

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

MODELO DE GERENCIAMENTO DINÂMICO DA CADEIA DE
SUPRIMENTOS INCORPORANDO OS EFEITOS DOS
CUSTOS DE TRANSPORTE

Elisia Teresinha Engelmann

PORTO ALEGRE

Agosto de 2005

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

**MODELO DE GERENCIAMENTO DINÂMICO DA CADEIA DE
SUPRIMENTOS INCORPORANDO OS EFEITOS DOS
CUSTOS DE TRANSPORTE**

Elisia Teresinha Engelmann

Orientador: Professor Luis Antonio Lindau, Ph.D

Banca Examinadora:

Prof. Álvaro Gehlen de Leão, Dr.

FENG / PUCRS

Prof. Francisco José Kliemann Neto, Dr.

PPGEP / UFRGS

Prof. Gláucia Michel de Oliva, M.Sc

DEST / UFRGS

Prof. Patrícia Costa Duarte, Dr.

ESN / FSG

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

Área de concentração: Sistemas de Transporte

Porto Alegre, 25 de agosto de 2005

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre 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, Ph.D

Coordenador PPGEP / UFRGS

Banca Examinadora:

Prof. Álvaro Gehlen de Leão, Dr.

FENG / PUCRS

Prof. Francisco José Kliemann Neto, Dr.

PPGEP / UFRGS

Prof. Gláucia Michel de Oliva, M.Sc

DEST / UFRGS

Prof. Patrícia Costa Duarte, Dr.

ESN / FSG

“O gênio, esse poder que deslumbra os olhos humanos, não é outra coisa senão a perseverança bem disfarçada”.

(Goethe)

AGRADECIMENTOS

Com muita consideração, gostaria de agradecer

ao orientador Luis Antonio Lindau por proporcionar crescimento profissional e pessoal e, também, por confiar e acreditar no meu trabalho.

à professora Gláucia Michel de Oliva, pelas valiosas considerações e críticas para o desenvolvimento deste trabalho e por sua dedicação, amizade, cumplicidade, sabedoria, apoio, e confiança que sempre demonstrou.

ao professor Fernando Dutra Michel, pelas considerações e críticas para o desenvolvimento deste trabalho.

a todos os funcionários e professores do DEPROT, por serem sempre solícitos e pelo apoio para o desenvolvimento do mestrado.

a todos os colegas, professores e amigos do LASTRAN pela amizade e compreensão que sempre demonstraram.

a todos os amigos e amigas, especialmente à Augusta, Janaína, Patrícia, Paula e Rita, cujo carinho, apoio e amizade foram fundamentais na realização deste trabalho.

ao meu querido Edgar, pelo carinho, amor, compreensão e companheirismo, indispensáveis para a concretização deste sonho.

à minha família, principalmente meus pais, pelo suporte financeiro e emocional.

à CAPES pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de mestrado.

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

RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo de gerenciamento dinâmico de uma cadeia de suprimentos que tem por objetivo determinar os níveis de pedidos, vendas, estoque e níveis de serviço da cadeia de suprimentos de modo a otimizar a lucratividade total da cadeia. A lucratividade da cadeia de suprimentos é enfocada sob a perspectiva da inclusão dos efeitos dos custos de transporte por meio de uma estrutura linear côncava de custos. Essa estrutura é composta por um conjunto de equações ajustadas, representativas dos custos de transporte. Assim, é possível a obtenção de economias de escala em função das quantidades entregues. O trabalho pode ser dividido em duas etapas principais. A primeira etapa compreende, em um contexto de gerenciamento da cadeia de suprimentos, uma revisão bibliográfica que abrange os principais aspectos da modelagem tradicionalmente utilizada para a determinação de quantidades ótimas de pedido e entrega, as principais deficiências e as diferentes abordagens de custos de transporte. A segunda etapa é caracterizada pela formulação, simulação e avaliação dos resultados do modelo de gerenciamento dinâmico da cadeia. Nessa etapa, analisa-se a influência da estrutura de custos de transporte nas decisões de reabastecimento da cadeia de suprimentos. A determinação dos níveis de pedidos, vendas, estoque e de serviço, os custos e a lucratividade da cadeia é feita a partir da otimização de cenários. Neste trabalho realiza-se uma análise comparativa de cenários para identificar a influência da alteração de parâmetros nos resultados do modelo. Os resultados apresentam-se promissores e, com relação aos custos de transporte, verificou-se que os limites de capacidade de transporte e os custos mínimos de transporte têm grande influência nas decisões de reabastecimento. Enfim, a principal contribuição deste trabalho está relacionada à possibilidade de tornar a estrutura de custos de transporte dos modelos de gerenciamento dinâmico da cadeia de suprimentos mais próxima da estrutura de custos reais.

