892	27240	138994	149866	29709	1799229
PP _A	58560	61331	76558	92094	58800	61786	80773	0	26902	87472	0	68161	68161	672437
PP _D	0	79861	46845	53134	56369	86101	54000	61786	46191	60338	43736	34080	2689	625131
PP _V	0	91344	91351	161908	164570	214133	259176	304270	304270	345564	373549	420653	466440	3197230
TPP _C	0	229765	199527	291600	313033	359034	374962	446829	350461	432804	504758	454734	537290	4494797
V _P	0	0	18966	53662	64056	81000	108000	7786	80973	80701	0	7786	115786	618716
V _A	27000	0	58560	61331	76558	76180	58800	61786	80773	0	26902	87472	0	615361
V _D	2509	0	79861	46845	53134	56369	86101	54000	61786	46191	60338	43736	34080	624950
V _V	50000	0	82509	0	79861	46845	53134	56369	86101	54000	61786	46191	60338	677134
TV _C	79509	0	220930	108176	209553	179394	198035	172155	228660	100191	149026	177399	94418	1917445
PA _A	0	0	0	0	0	15915	0	0	0	0	0	0	0	15915
PA _D	0	0	0	(0)	0	0	(0)	0	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
PA _V	0	0	8835	91351	82047	117725	160999	202807	218169	250270	283778	327358	360315	2103656
TPA _C	0	0	8835	91351	82047	133640	160999	202807	218169	250270	283778	327358	360315	2119570
C _A	0	2000	1707	2427	3324	4373	4424	5990	1627	4672	5346	1505	1774	39168
C _D	0	3813	2612	2628	2927	3538	3692	3430	3502	4206	2596	1846	3433	38225
C _V	0	3658	1650	2821	3350	2816	3229	4296	3618	3355	2976	3170	2897	37836
CT _C	0	9471	5969	7876	9601	10727	11345	13716	8747	12233	10917	6521	8105	115230
x _A	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	17
x _D	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	26
x _V	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	7
CT _{Aj1}	0	0	0	0	0	0	0	445	0	0	0	445	445	1335
CT _{Aj2}	0	0	816	1632	2448	2448	3264	0	2448	2448	0	0	3264	18768
CT _{Dj1}	0	0	445	445	0	0	445	445	0	0	0	445	0	2225
CT _{Dj2}	816	0	1632	1632	2448	2448	1632	1632	2448	0	816	2448	0	17952
CT _{Vj1}	0	0	0	0	0	223	223	0	223	0	223	0	223	1115
CT _{Vj2}	408	0	1224	816	816	816	1224	816	816	816	816	816	408	9792

APÊNDICE I

CENÁRIOS D E E: MEDIDAS DESCRITIVAS

	CENÁRIO D				CENÁRIO E				VARIÇÃO		
	MA	DP	CV	CC	MA	DP	CV	CC	MA	%CV	Δ%
LT_C	77204	46223	0,60	1,00	50807	9035	0,18	1,00	-0,34	-70,30	-28,71%
PED_A	36312	26414	0,73	-0,06	24607	24437	0,99	-0,22	-0,32	36,52	-32,23%
PED_D	110294	48409	0,44	-0,13	45151	24437	0,54	0,10	-0,59	23,31	-59,06%
PED_V	114022	69268	0,61	0,23	127226	55970	0,44	-0,02	0,12	-27,58	11,58%
TPED_C	260628	111523	0,43	0,07	196984	79239	0,40	-0,01	-0,24	-5,99	-24,42%
CT_A	2562	1520	0,59	0,25	3093	2647	0,86	0,38	0,21	44,25	20,71%
CT_D	3792	2662	0,70	0,33	776	533	0,69	0,34	-0,80	-2,22	-79,53%
CT_V	512	356	0,69	0,41	839	362	0,43	0,63	0,64	-37,87	63,81%
CTT_c	6866	3031	0,44	0,46	4708	2926	0,62	0,49	-0,31	40,79	-31,43%
E_A	119923	63539	0,53	-0,34	124232	49672	0,40	-0,46	0,04	-24,54	3,59%
E_D	113437	59822	0,53	-0,11	71873	25535	0,36	0,13	-0,37	-32,63	-36,64%
E_V	73981	35703	0,48	-0,18	51605	26762	0,52	-0,29	-0,30	7,46	-30,25%
E_T	307341	84044	0,27	-0,42	247710	50678	0,20	-0,54	-0,19	-25,18	-19,40%
PE_A	-34698	54581	-1,57	-0,22	-8174	36425	-4,46	-0,24	-0,76	183,29	-76,44%
PE_D	76322	48221	0,63	0,18	19901	24048	1,21	0,05	-0,74	91,26	-73,93%
PE_V	73139	61591	0,84	0,20	43324	21708	0,50	0,02	-0,41	-40,50	-40,77%
TPE_c	114762	57698	0,50	0,15	55050	35340	0,64	-0,20	-0,52	27,69	-52,03%
PR_p	70577	56098	0,79	0,19	44429	48473	1,09	0,19	-0,37	37,26	-37,05%
PR_A	55670	104009	1,87	-0,23	50502	33640	0,67	0,08	-0,09	-64,35	-9,28%
PR_D	92120	58214	0,63	0,11	43472	9926	0,23	-0,05	-0,53	-63,87	0,00%
TPR_C	199026	132887	0,67	-0,05	138402	78018	0,56	0,13	-0,30	-15,57	-30,46%
PP_A	73847	103292	1,40	-0,17	51726	33629	0,65	0,07	-0,30	-53,52	-24,12%
PP_D	89960	51888	0,58	0,19	48087	25025	0,52	-0,04	-0,47	-9,77	-46,55%
PP_V	169048	67671	0,40	0,65	245941	140033	0,57	0,41	0,45	42,24	45,49%
TPP_c	327175	140650	0,43	0,26	345754	144647	0,42	0,41	0,06	-2,68	5,68%
V_P	74290	52570	0,71	0,18	47594	43510	0,91	0,33	-0,36	29,19	-35,94%
V_A	72885	55627	0,76	0,28	47335	32442	0,69	0,36	-0,35	-10,20	-35,05%
V_D	61674	44533	0,72	0,42	48073	25052	0,52	0,69	-0,22	-27,83	-22,05%
V_V	71674	36247	0,51	0,96	52087	26664	0,51	0,92	-0,27	1,23	-27,33%
TV_c	206232	102510	0,50	0,67	147496	67011	0,45	0,80	-0,28	-8,60	-28,48%
PA_A	12497	24390	1,95	0,28	147496	67011	0,45	-0,03	10,80	-76,72	-90,20%
PA_D	17180	25713	1,50	0,13	0	0	-3,61	-0,13	-1,00	-340,91	-100,00%
PA_V	84927	48278	0,57	0,58	161820	123628	0,76	0,37	0,91	34,39	90,54%
TPAc	114604	72359	0,63	0,53	163044	123233	0,76	0,37	0,42	19,71	42,27%
C_A	3378	1770	0,52	0,36	3013	1800	0,60	0,21	-0,11	14,03	-10,81%
C_D	6793	3448	0,51	0,16	2940	1090	0,37	0,28	-0,57	-26,98	-56,71%
C_V	3348	1478	0,44	0,52	2910	1065	0,37	0,23	-0,13	-17,05	-13,08%
CT_C	13520	5068	0,37	0,39	8864	3460	0,39	0,27	-0,34	4,13	-34,44%

APÊNDICE J RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO F

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
LT _C	0	(13028)	107141	(2869)	64043	68792	106116	110421	91683	103304	97637	107178	118443	958860
PED _A	20000	60543	20000	20000	33383	42150	42120	20000	20000	20000	23812	20004	20000	362012
PED _D	#REF!	20000	79689	119644	136625	129047	113734	123485	171748	68372	46430	21083	49591	20000
PED _V	20000	51538	39611	84692	135879	210986	147141	106109	192306	120214	155153	184883	1468511	1468511
TPED _C	60000	191770	179254	241317	298309	366869	312746	297858	280678	186644	200048	254478	118443	2929971
CT _A	1632	0	1632	2893	3264	3264	3264	2893	2448	3709	1632	0	5712	32343
CT _D	1892	0	6120	4340	3672	4896	4896	4896	4896	2448	668	7344	668	46734
CT _V	204	0	612	612	816	816	724	816	816	816	816	408	112	7567
CTT _C	3728	0	8364	7845	7752	8976	8884	8605	8160	6973	3116	7752	6491	86644
E _A	200000	250000	132251	91887	95294	89796	93276	106125	86630	105597	216855	96525	96167	1660404
E _D	100000	130000	66950	117749	108235	86101	95294	89790	93295	106125	49229	2122	157287	1202177
E _V	80000	100000	8656	63050	66950	98177	101463	86101	95294	89771	93295	106125	49229	1038111
E _T	380000	480000	207856	272686	270479	274074	290033	282016	275219	301493	359379	204773	302683	3900691
PE _A	20000	20000	(49451)	(55377)	(44910)	(46934)	(30599)	(37245)	(75174)	(11023)	23812	(133475)	49006	(371368)
PE _D	20000	20000	74699	96412	77564	71395	75084	73066	89420	45354	(58649)	49409	47645	869688
PE _V	20000	20000	(8294)	50000	85127	119640	107564	101395	105065	103066	119420	75354	(28649)	#REF!
TPE _C	60000	60000	16955	91035	117781	144101	152049	137216	119311	137397	84584	(8711)	68002	1179719
PR _P	0	48299	82736	89796	93270	106125	86630	68196	113381	36957	0	182839	(34555)	873673
PR _A	0	117749	88663	79329	101562	83522	95481	194671	(41522)	2122	157287	358	(54535)	824687
PR _D	0	63050	95771	69356	101463	182619	79122	9425	174413	34283	71437	218971	97259	1197167
TPR _C	0	229098	267170	238481	296295	372266	261233	272292	246272	73362	228723	402167	8168	2895528
PP _A	117749	88663	79329	101562	89790	95481	196876	49229	2122	157287	358	(54535)	(54535)	923910
PP _D	0	63050	95771	98177	101463	182619	175640	89771	174413	115401	80712	250454	345590	1773061
PP _V	0	91344	82516	144417	163890	193348	193348	193348	193348	193348	193348	193348	193348	2028951
TPP _C	0	272144	266949	321923	366915	465757	464469	479995	416990	310871	431347	444160	484403	4725922
V _P	50000	0	48299	82736	89796	93270	106125	86630	68196	113381	36957	0	182839	958228
V _A	30000	0	117749	88663	79329	95294	89790	93276	106125	49229	2122	157287	358	909222
V _D	20000	0	63050	66950	98177	101463	86101	95294	89771	93295	106125	49229	2122	871577
V _V	50000	0	91344	8656	63050	66950	98177	101463	86101	95294	89771	93295	106125	950226
TV _C	100000	0	272144	164268	240556	263707	274068	290033	281997	237818	198018	299811	108605	2731025
PA _A	0	0	0	0	0	6268	0	2205	90751	0	0	0	0	99223
PA _D	0	0	0	28821	0	0	96518	80346	0	81118	9276	31483	248331	575893
PA _V	0	0	0	73860	81367	96940	95171	91885	107247	98054	103577	100053	87223	935377
TPA _C	0	0	0	102681	81367	103208	191689	174436	197998	179172	112853	131536	335554	1610494
C _A	0	3882	1911	2753	3829	4189	4179	4261	3857	3409	5321	3199	963	41754
C _D	0	5342	2954	8890	7729	6587	7617	7672	7642	7887	4778	1438	9735	78272
C _V	0	3804	2173	2046	3212	4119	4809	4475	4444	4517	4477	4804	3515	46395
CT _C	0	13028	7039	13689	14770	14895	16605	16408	15943	15814	14577	9441	14214	166422
x _A	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	15
x _D	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	26
x _V	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	26
CT _{Aj1}	0	0	0	445	0	0	0	445	0	445	0	0	0	1335
CT _{Aj2}	1632	0	1632	2448	3264	3264	3264	2448	2448	3264	1632	0	5712	31008
CT _{Dj1}	445	0	0	445	0	0	0	0	0	0	445	0	445	1780
CT _{Dj2}	816	0	4080	2448	2448	3264	3264	3264	3264	1632	0	4896	0	29376
CT _{Vj1}	0	0	0	0	0	0	223	0	0	0	0	0	223	446
CT _{Vj2}	408	1224	1224	70557	1632	1632	1224	1632	1632	1632	1632	816	0	14688

APÊNDICE K

CENÁRIO D E F: MEDIDAS DESCRITIVAS

	CENÁRIO D				CENÁRIO F				VARIÇÃO		
	MA	DP	CV	CC	MA	DP	CV	CC	MA	%CV	Δ%
LT_C	71265	46223	0,65	1,00	73758	12964	0,18	1,00	0,03	-72,90	3,50%
PED_A	36312	26414	0,73	-0,06	27847	51004	1,83	-0,40	-0,23	151,79	-23,31%
PED_D	117818	41876	0,36	-0,13	84573	51004	0,60	-0,03	-0,28	69,68	-23,32%
PED_V	114022	69268	0,61	0,23	112962	65756	0,58	0,34	-0,01	-4,18	-0,93%
TPED_C	260628	111523	0,43	0,07	225382	92413	0,41	0,17	-0,14	-4,18	-13,52%
CT_A	2562	1520	0,59	0,25	2488	1544	0,62	0,37	-0,03	4,58	-2,89%
CT_D	3792	2662	0,70	0,33	3595	2274	0,63	0,35	-0,05	-9,90	-5,19%
CT_V	512	356	0,69	0,41	582	301	0,52	0,45	0,14	-25,68	13,64%
CTT_c	6866	3031	0,44	0,46	6665	2718	0,41	0,55	-0,03	-7,61	-2,93%
E_A	119923	63539	0,53	-0,34	127723	56062	0,44	-0,50	0,07	-17,16	6,50%
E_D	113437	59822	0,53	-0,11	92475	38167	0,41	-0,34	-0,18	-21,74	-18,48%
E_V	73981	35703	0,48	-0,18	79855	27251	0,34	-0,10	0,08	-29,29	7,94%
E_T	307341	84044	0,27	-0,42	300053	72584	0,24	-0,60	-0,02	-11,54	-2,37%
PE_A	-34698	54581	-1,57	-0,22	-28567	48992	-1,72	-0,20	-0,18	9,03	-17,67%
PE_D	76322	48221	0,63	0,18	52415	41082	0,78	0,05	-0,31	24,05	-31,32%
PE_V	73139	61591	0,84	0,20	66899	50843	0,76	0,26	-0,09	-9,75	-8,53%
TPE_c	114762	57698	0,50	0,15	90748	50225	0,55	0,10	-0,21	10,08	-20,93%
PR_P	70577	56098	0,79	0,19	67206	57364	0,85	0,10	-0,05	7,39	-4,78%
PR_A	55670	104009	1,87	-0,23	63437	76075	1,20	-0,09	0,14	-35,81	13,95%
PR_D	72780	9926	0,14	0,11	92090	43589	0,47	0,29	0,27	247,06	0,00%
TPR_C	199026	132887	0,67	-0,05	222733	124070	0,56	0,15	0,12	-16,57	11,91%
PP_A	73847	103292	1,40	-0,17	71070	69971	0,98	-0,05	-0,04	-29,61	4,26%
PP_D	89960	51888	0,58	0,19	136389	89407	0,66	0,58	0,52	13,65	51,61%
PP_V	169048	67671	0,40	0,65	156073	61422	0,39	0,67	-0,08	-1,69	-7,68%
TPP_c	327175	140650	0,43	0,26	363532	134512	0,37	0,66	0,11	-13,93	11,11%
V_P	74290	52570	0,71	0,18	73710	49057	0,67	0,37	-0,01	-5,95	-0,78%
V_A	72885	55627	0,76	0,28	69940	49667	0,71	0,31	-0,04	-6,96	-4,04%
V_D	61674	44533	0,72	0,42	67044	37974	0,57	0,41	0,09	-21,56	8,71%
V_V	71674	36247	0,51	0,96	73094	34609	0,47	0,96	0,02	-6,37	1,98%
TV_c	206232	102510	0,50	0,67	210079	91710	0,44	0,70	0,02	-12,17	1,87%
PA_A	12497	24390	1,95	0,28	7633	91710	12,02	0,12	-0,39	515,66	-38,92%
PA_D	17180	25713	1,50	0,13	44299	70955	1,60	0,46	1,58	7,02	157,85%
PA_V	84927	48278	0,57	0,58	71952	41967	0,58	0,58	-0,15	2,60	-15,28%
TPA_c	114604	72359	0,63	0,53	123884	95487	0,77	0,63	0,08	22,08	8,10%
C_A	3378	1770	0,52	0,36	3212	1472	0,46	0,23	-0,05	-12,52	-4,92%
C_D	6793	3448	0,51	0,16	6021	2963	0,49	0,20	-0,11	-3,06	-11,37%
C_V	3348	1478	0,44	0,52	3569	1410	0,40	0,61	0,07	-10,45	6,59%
CT_C	13520	5068	0,37	0,39	12802	4735	0,37	0,38	-0,05	-1,33	-5,31%