Palavras-chave: cadeia de suprimentos; custos de transporte; modelo de gerenciamento dinâmico.

ABSTRACT

This work presents a supply chain dynamic management model that aims to determine the supply chain's orders, sales, stock and service levels as to optimize the total supply chain profit. The supply chain profit is focused under the perspective of including the effects of the transportation costs through a linear concave cost structure. This structure is formed by a set of adjusted equations that are representative of transportation costs. Thus, it is possible to obtain scale economies as function of the quantities being delivered. The work can be divided in two main parts. The first part includes, in the supply chain management context, a literature review about the main aspects of the traditional modeling used for determining the economic order quantity, the main deficiencies and the different approaches for transportation costs. The second part is characterized by the dynamic management model formulation, simulation and results. In this part, the influence of the transportation cost structure is analyzed under the context of decisions related to the supply chain replenishment. Through the optimization of scenarios, orders, sales, stock and service levels as well as the supply chain costs and profit are all determined. This work also includes a comparative analysis of scenarios for identifying the influence of altering parameters in the results of the model. The results appear promising and, with relation to transportation costs, it was verified that the both the capacity limits and the minimal transportation costs have large influence in the replenishment decisions. Finally, the main contribution of this work is related to the possibility of introducing a more realistic structure of transportation costs in the models for supply chain dynamic management.

Key-words: supply chain; transportation costs; dynamic management model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Diferentes estruturas de cadeias de suprimentos.....	19
Figura 2	O processo de construção do modelo	20
Figura 3	Efeito da quantidade de pedido nos custos	25
Figura 4	Seqüência do processo heurístico do modelo.....	37
Figura 5	Representação da função real de custos de transporte.....	40
Figura 6	Estrutura geral da cadeia de suprimentos.....	44
Figura 7	Representação da função real de custos de transporte do modelo proposto	50
Figura 8	Estoque do Cenário A ao longo do período de planejamento.....	67
Figura 9	Vendas do Cenário A ao longo do período de planejamento.....	68
Figura 10	Estoque do Cenário B ao longo do período de planejamento	69
Figura 11	Vendas do Cenário B ao longo do período de planejamento	70
Figura 12	Estoque do Cenário C ao longo do período de planejamento.....	71
Figura 13	Vendas do Cenário C ao longo do período de planejamento.....	72
Figura 14	Estoque do Cenário D ao longo do período de planejamento.....	72
Figura 15	Vendas do Cenário D ao longo do período de planejamento.....	73
Figura 16	Estoque do Cenário E ao longo do período de planejamento	74
Figura 17	Vendas do Cenário E ao longo do período de planejamento	75
Figura 18	Estoque do Cenário LA ao longo do período de planejamento	76
Figura 19	Vendas do Cenário LA ao longo do período de planejamento	77
Figura 20	Estoque do Cenário LB ao longo do período de planejamento	78
Figura 21	Vendas do Cenário LB ao longo do período de planejamento	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Vantagens do Planejamento Colaborativo de Transporte.....	41
Tabela 2	Parâmetros de entrada dos cenários com estrutura linear côncava de custos de transporte	63
Tabela 3	Parâmetros de entrada dos cenários com custo de transporte linear	65
Tabela 4	Quadro comparativo da variação relativa dos resultados	80