APÊNDICE L RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO G

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
LT _C	0	(11092)	97323	(16743)	62055	72207	105966	110545	95756	103718	98267	92407	117481	927889
PED _A	20000	90196	20000	77865	24412	20787	20000	20000	28874	20000	20000	20020	20000	402155
PED _D	20000	124215	148084	176508	99764	130185	109323	107338	110385	102660	24608	77489	20000	1250558
PED _V	20000	50479	63996	85550	140312	121914	169590	176858	134916	167949	139070	44760	1335394	1335394
TPED _C	60000	264890	232080	339924	264488	272886	298913	304196	274176	290609	183677	142268	117481	2988107
CT _A	816	0	3264	4525	1261	2448	4525	445	3264	4080	445	4080	1632	30785
CT _D	1261	0	6528	0	3709	4080	1632	2448	3264	1632	3264	2448	445	30711
CT _V	223	0	1039	1224	1632	1632	1447	1632	1632	1447	1632	223	223	13986
CTT _c	2300	0	10831	5749	6602	8160	7604	4525	8160	7159	5341	6751	2300	75482
E _A	200000	218400	18760	113756	141614	42486	71616	142209	42275	94731	122160	56431	183527	1447967
E _D	100000	130000	69042	199640	101463	113756	155061	102253	84099	106125	42275	136241	202866	1542820
E _V	80000	82516	0	60958	69042	98177	101463	86101	95294	89771	84099	106125	765	954310
E _T	380000	430916	87802	374354	312119	254419	328140	330563	221668	290627	248534	298797	387158	3945097
PE _A	20000	20000	(84644)	56969	(28508)	(84298)	15426	(50000)	(61395)	18490	(74197)	(14493)	31833	(234817)
PE _D	20000	20000	158682	89640	105219	131162	87547	63870	80224	38400	27005	94013	93245	1009007
PE _V	20000	20000	(1558)	67484	104703	137124	125048	118879	122549	111354	127708	44374	(60604)	937059
TPE _c	60000	60000	72480	214093	181414	183988	228021	132748	141378	168244	80516	123893	64474	1711249
PR _P	0	94996	141614	28278	71616	142209	6191	94731	122160	2043	127476	46706	(16014)	862006
PR _A	0	199640	(20303)	166410	(10450)	(1872)	41716	83271	57779	123101	(4593)	(31655)	(140313)	462731
PR _D	0	60958	131108	36132	71218	(30419)	89084	115959	24734	113190	22724	773	161209	796670
TPR _C	0	355594	252419	230821	132385	109919	136990	293960	204674	238334	145607	15824	4881	2121407
PP _A	199640	0	166410	127406	51573	71684	106125	49250	148160	67772	379	(140276)	(140276)	848123
PP _D	0	60958	97373	98177	141867	86101	95294	89771	84099	106125	765	1147	161897	1023572
PP _V	0	91344	131066	201623	222323	239839	281560	316426	358824	389463	421109	464393	518239	3636209
TPP _C	0	351942	228439	466210	491595	377513	448538	512322	492172	643748	489646	465919	539859	5507904
V _P	18400	0	94996	141614	28278	71616	142209	6191	94731	122160	2043	127476	46706	896420
V _A	30000	0	199640	0	113756	127406	42486	71616	106125	42275	94731	67772	379	896186
V _D	2516	0	60958	69042	98177	101463	86101	95294	89771	84099	106125	765	1147	795457
V _V	50000	0	82516	0	60958	69042	98177	101463	86101	95294	89771	84099	106125	923546
TV _c	82516	0	343114	69042	272891	297911	226764	268373	281997	221668	290627	152635	107651	2615189
PA _A	0	0	0	0	52654	0	9087	67	0	6975	53430	0	0	122213
PA _D	0	0	0	28331	0	40404	0	0	(0)	0	0	0	0	68734
PA _V	0	0	8828	131066	140665	153281	141662	180097	230325	263530	299692	337011	358268	2244424
TPA _c	0	0	8828	159397	193319	193684	150749	180164	230325	270505	353122	337011	358268	2435372
C _A	0	2908	1186	3927	5802	2181	3019	5594	1367	3949	5164	1338	5280	41715
C _D	0	4711	2986	10558	4517	6937	8112	5492	5243	6117	3858	5942	7535	72008
C _V	0	3473	1650	2258	3824	4976	5625	5198	5260	5333	4924	5436	2361	50320
CT _C	0	11092	5822	16743	14142	14095	16756	16284	11871	15400	13947	12716	15175	164043
x _A	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	18
x _D	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	25
x _V	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	26
CT _{Aj1}	0	0	0	445	445	0	445	445	0	0	445	0	0	2225
CT _{Dj2}	816	0	3264	4080	816	2448	4080	0	3264	4080	0	4080	1632	28560
CT _{Dj1}	445	0	0	0	445	0	0	0	0	0	0	0	445	1335
CT _{Dj2}	816	0	6528	0	3264	4080	1632	2448	3264	1632	3264	2448	0	29376
CT _{Vj1}	223	0	223	0	0	0	223	0	0	223	0	223	223	1338
CT _{Vj2}	0	0	816	1224	1632	1632	1224	1632	1632	1224	1632	0	0	12648

APÊNDICE M CENÁRIOS A E G: MEDIDAS DESCRITIVAS

	CENÁRIO A				CENÁRIO G				VARIÇÃO		
	MA	DP	CV	CC	MA	DP	CV	CC	MA	%CV	Δ%
LT_C	66841	46279	0,69	1,00	71376	23840	0,33	1,00	0,07	-51,76	6,79%
PED_A	25236	9124	0,36	-0,23	30935	48923	1,58	-0,77	0,23	337,42	22,58%
PED_D	74260	41107	0,55	-0,04	96197	48923	0,51	-0,25	0,30	-8,13	29,54%
PED_V	97355	53153	0,55	0,18	102723	57685	0,56	0,43	0,06	2,85	5,51%
TPED_C	196851	80641	0,41	0,07	229854	91221	0,40	-0,06	0,17	-3,12	16,77%
CT_A	2243	1308	0,58	0,18	2368	1682	0,71	-0,13	0,06	21,77	5,60%
CT_D	2140	1325	0,62	0,27	2362	1846	0,78	0,46	0,10	26,15	10,40%
CT_V	1027	641	0,62	0,35	1076	657	0,61	0,39	0,05	-2,10	4,72%
CTT_C	5410	2289	0,42	0,36	5806	2931	0,50	0,26	0,07	19,28	7,33%
E_A	141029	54021	0,38	-0,39	111382	64211	0,58	-0,48	-0,21	50,50	-21,02%
E_D	87671	36912	0,42	-0,18	118678	46544	0,39	-0,23	0,35	-6,85	35,37%
E_V	68846	33349	0,48	-0,34	73408	34712	0,47	-0,09	0,07	-2,38	6,63%
E_T	297545	67873	0,23	-0,57	303469	88675	0,29	-0,51	0,02	28,10	1,99%
PE_A	-24565	39282	-1,60	-0,38	-18063	48704	-2,70	-0,47	-0,26	68,62	-26,47%
PE_D	39304	36881	0,94	0,16	77616	42712	0,55	0,32	0,97	-41,36	97,48%
PE_V	63156	53420	0,85	0,03	72081	62394	0,87	0,20	0,14	2,34	14,13%
TPE_C	77894	46122	0,59	-0,16	131635	60340	0,46	0,06	0,69	-22,58	68,99%
PR_P	59113	45487	0,77	0,33	66308	58238	0,88	0,10	0,12	14,14	12,17%
PR_A	55082	51118	0,93	-0,23	35595	91049	2,56	-0,54	-0,35	175,63	-35,38%
PR_D	92120	59326	0,64	0,28	61282	9926	0,16	0,43	-0,33	-74,85	0,00%
TPR_C	182592	83895	0,46	0,24	163185	112626	0,69	-0,17	-0,11	50,21	-10,63%
PP_A	59722	50470	0,85	-0,23	65240	89516	1,37	-0,47	0,09	62,36	18,34%
PP_D	78804	50384	0,64	0,20	78736	51211	0,65	0,25	0,00	1,73	-0,09%
PP_V	198368	90914	0,46	0,67	279708	152055	0,54	0,73	0,41	18,61	41,00%
TPP_C	332300	119162	0,36	0,49	423685	161388	0,38	0,51	0,28	6,22	27,50%
V_P	64300	39463	0,61	0,16	68955	54869	0,80	0,15	0,07	29,65	7,24%
V_A	61633	39968	0,65	0,31	68937	58948	0,86	0,42	0,12	31,86	11,85%
V_D	56826	40615	0,71	0,31	61189	43435	0,71	0,36	0,08	-0,68	7,68%
V_V	66361	33923	0,51	0,95	71042	35359	0,50	0,96	0,07	-2,63	7,05%
TV_C	184820	81886	0,44	0,70	201168	107193	0,53	0,69	0,09	20,27	8,85%
PA_A	46	165	3,61	0,18	201168	107193	0,53	0,13	4384,97	-85,22	20396,51%
PA_D	10407	22232	2,14	-0,30	5287	13139	2,49	-0,32	-0,49	16,33	-49,19%
PA_V	114247	72607	0,64	0,63	172648	122403	0,71	0,64	0,51	11,56	51,12%
TPA_C	124700	77844	0,62	0,50	187336	126548	0,68	0,60	0,50	8,21	50,23%
C_A	3232	1459	0,45	0,31	3209	1916	0,60	0,26	-0,01	32,27	-0,72%
C_D	4433	1947	0,44	0,28	5539	2584	0,47	0,08	0,25	6,23	24,94%
C_V	3637	1595	0,44	0,41	3871	1795	0,46	0,56	0,06	5,70	6,42%
CT_C	11303	4133	0,37	0,00	12619	4800	0,38	0,35	0,12	4,02	11,64%

APÊNDICE N RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO H

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
LT _C	0	(11066)	93483	(7691)	31330	87570	84213	59334	(9965)	97235	92718	46255	120742	684158
PED _A	20000	20000	170227	160300	233770	90926	102923	20000	20000	20085	43862	20000	20000	942094
PED _D	20000	72563	93262	35613	20000	24133	77824	94082	62369	30248	20449	23830	20000	594372
PED _V	20000	39453	42587	136071	61834	45034	20267	91037	174710	60760	86826	32411	830988	830988
TPED _C	60000	132016	306076	331984	315603	160093	201014	205119	257079	111092	151136	76241	120742	2367454
CT _A	1632	0	0	4080	2448	2448	0	1632	0	2077	816	2077	2448	19658
CT _D	816	0	0	1632	2448	2893	2448	1632	3709	0	1632	4080	0	21290
CT _V	0	0	816	1224	1224	816	0	1447	1447	816	1632	0	0	9422
CTT _c	2448	0	816	6936	6120	6157	2448	4711	5156	2893	4080	6157	2448	50370
E _A	200000	243103	165773	111773	243907	237401	233029	189103	136978	136978	172704	63906	103606	2238260
E _D	100000	113480	78053	77329	54000	0	87505	81000	43926	106125	0	25896	160584	927898
E _V	80000	80000	0	35427	78053	77329	54000	0	87505	81000	43926	106125	0	723366
E _T	380000	436582	243826	224530	375959	314730	374534	270103	268409	324103	216630	195928	264190	3889523
PE _A	20000	20000	(57329)	20804	101804	90926	9926	20000	(86125)	(24502)	(24509)	(119496)	(38496)	(66997)
PE _D	20000	20000	61902	37850	(39480)	(5974)	75026	31446	56571	12645	(67584)	67104	67104	336611
PE _V	20000	20000	(24573)	53480	95382	71329	(6000)	27505	108505	64926	90051	46125	(60000)	506731
TPE _c	60000	60000	(20000)	112133	157706	156281	78952	78952	78952	53069	(2041)	(6267)	(31392)	776345
PR _P	0	0	132133	81000	76627	0	54000	0	61623	25890	39700	81000	33966	585940
PR _A	0	77329	46136	(3290)	87505	44293	4116	92149	8529	25896	129511	(63663)	(69299)	379213
PR _D	0	35427	122310	150412	(61098)	(47888)	47837	115702	120569	(7588)	(5874)	(24976)	145694	590528
TPR _C	0	112756	300579	228122	103035	(3595)	105953	207851	190722	44199	163338	(7639)	110362	1555681
PP _A	77329	54000	0	87505	81000	43926	106125	0	25896	134688	0	(69299)	(69299)	541171
PP _D	0	35427	102704	213177	130397	69019	116855	121004	214138	158934	24976	0	145694	1332324
PP _V	0	91344	132371	202928	249521	256741	310450	376469	462570	498494	535819	602992	656838	4376538
TPP _c	0	204100	289075	416105	467423	406760	471231	603599	676708	683324	695482	602992	733234	6250033
V _P	43103	0	0	132133	81000	76627	0	54000	0	61623	25890	39700	81000	595076
V _A	13480	0	77329	54000	0	87505	81000	43926	106125	0	25896	134688	0	623949
V _D	0	0	35427	78053	77329	54000	0	87505	81000	43926	106125	0	0	563366
V _V	50000	0	80000	0	35427	78053	77329	54000	0	87505	81000	43926	106125	693366
TV _c	63480	0	192756	132053	112756	219558	158329	185432	187125	131432	213021	178614	106125	1880681
PA _A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PA _D	0	0	0	24651	135848	76397	69019	29350	40004	170212	52809	24976	0	623264
PA _V	0	0	11344	132371	167501	171468	179411	256450	376469	375065	417494	491893	496867	3076334
TPA _c	0	0	11344	157022	303349	247865	248430	285800	416474	545277	470303	516868	496867	3699598
C _A	0	3848	2044	1388	5858	4855	4800	2111	3262	1370	3625	1999	2915	38075
C _D	0	4018	2873	4779	3602	810	4206	4976	3506	5960	1592	2020	6877	45218
C _V	0	3200	1600	1525	3494	4332	3443	1080	3197	4817	3315	4633	2123	36757
CT _C	0	11066	6517	7691	12954	9996	12448	8166	9965	12147	8532	8653	11914	120049
x _A	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	8
x _D	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	19
x _V	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	24
CT _{Aj1}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	445	0	445	0	890
CT _{Aj2}	1632	0	0	4080	2448	2448	0	1632	0	1632	816	1632	2448	18768
CT _{Dj1}	0	0	0	0	0	445	0	0	445	0	0	0	0	890
CT _{Dj2}	816	0	0	1632	2448	2448	2448	1632	3264	0	1632	4080	0	20400
CT _{Vj1}	0	0	0	0	0	0	0	223	223	0	0	0	0	446
CT _{Vj2}	0	0	816	1224	1224	816	0	1224	1224	816	1632	0	0	8976