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
<i>1.1 O TEMA E SUA IMPORTÂNCIA</i>	<i>12</i>
<i>1.2 OBJETIVOS</i>	<i>17</i>
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
<i>1.3 LIMITAÇÕES</i>	<i>18</i>
<i>1.4 MÉTODO.....</i>	<i>20</i>
1.4.1 Etapas do Método	21
<i>1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO</i>	<i>22</i>
2. MODELAGEM PARA A DETERMINAÇÃO DE QUANTIDADES ÓTIMAS DE PEDIDO OU ENTREGA	24
<i>2.1 MODELOS DE DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE ÓTIMA DE PEDIDO OU ENTREGA</i>	<i>24</i>
<i>2.2 CUSTOS DE TRANSPORTE NOS MODELOS DE CÁLCULO DE QUANTIDADE ECONÔMICA DE PEDIDO OU ENTREGA</i>	<i>30</i>
2.2.1 Os custos de transporte no modelo de Swenseth e Godfrey	34
2.2.2 Os custos de transporte no modelo de Chan et al.....	38
<i>2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS</i>	<i>40</i>
3. MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO.....	43
<i>3.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....</i>	<i>43</i>
<i>3.2 CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA DO MODELO.....</i>	<i>45</i>
3.2.1 Modelo de gerenciamento dinâmico	45
<i>3.2.1.1 Suposições.....</i>	<i>45</i>
<i>3.2.1.2 Modelagem da cadeia</i>	<i>46</i>

3.3 APRESENTAÇÃO DO GAMS	57
3.3.1 GAMS CONOPT, SNOPT e MINOS	57
3.3.2 GAMS/CPLEX	58
3.3.3 GAMS/DICOPT	59
3.3.4 GAMS/SBB	59
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
4. ANÁLISE DO MODELO	61
4.1 APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS	62
4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS	66
4.2.1 Análises iniciais	66
4.2.1.1 Cenário A	66
4.2.1.2 Cenário B	68
4.2.1.3 Cenário C	70
4.2.2 Análise comparativa frente a alterações nos parâmetros de custos de transporte. ..	72
4.2.2.1 Cenário D	72
4.2.2.2 Cenário E	73
4.2.2.3 Cenário F e Cenário G	75
4.2.3 Análise de cenários com custo de transporte linear	76
4.2.3.1 Cenário LA	76
4.2.3.2 Cenário LB	77
4.2.3.3 Cenário LC	79
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	82
REFERÊNCIAS	85
APÊNDICE A – RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO A	91

APÊNDICE B	– RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO B.....	93
APÊNDICE C	– RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO C	95
APÊNDICE D	– RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO D	97
APÊNDICE E	– RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO E.....	99
APÊNDICE F	– RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO F	101
APÊNDICE G	– RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO G	103
APÊNDICE H	– RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO LA.....	105
APÊNDICE I	– RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO LB.....	107
APÊNDICE J	– RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO LC.....	109

1. INTRODUÇÃO

1.1 O TEMA E SUA IMPORTÂNCIA

O gerenciamento integrado da cadeia de suprimentos, *Supply Chain Management* – SCM, é uma área de conhecimento rica em desafios que tem atraído crescente interesse de economistas, administradores, engenheiros, matemáticos, entre outros profissionais. O principal desafio imposto pelo SCM consiste, basicamente, em criar estruturas integradas de tomada de decisão, cujo universo de abrangência encerra múltiplas organizações.

Uma estrutura integrada de tomada de decisão envolve a administração compartilhada de processos-chave de negócios, que interligam as diversas unidades organizacionais da cadeia, exigindo uma eficiente coordenação funcional e temporal de empresas e clientes. No SCM, as empresas integrantes procuram meios de otimizar a cadeia como um todo único, em lugar de otimizar pontualmente as operações. Os agentes da cadeia de suprimentos passam a trabalhar mais próximos, trocando informações, antes consideradas confidenciais, e formando grandes parcerias (NOVAES, 2001; MENTZER et al., 2001; STADTLER, 2005).