APÊNDICE O CENÁRIOS B E H: MEDIDAS DESCRITIVAS

	CENÁRIO B				CENÁRIO H				VARIAÇÃO		
	MA	DP	CV	CC	MA	DP	CV	CC	MA	%CV	Δ%
LT_C	62758	43790	0,70	1,00	52628	47475	0,90	1,00	-0,16	29,28	-16,14%
PED_A	24585	11976	0,49	-0,53	72469	73393	1,01	-0,02	1,95	107,91	194,77%
PED_D	67315	39574	0,59	-0,12	45721	29633	0,65	-0,06	-0,32	10,25	-32,08%
PED_V	86989	49421	0,57	0,03	63922	47365	0,74	-0,45	-0,27	30,43	-26,52%
TPED_C	178889	71346	0,40	-0,14	182112	96689	0,53	-0,25	0,02	33,12	1,80%
CT_A	1952	1330	0,68	0,22	1512	1275	0,84	-0,01	-0,23	23,77	-22,51%
CT_D	1826	1348	0,74	0,28	1638	1430	0,87	-0,24	-0,10	18,26	-10,31%
CT_V	888	579	0,65	0,35	725	647	0,89	-0,05	-0,18	36,63	-18,34%
CTT_c	4665	1825	0,39	0,48	3875	2211	0,57	-0,18	-0,17	45,89	-16,94%
E_A	147218	58531	0,40	-0,40	172174	59010	0,34	-0,09	0,17	-13,80	16,95%
E_D	78591	40742	0,52	-0,19	71377	46101	0,65	0,04	-0,09	24,59	-9,18%
E_V	64499	32022	0,50	-0,48	55644	36745	0,66	-0,45	-0,14	33,01	-13,73%
E_T	290307	70106	0,24	-0,67	299194	74709	0,25	-0,27	0,03	3,40	3,06%
PE_A	-23535	48288	-2,05	-0,29	-5154	63037	-12,23	-0,08	-0,78	496,16	-78,10%
PE_D	28131	40157	1,43	0,07	25893	43296	1,67	-0,02	-0,08	17,14	-7,96%
PE_V	54773	46615	0,85	-0,05	38979	49426	1,27	-0,38	-0,29	48,99	-28,83%
TPE_c	59369	41463	0,70	-0,33	59719	61679	1,03	-0,40	0,01	47,89	0,59%
PR_P	54375	47508	0,87	0,18	45072	40985	0,91	0,05	-0,17	4,07	-17,11%
PR_A	51986	49917	0,96	-0,20	29170	58848	2,02	-0,03	-0,44	110,10	-43,89%
PR_D	64020	52983	0,83	0,13	92120	9926	0,11	-0,06	0,44	-86,98	0,00%
TPR_C	170381	74344	0,44	0,08	119668	96280	0,80	-0,04	-0,30	84,39	-29,76%
PP_A	56319	49518	0,88	-0,20	41629	55821	1,34	0,07	-0,26	52,51	-19,92%
PP_D	91693	52123	0,57	0,35	102486	72877	0,71	-0,05	0,12	25,09	11,77%
PP_V	216331	107074	0,49	0,65	336657	205050	0,61	0,51	0,56	23,06	55,62%
TPP_c	360010	144334	0,40	0,54	480772	218641	0,45	0,47	0,34	13,43	33,54%
V_P	59247	43020	0,73	0,22	45775	40856	0,89	0,01	-0,23	22,92	-22,74%
V_A	56540	43938	0,78	0,24	47996	45964	0,96	-0,05	-0,15	23,23	-15,11%
V_D	52790	37657	0,71	0,35	43336	40041	0,92	-0,06	-0,18	29,53	-17,91%
V_V	62191	31893	0,51	0,94	53336	36023	0,68	0,95	-0,14	31,70	-14,24%
TV_c	171522	76910	0,45	0,70	144668	63084	0,44	0,47	-0,16	-2,75	-15,66%
PA_A	0	0	#DIV/0!	-0,15	144668	63084	0,44	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	-100,00%
PA_D	27673	27674	1,00	0,41	47943	53718	1,12	0,25	0,73	12,04	73,25%
PA_V	132210	89420	0,68	0,62	236641	180420	0,76	0,42	0,79	12,73	78,99%
TPA_c	159883	109351	0,68	0,61	284584	198910	0,70	0,45	0,78	2,19	78,00%
C_A	2952	1360	0,46	0,27	2929	1657	0,57	0,16	-0,01	22,82	-0,78%
C_D	3894	1964	0,50	0,27	3478	1995	0,57	0,23	-0,11	13,68	-10,67%
C_V	3327	1424	0,43	0,32	2827	1460	0,52	0,27	-0,15	20,64	-15,02%
CT_C	10173	3618	0,36	0,37	9235	3432	0,37	0,33	-0,09	4,48	-9,22%

APÊNDICE P

CENÁRIO G E H: MEDIDAS DESCRITIVAS

	CENÁRIO G				CENÁRIO H				VARIÇÃO		
	MA	DP	CV	CC	MA	DP	CV	CC	MA	%CV	Δ%
LT_C	71376	48377	0,68	1,00	52628	73393	1,39	1,00	-0,26	105,76	-26,27%
PED_A	30935	23840	0,77	-0,23	72469	29633	0,41	-0,77	1,34	-46,94	134,26%
PED_D	96197	48923	0,51	-0,04	45721	29633	0,65	-0,25	-0,52	27,44	-52,47%
PED_V	102723	57685	0,56	0,18	63922	47365	0,74	0,43	-0,38	31,95	-37,77%
TPED_C	229854	91221	0,40	0,07	182112	96689	0,53	-0,06	-0,21	33,78	-20,77%
CT_A	2368	1682	0,71	0,18	1512	1275	0,84	-0,13	-0,36	18,73	-36,14%
CT_D	2362	1846	0,78	0,27	1638	1430	0,87	0,46	-0,31	11,79	-30,68%
CT_V	1076	657	0,61	0,35	725	647	0,89	0,39	-0,33	46,01	-32,63%
CTT_C	5806	2931	0,50	0,36	3875	2211	0,57	0,26	-0,33	13,04	-33,27%
E_A	111382	64211	0,58	-0,39	172174	59010	0,34	-0,48	0,55	-40,55	54,58%
E_D	118678	46544	0,39	-0,18	71377	46101	0,65	-0,23	-0,40	64,69	-39,86%
E_V	73408	34712	0,47	-0,34	55644	36745	0,66	-0,09	-0,24	39,65	-24,20%
E_T	303469	88675	0,29	-0,57	299194	74709	0,25	-0,51	-0,01	-14,55	-1,41%
PE_A	-18063	48704	-2,70	-0,38	-5154	63037	-12,23	-0,47	-0,71	353,63	-71,47%
PE_D	77616	42712	0,55	0,16	25893	43296	1,67	0,32	-0,67	203,85	-66,64%
PE_V	72081	62394	0,87	0,03	38979	49426	1,27	0,20	-0,46	46,49	-45,92%
TPE_C	131635	60340	0,46	-0,16	59719	61679	1,03	0,06	-0,55	125,32	-54,63%
PR_P	66308	58238	0,88	0,33	45072	40985	0,91	0,10	-0,32	3,53	-32,03%
PR_A	35595	91049	2,56	-0,23	29170	58848	2,02	-0,54	-0,18	-21,13	-18,05%
PR_D	92120	58236	0,63	0,28	45425	9926	0,22	0,43	-0,51	-65,43	0,00%
TPR_C	163185	112626	0,69	0,24	119668	96280	0,80	-0,17	-0,27	16,57	-26,67%
PP_A	70677	91227	1,29	-0,23	41629	55821	1,34	-0,47	-0,41	3,89	-36,19%
PP_D	78736	51211	0,65	0,20	102486	72877	0,71	0,25	0,30	9,33	30,16%
PP_V	279708	152055	0,54	0,67	336657	205050	0,61	0,73	0,20	12,04	20,36%
TPP_C	423685	161388	0,38	0,49	480772	218641	0,45	0,51	0,13	19,39	13,47%
V_P	68955	54869	0,80	0,16	45775	40856	0,89	0,15	-0,34	12,17	-33,62%
V_A	68937	58948	0,86	0,31	47996	45964	0,96	0,42	-0,30	11,99	-30,38%
V_D	61189	43435	0,71	0,31	43336	40041	0,92	0,36	-0,29	30,16	-29,18%
V_V	71042	35359	0,50	0,95	53336	36023	0,68	0,96	-0,25	35,70	-24,92%
TV_C	201168	107193	0,53	0,70	144668	63084	0,44	0,69	-0,28	-18,17	-28,09%
PA_A	9401	19599	2,08	0,18	144668	63084	0,44	0,13	14,39	-79,08	-100,00%
PA_D	5287	13139	2,49	-0,30	47943	53718	1,12	-0,32	8,07	-54,91	806,77%
PA_V	172648	122403	0,71	0,63	236641	180420	0,76	0,64	0,37	7,54	37,07%
TPA_C	187336	126548	0,68	0,50	284584	198910	0,70	0,60	0,52	3,47	51,91%
C_A	3209	1916	0,60	0,31	2929	1657	0,57	0,26	-0,09	-5,27	-8,73%
C_D	5539	2584	0,47	0,28	3478	1995	0,57	0,08	-0,37	22,95	-37,20%
C_V	3871	1795	0,46	0,41	2827	1460	0,52	0,56	-0,27	11,35	-26,95%
CT_C	12619	4800	0,38	0,00	9235	3432	0,37	0,35	-0,27	-2,30	-26,82%

APÊNDICE Q

RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO I

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
LT _C	0	(13475)	96597	(14231)	65870	62503	104076	106450	92464	99453	100420	101737	119880	921743
PED _A	20000	44876	51180	25796	20000	62136	20000	20000	20000	41272	20000	20000	20000	385260
PED _D	#REF!	20000	96546	129847	288633	20000	276315	20000	148685	95098	78995	20000	20000	20000
PED _V	20000	69966	95009	322602	156791	286146	160099	149747	155890	161122	160946	39888	1798207	1798207
TPED _C	60000	211388	276036	637030	196791	624597	200099	318432	270988	281389	200946	79888	119880	3417585
CT _A	1632	0	1632	4080	1632	3264	4896	0	4080	3264	0	3709	0	28189
CT _D	2837	0	7344	7344	6509	7344	7344	7344	7344	1001	7344	2837	0	64593
CT _V	56	0	306	306	408	408	362	408	408	408	408	56	408	3941
CTT _c	4525	0	9282	11730	8549	11016	12602	7752	11832	4673	7752	6602	408	96723
E _A	200000	250000	151823	86101	134502	89771	93295	156705	50580	177339	174323	141272	250000	1955711
E _D	100000	130000	62562	98177	101463	86101	95294	89771	93295	106125	7282	96949	33051	1100070
E _V	80000	82516	0	67438	62562	98177	101463	86101	95294	89771	93295	106125	7282	970024
E _T	380000	462516	214385	251716	298527	274049	290052	332577	239169	373235	274900	344345	290334	4025805
PE _A	20000	20000	(42436)	(9397)	(44935)	(46934)	20000	(73295)	(45379)	41272	(55677)	20000	20000	(176781)
PE _D	20000	20000	50739	89640	77564	71395	75065	73066	89420	3407	(5769)	20000	(76949)	1064289
PE _V	20000	20000	4922	67484	98223	137124	125048	118879	122549	120550	136904	50891	41715	#REF!
TPE _c	60000	60000	13225	147727	130852	161585	220113	118650	166590	165229	75458	90891	(15234)	1395086
PR _P	0	35741	134502	50563	93295	156705	0	134041	93933	0	108728	0	0	807508
PR _A	0	98177	101463	255226	(73831)	262829	(70626)	96988	7282	96949	33051	0	124345	931853
PR _D	0	67438	121589	344328	79049	201133	47308	41662	45000	54760	32449	(14851)	(29308)	990557
TPR _C	0	201356	357554	650117	98513	620667	(23317)	272691	146215	151708	174228	(14851)	95037	2729919
PP _A	98177	101463	255226	95294	262829	102432	106125	7282	96949	33051	0	124345	124345	1283173
PP _D	0	67438	121589	403355	384227	483897	445104	391472	346701	308166	234490	212357	86101	3484897
PP _V	0	91344	91344	161901	176986	210832	210832	210832	210832	210832	210832	210832	210832	2208231
TPP _C	0	256959	314396	820482	656507	957557	758368	708429	564816	615947	478373	423189	421278	6976301
V _P	50000	0	35741	134502	50563	93295	156705	0	134041	93933	0	108728	0	857508
V _A	30000	0	98177	101463	86101	95294	89771	93295	106125	7282	96949	33051	0	837508
V _D	2516	0	67438	62562	98177	101463	86101	95294	89771	93295	106125	7282	96949	906973
V _V	50000	0	82516	0	67438	62562	98177	101463	86101	95294	89771	93295	106125	932742
TV _c	82516	0	248131	164025	251716	259319	274049	290052	281997	195871	292845	133629	203074	2677223
PA _A	0	0	0	0	169125	0	173058	9137	0	0	0	0	0	351320
PA _D	0	0	0	59027	305178	282764	397796	349810	301701	253406	202041	227208	115409	2494340
PA _V	0	0	8828	91344	94463	114424	112655	109369	124731	115538	121061	117537	104707	1114657
TPA _c	0	0	8828	150371	568766	397188	683508	468316	426432	368944	323102	344745	220116	3960316
C _A	0	3882	2009	2822	5183	2753	4179	6146	1036	5220	5022	1578	5665	45496
C _D	0	6287	2888	9755	10339	9323	10065	10120	10090	10335	2702	8907	4787	95599
C _V	0	3306	1650	1655	2906	3623	4401	4113	4036	4109	4069	4396	2324	40589
CT _C	0	13475	6548	14231	18428	15699	18645	20379	15162	19664	11794	14882	12777	181684
x _A	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	19
x _D	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	17
x _V	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	18
CT _{Aj1}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	445	0	445
CT _{Aj2}	1632	0	1632	4080	1632	3264	4896	0	4080	3264	0	3264	0	27744
CT _{Dj1}	668	0	0	0	668	0	0	0	0	668	0	668	0	2670
CT _{Dj2}	1224	0	4896	4896	3672	4896	4896	4896	4896	0	4896	1224	0	40392
CT _{Vj1}	112	0	0	0	0	0	112	0	0	0	0	112	0	335
CT _{Vj2}	0	612	612	#REF!	816	816	612	816	816	816	816	0	816	7548

APÊNDICE R

RESULTADOS GERAIS DO CENÁRIO J

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
LT _C	0	(8306)	97795	(11618)	90645	10639	3239	107272	91594	(8104)	8307	9533	16753	407747
PED _A	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	2631209	114478	97786	20000	3043473
PED _D	#REF!	20000	46696	167720	377738	209883	27970	20000	499211	659347	1087067	1378970	1377814	20000
PED _V	20000	92869	76267	84006	166465	147624	172581	166127	179944	158015	343318	687500	2314716	2314716
TPED _C	60000	159565	263987	481743	396348	195595	212581	685338	859291	3876291	1836766	2163100	16753	11250605
CT _A	0	0	445	816	816	816	12240	11424	1261	1261	8976	0	0	38055
CT _D	0	0	7344	7344	6509	7344	2837	1836	7344	2837	1836	1836	19361	66429
CT _V	56	0	362	204	408	408	362	408	102	408	408	102	160	3387
CTT _C	56	0	8151	8364	7733	8568	15439	13668	8707	4506	11220	1938	19521	107871
E _A	200000	200000	187564	86101	1244	11266	18749	16999	16425	16658	16692	277786	0	1049482
E _D	100000	100000	17477	12436	101463	86101	1244	11266	18749	16999	16425	16658	16692	515508
E _V	80000	82516	0	82523	17477	12436	101463	86101	1244	11266	18749	16999	16425	527198
E _T	380000	382516	205041	181060	120184	109803	121456	114365	36418	44922	51866	311442	33117	2092189
PE _A	20000	20000	7564	(92655)	(167491)	(149985)	(144252)	(146576)	(146917)	(146651)	114478	97786	(180000)	(914700)
PE _D	20000	20000	(50087)	33899	107564	7345	(67491)	(49985)	(44252)	(46576)	(46917)	(46651)	214478	51326
PE _V	20000	20000	20007	37484	(32603)	51383	125048	24829	(50007)	(32501)	(26768)	(29092)	(29433)	98346
TPE _C	60000	60000	(22516)	(21272)	(92530)	(91258)	(86695)	(171733)	(241176)	(225728)	40792	22043	5045	(765029)
PR _P	0	0	1244	11266	18749	16999	16425	16658	16692	277786	0	0	20000	395817
PR _A	0	12436	101463	160173	47664	9608	40757	255837	327764	528095	664234	663571	(90595)	2721007
PR _D	0	82523	63713	52685	225440	108991	53831	160017	260415	215756	419114	811525	55982	2509993
TPR _C	0	94959	166420	224124	291854	135598	111013	432512	604870	1021637	1083348	1475096	(14613)	5626817
PP _A	12436	101463	160173	121737	130101	159592	396680	707446	1219116	1866692	2513571	2145190	2145190	9534197
PP _D	0	82523	63713	98921	311925	319454	287183	445957	695106	892113	1294229	2089329	2128653	8709107
PP _V	0	91344	91344	161901	161901	240832	326573	326573	326573	420623	499129	573675	662801	3883269
TPP _C	0	186303	256520	420995	595563	690387	773349	1169210	1729125	2531852	3660050	5176575	4936644	22126573
V _P	0	0	0	1244	11266	18749	16999	16425	16658	16692	277786	0	0	375817
V _A	0	0	12436	101463	86101	1244	11266	18749	16999	16425	16658	16692	277786	575817
V _D	2516	0	82523	17477	12436	101463	86101	1244	11266	18749	16999	16425	16658	383856
V _V	50000	0	82516	0	82523	17477	12436	101463	86101	1244	11266	18749	16999	480773
TV _C	52516	0	177475	118940	181060	120184	109803	121456	114365	36418	44922	51866	311442	1440446
PA _A	0	0	0	0	74072	120493	118836	140843	379682	691020	1202458	1850000	2235785	6813190
PA _D	0	0	0	46236	86485	210462	233353	285940	434692	676357	875114	1277804	2072671	6199114
PA _V	0	0	8828	91344	79378	144424	228396	225110	240472	325329	409358	480380	556676	2789695
TPA _C	0	0	8828	137580	239935	475379	580584	651893	1054845	1692707	2486930	3608184	4865133	15801999
C _A	0	2000	1938	1813	1253	879	966	12419	11591	1426	1428	10448	1389	47550
C _D	0	3000	1762	7793	9052	9323	8654	3025	2286	7880	3339	2332	2336	60783
C _V	0	3306	1650	2012	2204	1006	2686	4113	2155	352	1008	1123	770	22387
CT _C	0	8306	5350	11618	12509	11208	12306	19557	16032	9659	5775	13904	4496	130719
x _A	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	1
x _D	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	6
x _V	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	15
CT _{Aj1}	0	0	445	0	0	0	0	0	445	445	0	0	0	1335
CT _{Aj2}	0	0	0	816	816	816	12240	11424	816	816	8976	0	0	36720
CT _{Dj1}	0	0	0	0	668	0	668	0	0	668	0	0	668	2670
CT _{Dj2}	0	0	4896	4896	3672	4896	1224	1224	4896	1224	1224	1224	12240	41616
CT _{Vj1}	112	0	112	0	0	0	112	0	0	0	0	0	116	450