Para enfrentar o desafio da integração presente no SCM, considerando a cadeia de suprimentos como uma entidade única, têm sido desenvolvidos programas de planejamento e atuação, em grande parte por meio da modelagem nas mais diversas áreas de interesse. Essa modelagem visa à otimização global da cadeia, tanto através da adição de valor aos produtos finais, como através da redução dos custos globais ou maximização da lucratividade (VOLLMANN; CORDON, 1996; LUMMUS; VOLURKA, 1999; SHAPIRO, 2001).

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, pois as empresas já dedicaram esforços significativos nessa direção. Nesse sentido, 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, ao longo da cadeia, 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). Portanto, conforme afirma Ballou (1993), os custos de transporte representam, em média, de um a dois terços dos custos globais. Isso faz com que o transporte, para a maioria das empresas, seja a mais importante atividade logística.

O efeito dos custos de transporte sobre os custos globais da cadeia e, conseqüentemente, sobre os lotes de pedido ou entrega é extensivamente discutido na literatura (CARTER; FERRIN, 1996; VROBLEFSKI et al., 2000; MASON et al., 2003). Na maioria dos estudos, os custos de transporte são considerados como uma parcela fixa dos custos globais na determinação da quantidade ótima de pedido e/ou entrega. Swenseth e Godfrey (2002) relatam que a quantidade ótima de pedido e/ou entrega é fruto de uma otimização da função representativa dos custos globais, ou seja, da derivada primeira da função de custos igualada a zero. Os autores salientam que os custos de transporte assim considerados, não exercem qualquer influência sobre os lotes de pedidos e/ou entregas.

Outros estudos consideram os custos de transporte como uma variável relevante na modelagem para a minimização dos custos globais. Entretanto, esses custos não influenciam as decisões sobre lotes de pedido e/ou entrega. Nesses casos, os modelos são estruturados da seguinte maneira: inicialmente, a partir dos custos de estocagem, manutenção e de pedido determina-se a quantidade de pedido e/ou entrega. A partir dessas quantidades, determinam-se as rotas e os carregamentos que minimizam os custos totais de entrega (VIDAL; GOETSCHALCKX, 2001; ADACHER et al., 2003; BOCTOR et al., 2003; CAPUTO et al., 2003; GAUR; FISHER, 2004).

Nos casos anteriormente citados, pouca ou nenhuma ênfase é dada para os custos de transporte associados à determinação das quantidades de pedido e/ou entrega entre os diferentes níveis da cadeia. Ou seja, os custos de transporte não exercem influência na determinação das quantidades de pedido e/ou entrega. Esse fato, embora comum na literatura, tem sido criticado por alguns autores.

Conforme Buffa e Reynolds (1977), nos modelos de minimização dos custos globais, considerar os custos de transporte como variável que não exerce influência nos lotes de pedido e/ou entrega, consiste em uma limitação desse tipo de modelagem. Os autores mostram que as decisões sobre as quantidades de pedido ou entrega são, notadamente, sensíveis aos custos de transporte.

Apesar de sua alta participação nos custos globais, apenas um pequeno número de modelos de minimização desses custos considera os custos de transporte como variável relevante para a determinação dos lotes de pedido e/ou entrega. Uma revisão bastante abrangente pode ser encontrada em Qu et al. (1999).

Na literatura mais recente, alguns autores abordam a influência dos custos de transporte nos custos globais da cadeia, quando associados ao tamanho do pedido ou lote de

entrega. Ressaltam-se aqui duas importantes particularidades relacionadas à maioria dos modelos que incorporam custos de transporte.

A primeira particularidade relaciona-se à forma de modelagem: são modelos estáticos que consideram apenas dois níveis da cadeia de suprimentos, geralmente varejistas e distribuidores. A particularidade de serem modelos estáticos relaciona-se ao fato de que nesses modelos não se consideram os elementos dinâmicos – consideração do tempo – e as inter-relações envolvidas no processo de disponibilizar um produto ao consumidor final, ou seja, como uma ação, em um nível da cadeia e um determinado período, afeta a ação dos níveis a jusante e a montante neste e nos demais períodos. Além disso, por serem modelos estáticos que consideram apenas dois níveis, os efeitos dos custos de transporte ao longo do tempo, sobre os demais níveis da cadeia, também não são levados em consideração.