APÊNDICE S

CENÁRIOS I E J: MEDIDAS DESCRITIVAS

	CENÁRIO I				CENÁRIO J				VARIÇÃO		
	MA	DP	CV	CC	MA	DP	CV	CC	MA	%CV	Δ%
LT_C	70903	45296	0,64	1,00	31365	720961	22,99	1,00	-0,56	3498,05	-55,76%
PED_A	29635	14848	0,50	-0,18	234113	517511	2,21	-0,27	6,90	341,20	689,98%
PED_D	101177	96479	0,95	-0,38	453263	517511	1,14	-0,08	3,48	19,73	377,46%
PED_V	138324	92347	0,67	-0,19	178055	174382	0,98	-0,07	0,29	46,70	28,72%
TPED_C	262891	183734	0,70	-0,30	865431	1122674	1,30	-0,22	2,29	85,61	229,20%
CT_A	2168	1807	0,83	0,00	2927	4609	1,57	0,14	0,35	88,90	35,00%
CT_D	4969	3110	0,63	0,15	5110	5162	1,01	0,15	0,03	61,38	2,84%
CT_V	303	157	0,52	0,58	261	159	0,61	0,30	-0,14	17,92	-14,06%
CTT_c	7440	4119	0,55	0,13	8298	5820	0,70	0,25	0,12	26,70	11,53%
E_A	150439	61245	0,41	-0,10	80729	98586	1,22	-0,20	-0,46	199,97	-46,34%
E_D	84621	32561	0,38	-0,52	39654	40126	1,01	-0,09	-0,53	162,97	-53,14%
E_V	74617	33907	0,45	-0,11	40554	38564	0,95	-0,29	-0,46	109,27	-45,65%
E_T	309677	67605	0,22	-0,40	160938	124930	0,78	-0,28	-0,48	255,58	-48,03%
PE_A	-13599	38667	-2,84	-0,20	-70362	106491	-1,51	-0,27	4,17	-46,77	417,42%
PE_D	39044	48339	1,24	-0,24	3948	80332	20,35	-0,08	-0,90	1543,44	-89,89%
PE_V	81868	49236	0,60	0,41	7565	48135	6,36	-0,24	-0,91	958,01	-90,76%
TPE_c	107314	67383	0,63	0,01	-58848	103413	-1,76	-0,46	-1,55	-379,87	-154,84%
PR_P	62116	60304	0,97	0,12	30447	74782	2,46	-0,22	-0,51	152,99	-50,98%
PR_A	71681	105360	1,47	-0,30	209308	260145	1,24	-0,06	1,92	-15,44	192,00%
PR_D	76197	43589	0,57	-0,51	193076	9926	0,05	0,00	1,53	-91,01	0,00%
TPR_C	209994	218253	1,04	-0,34	432832	475553	1,10	-0,07	1,06	5,71	106,12%
PP_A	106931	81900	0,77	-0,27	733400	896727	1,22	-0,21	5,86	59,64	643,02%
PP_D	268069	159073	0,59	0,21	669931	736963	1,10	-0,16	1,50	85,38	-100,00%
PP_V	169864	67531	0,40	0,67	298713	200321	0,67	-0,13	0,76	68,68	-88,43%
TPP_c	536639	258688	0,48	0,22	1702044	1811475	1,06	-0,18	2,17	120,78	217,17%
V_P	65962	57543	0,87	-0,03	28909	75219	2,60	-0,12	-0,56	198,26	-56,17%
V_A	64424	42761	0,66	0,13	44294	76984	1,74	-0,04	-0,31	161,85	-31,25%
V_D	69767	39892	0,57	0,60	29527	35316	1,20	0,00	-0,58	109,18	-57,68%
V_V	71749	35707	0,50	0,96	36983	37943	1,03	0,95	-0,48	106,15	-48,46%
TV_c	205940	89683	0,44	0,71	110804	81107	0,73	0,40	-0,46	68,09	-46,20%
PA_A	27025	63993	2,37	0,14	524092	81107	0,15	-0,23	18,39	-93,46	1839,31%
PA_D	191872	141300	0,74	0,60	476855	617457	1,29	-0,19	1,49	75,83	148,53%
PA_V	85743	48182	0,56	0,61	214592	185218	0,86	-0,17	1,50	53,60	150,27%
TPA_c	304640	218639	0,72	0,56	1215538	1546716	1,27	-0,21	2,99	77,30	299,01%
C_A	3500	1951	0,56	0,39	3658	4511	1,23	0,52	0,05	121,25	4,51%
C_D	7354	3602	0,49	0,18	4676	3303	0,71	-0,19	-0,36	44,21	-36,42%
C_V	3122	1353	0,43	0,57	1722	1183	0,69	0,45	-0,45	58,46	-44,84%
CT_C	13976	5606	0,40	0,39	10055	5255	0,52	0,43	-0,28	30,27	-28,05%