A segunda particularidade dos modelos que incorporam custos de transporte na minimização dos custos globais da cadeia refere-se ao fato de que, nesses modelos, em geral, esses custos são considerados por meio de uma função linear em que, geralmente, é levado em consideração apenas o custo por volume enviado. A consideração de estruturas lineares de custos de transporte na determinação de lotes de pedidos e/ou entregas resulta, muitas vezes, em lotes pequenos. Os custos reais de entrega desses lotes são, em geral, bem mais elevados do que os obtidos no momento da determinação do lote utilizando estruturas lineares de custos de transporte.

Convém destacar que os custos de transporte compreendem uma estrutura complexa de formação das tarifas. A complexidade surge devido ao fato de esses custos serem formados pela soma de duas parcelas. A primeira parcela é uma função linear que representa os custos por distância percorrida – geralmente expressa pela multiplicação da distância percorrida por um parâmetro de custo por distância. A segunda parcela representa os custos em função do

volume que, diferentemente da primeira, não pode ser expressa simplesmente como o produto de um parâmetro de custo fixo pelo volume. Essa segunda parcela deve ser representada por uma estrutura não-linear ou linear côncava¹, de modo a considerar a variação dos custos de transporte à medida que varia o volume transportado, devido às economias de escala.

A partir das considerações feitas, pode-se dizer que os modelos de minimização dos custos globais da cadeia apresentam duas limitações marcantes. A primeira refere-se ao fato de esses modelos serem estáticos e considerarem apenas dois níveis da cadeia. A segunda refere-se ao fato de esses modelos representarem os custos de transporte a partir de uma estrutura linear.

Em vista disso, considerou-se apropriado o desenvolvimento de um modelo de gerenciamento dinâmico da cadeia de suprimentos que incorpore os efeitos dos custos de transporte, possibilitando a obtenção de economias de escala, em função das quantidades de pedido e/ou entrega. Desse modo, pretende-se contribuir com o estado da arte sobre a consideração dos custos de transporte em modelos de gerenciamento dinâmico da cadeia de suprimentos.

A principal contribuição deste trabalho está no tipo de modelo e na estrutura de transporte considerada. Este modelo diferencia-se dos demais pelo fato de ser um modelo de gerenciamento dinâmico da cadeia de suprimentos que incorpora os custos de transporte dentro de uma estrutura linear côncava para a maximização da lucratividade da cadeia. Essa estrutura linear côncava é composta por um conjunto de equações ajustadas que caracterizam o comportamento dos custos de transporte, para diferentes intervalos de quantidades de produto. Pelo fato de essa estrutura ser composta por um conjunto de equações ajustadas para

¹ Uma estrutura linear côncava de custos de transporte pode ser considerada quando o custo de cada unidade incremental transportada não for maior que a unidade anterior (WAGNER, 1986). Isso pode ocorrer quando os produtos podem ser transportados com descontos por quantidade, proporcionando economias de escala.

diferentes quantidades de produto, surge a necessidade de incorporar ao modelo uma regra de decisão. Essa regra é para a escolha adequada da quantidade de produto e da equação de custos de transporte correspondente a essa quantidade, nos diferentes níveis da cadeia, em cada período, ao longo do período de planejamento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar um modelo de gerenciamento dinâmico de uma cadeia de suprimentos que incorpora os efeitos dos custos de transporte por meio de um conjunto de equações ajustadas – estrutura linear côncava.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos deste trabalho citam-se:

- Realizar uma análise crítica dos modelos de determinação da quantidade ótima de pedido e/ou entrega e da consideração dos custos de transporte nesses modelos;
- Obter, a partir da especificação de um modelo de gerenciamento dinâmico da cadeia de suprimentos, os níveis de pedidos, vendas, estoque e de serviço, os custos e a lucratividade total da cadeia, durante o horizonte de planejamento;
- Realizar uma análise comparativa de cenários com alterações nos parâmetros de entrada e, posteriormente, com alterações na estrutura de custos de transporte, e identificar as principais modificações nos resultados, principalmente com relação às vendas, nível de serviço e estoque.

1.3 LIMITAÇÕES

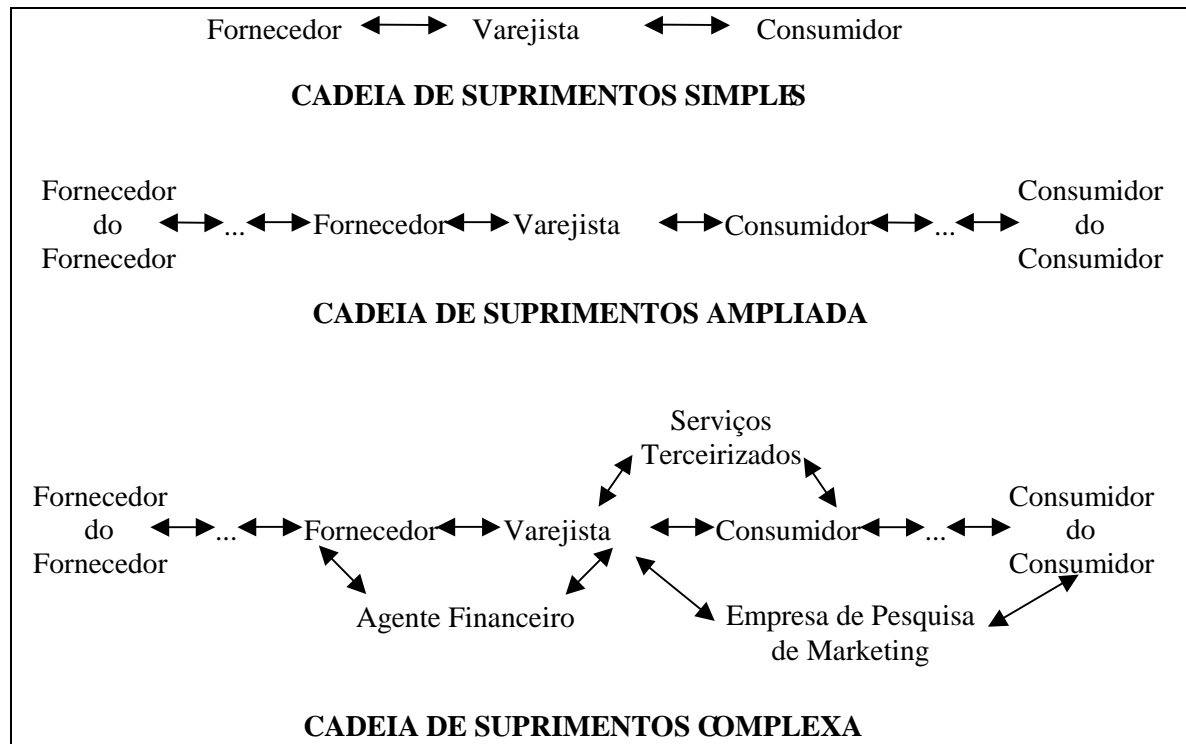
No presente trabalho propõe-se explicitar um modelo de gerenciamento dinâmico de uma cadeia de suprimentos. A cadeia de suprimentos recebe na literatura diferentes abordagens. O *APICS Dictionary*² (apud LUMMUS; VOKURKA, 1999) descreve a cadeia de suprimentos como: os processos desde a matéria-prima inicial ao consumo do produto final nas relações entre fornecedores e empresas; e as funções dentro e fora das empresas que permitem à cadeia de valor produzir e dispor serviços ao consumidor.