APÊNDICE T COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO COM A
LUCRATIVIDADE TOTAL DA CADEIA

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
PEDA	-0,23	-0,53	-0,70	-0,06	-0,22	-0,40	-0,77	-0,02	-0,18	-0,27
PEDD	-0,04	-0,12	-0,48	-0,13	0,10	-0,03	-0,25	-0,06	-0,38	-0,08
PEDV	0,18	0,03	0,44	0,23	-0,02	0,34	0,43	-0,45	-0,19	-0,07
TPEDC	0,07	-0,14	-0,21	0,07	-0,01	0,17	-0,06	-0,25	-0,30	-0,22
CTA	0,18	0,22	-0,18	0,25	0,38	0,37	-0,13	-0,01	0,00	0,14
CTD	0,27	0,28	0,38	0,33	0,34	0,35	0,46	-0,24	0,15	0,15
CTV	0,35	0,35	0,59	0,41	0,63	0,45	0,39	-0,05	0,58	0,30
CTTc	0,36	0,48	0,38	0,46	0,49	0,55	0,26	-0,18	0,13	0,25
EA	-0,39	-0,40	-0,34	-0,34	-0,46	-0,50	-0,48	-0,09	-0,10	-0,20
ED	-0,18	-0,19	-0,48	-0,11	0,13	-0,34	-0,23	0,04	-0,52	-0,09
EV	-0,34	-0,48	-0,03	-0,18	-0,29	-0,10	-0,09	-0,45	-0,11	-0,29
ET	-0,57	-0,67	-0,66	-0,42	-0,54	-0,60	-0,51	-0,27	-0,40	-0,28
PEA	-0,38	-0,29	-0,44	-0,22	-0,24	-0,20	-0,47	-0,08	-0,20	-0,27
PED	0,16	0,07	-0,02	0,18	0,05	0,05	0,32	-0,02	-0,24	-0,08
PEV	0,03	-0,05	0,52	0,20	0,02	0,26	0,20	-0,38	0,41	-0,24
TPEc	-0,16	-0,33	-0,09	0,15	-0,20	0,10	0,06	-0,40	0,01	-0,46
PRP	0,33	0,18	0,05	0,19	0,19	0,10	0,10	0,05	0,12	-0,22
PRA	-0,23	-0,20	-0,03	-0,23	0,08	-0,09	-0,54	-0,03	-0,30	-0,06
PRD	0,28	0,13	0,12	0,11	-0,05	0,29	0,43	-0,06	-0,51	0,00
TPRC	0,24	0,08	0,10	-0,05	0,13	0,15	-0,17	-0,04	-0,34	-0,07
PPA	-0,23	-0,20	-0,03	-0,17	0,07	-0,05	-0,47	0,07	-0,27	-0,21
PPD	0,20	0,35	0,31	0,19	-0,04	0,58	0,25	-0,05	0,21	-0,16
PPV	0,67	0,65	0,65	0,65	0,41	0,67	0,73	0,51	0,67	-0,13
TPPc	0,49	0,54	0,49	0,26	0,41	0,66	0,51	0,47	0,22	-0,18
VP	0,16	0,22	-0,13	0,18	0,33	0,37	0,15	0,01	-0,03	-0,12
VA	0,31	0,24	0,36	0,28	0,36	0,31	0,42	-0,05	0,13	-0,04
VD	0,31	0,35	0,61	0,42	0,69	0,41	0,36	-0,06	0,60	0,00
VV	0,95	0,94	0,95	0,96	0,92	0,96	0,96	0,95	0,96	0,95
TVc	0,70	0,70	0,85	0,67	0,80	0,70	0,69	0,47	0,71	0,40
PAA	0,18	-0,15	-0,19	0,28	-0,03	0,12	0,13	#DIV/0!	0,14	-0,23
PAD	-0,30	0,41	0,44	0,13	-0,13	0,46	-0,32	0,25	0,60	-0,19
PAV	0,63	0,62	0,60	0,58	0,37	0,58	0,64	0,42	0,61	-0,17
TPAc	0,50	0,61	0,63	0,53	0,37	0,63	0,60	0,45	0,56	-0,21
CA	0,31	0,27	0,49	0,36	0,21	0,23	0,26	0,16	0,39	0,52
CD	0,28	0,27	0,15	0,16	0,28	0,20	0,08	0,23	0,18	-0,19
CV	0,41	0,32	0,62	0,52	0,23	0,61	0,56	0,27	0,57	0,45
CTC	0,40	0,37	0,52	0,39	0,27	0,38	0,35	0,33	0,39	0,43

APÊNDICE U RESULTADOS COMPARATIVOS

	primeira				segunda		terceira			quarta
	A x B	B x C	C x D	D x E	B x E	D x F	A x G	B x H	G x H	I x J
PEDA	-2,58%	66,90%	-11,50%	-32,23%	0,09%	-23,31%	22,58%	194,77%	134,26%	689,98%
PEDD	-9,35%	35,15%	21,24%	-59,06%	-32,93%	-23,32%	29,54%	-32,08%	-52,47%	377,46%
PEDV	-10,65%	29,06%	1,56%	11,58%	46,25%	-0,93%	5,51%	-26,52%	-37,77%	28,72%
CTA	-12,98%	22,81%	6,90%	20,71%	58,48%	-2,89%	5,60%	-22,51%	-36,14%	35,00%
CTD	-14,67%	17,50%	76,73%	-79,53%	-57,50%	-5,19%	10,40%	-10,31%	-30,68%	2,84%
CTV	-13,61%	19,28%	-51,62%	63,81%	-5,47%	13,64%	4,72%	-18,34%	-32,63%	-14,06%
EA	4,39%	-2,17%	-16,74%	3,59%	-15,61%	6,50%	-21,02%	16,95%	54,58%	-46,34%
ED	-10,36%	15,75%	24,69%	-36,64%	-8,55%	-18,48%	35,37%	-9,18%	-39,86%	-53,14%
EV	-6,31%	12,33%	2,11%	-38,55%	-29,51%	7,94%	6,63%	-13,73%	-24,20%	-45,65%
PEA	-4,19%	-35,08%	127,09%	-76,44%	-65,27%	-17,67%	-26,47%	-78,10%	-71,47%	417,42%
PED	-28,43%	110,71%	28,76%	-73,93%	-29,26%	-31,32%	97,48%	-7,96%	-66,64%	-89,89%
PEV	-13,27%	31,98%	1,18%	-40,77%	-20,90%	-8,53%	14,13%	-28,83%	-45,92%	-90,76%
PRP	-8,02%	19,47%	8,64%	-37,05%	-18,29%	-4,78%	12,17%	-17,11%	-32,03%	-50,98%
PRA	-5,62%	14,16%	-6,20%	-9,28%	-2,86%	13,95%	-35,38%	-43,89%	-18,05%	192,00%
PRD	-6,40%	8,30%	4,97%	-40,27%	-32,10%	26,53%	-10,40%	-29,04%	-25,88%	153,39%
PPA	-5,70%	14,16%	14,86%	-24,12%	-0,50%	4,26%	18,34%	-19,92%	-36,19%	643,02%
PPD	16,36%	-10,12%	9,16%	-46,55%	-47,56%	51,61%	-0,09%	11,77%	30,16%	-100,00%
PPV	9,06%	-17,80%	-4,94%	45,49%	13,69%	-7,68%	41,00%	55,62%	20,36%	-88,43%
VA	-8,26%	17,83%	9,40%	-35,05%	-16,28%	-4,04%	11,85%	-15,11%	-30,38%	-31,25%
VD	-7,10%	18,11%	-1,09%	-22,05%	-8,94%	8,71%	7,68%	-17,91%	-29,18%	-57,68%
VV	-6,28%	12,79%	2,18%	-27,33%	-16,25%	1,98%	7,05%	-14,24%	-24,92%	-48,46%
PAA	-100,00%	0,00%	#DIV/0!	-90,20%	#DIV/0!	-38,92%	20396,51%	-100,00%	-100,00%	1839,31%
PAD	165,91%	-52,76%	31,42%	-100,00%	-100,00%	157,85%	-49,19%	73,25%	806,77%	148,53%
PAV	15,72%	-29,12%	-9,37%	90,54%	22,40%	-15,28%	51,12%	78,99%	37,07%	150,27%
CA	-8,67%	11,03%	3,07%	-10,81%	2,07%	-4,92%	-0,72%	-0,78%	-8,73%	4,51%
CD	-12,17%	17,55%	48,42%	-56,71%	-24,49%	-11,37%	24,94%	-10,67%	-37,20%	-36,42%
CV	-8,53%	13,76%	-11,54%	-13,08%	-12,53%	6,59%	6,42%	-15,02%	-26,95%	-44,84%
LV	-5,99%	7,00%	0,80%	-29,25%	-23,70%	4,27%	4,00%	-15,19%	-22,27%	-62,70%
LD	-6,31%	15,84%	-13,90%	-4,30%	-4,55%	18,50%	1,68%	-18,12%	-26,16%	-74,90%
LA	-9,19%	19,76%	11,70%	-45,05%	-26,49%	-7,69%	14,87%	-14,49%	-30,89%	-23,66%
HS	15,32%	-24,55%	-6,25%	85,84%	30,89%	0,15%	-5,57%	32,03%	80,20%	152,59%
EC	-6,16%	-0,01%	38,05%	-7,53%	27,50%	-5,01%	24,90%	-90,11%	42,45%	-37,11%