Mentzer et al. (2001) apresentam três formas de abordagem para a cadeia de suprimentos, representadas na Figura 1. A primeira é denominada de cadeia de suprimentos simples. Consiste em um varejista, um fornecedor e um consumidor envolvidos nos fluxos a montante e a jusante de produtos, serviços, financeiros e/ou de informações. A segunda, uma cadeia de suprimentos ampliada, sem ramificações, consiste em um fornecedor, o fornecedor do fornecedor, o varejista, o consumidor e o consumidor do consumidor. A terceira é caracterizada como uma cadeia de suprimentos complexa, com ramificações, que engloba todas as organizações que estão envolvidas nos diferentes estágios em que passa o produto, até chegar ao consumidor final.

Este estudo limita-se a considerar uma cadeia de suprimentos ampliada com quatro níveis: fornecedor, produtor, distribuidor e varejista. São contemplados os custos de produção da matéria-prima, de fabricação, de armazenagem e de transporte, o preço de venda do produto final, a demanda do consumidor final. Não se consideram custos mais detalhados, como o custo de estoque em trânsito, de serviços extras como de marketing, manuseio de materiais, entre outros. Além disso, considera-se o fluxo de apenas um produto, em diferentes quantidades, ao longo da cadeia. Salienta-se também que neste estudo são usados dados

² O *APICS Dictionary* (*American Production and Inventory Control Society Dictionary*) é um instrumento padrão para a definição de termos usados na área de gerenciamento de produção e estoque.

hipotéticos para a simulação e otimização, uma vez que o modelo proposto não foi aplicado na prática.



Fonte: Mentzer et al. (2001)

Figura 1 Diferentes estruturas de cadeias de suprimentos

Com relação aos custos de transporte, conforme mencionado anteriormente, uma parcela desses custos não pode ser expressa simplesmente como uma multiplicação de um parâmetro de custo fixo pela quantidade. Isso se deve ao fato de que o comportamento da estrutura do custo varia à medida que aumenta a quantidade transportada, devido às economias de escala que são proporcionadas pelos vendedores ou transportadores.

Dessa forma, considera-se neste trabalho a incorporação dos custos de transporte através de uma estrutura linear côncava composta por um conjunto de equações ajustadas. Essas equações representam as economias de escala em função das quantidades de entrega. Cada equação desse conjunto é válida para um determinado intervalo de quantidades, ou seja,

a primeira equação corresponde a um intervalo que varia de 0 a α , a segunda de α a $\alpha+1$, etc. Essa estrutura é capaz de considerar os efeitos de economias de escala e, ao mesmo tempo, aproximar mais os custos da estrutura real, sem incorporar grandes complexidades ao modelo.

1.4 MÉTODO

Os modelos de otimização baseiam-se em estruturas matemáticas rigorosamente definidas que visam encontrar a solução ótima para o sistema representado (PIDD, 1998). No processo de construção e solução do modelo desta dissertação segue-se uma estrutura básica apresentada na esquematização da Figura 2 e cujas etapas são descritas a seguir.

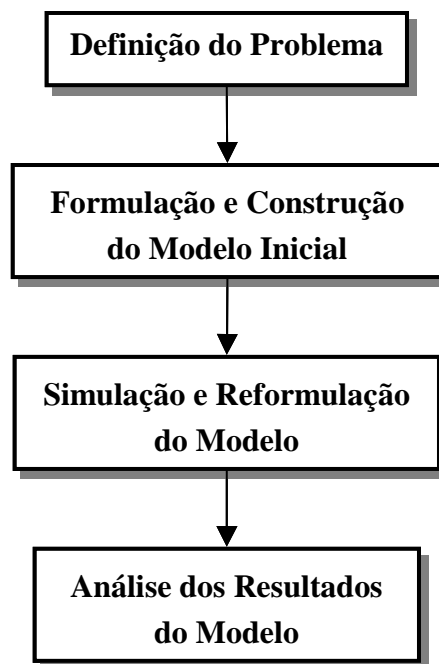


Figura 2 O processo de construção do modelo

1.4.1 Etapas do Método

As principais etapas do método apresentadas na Figura 2 são: (i) definição do problema; (ii) formulação e construção do modelo; (iii) simulação e reformulação do modelo; e (iv) análise dos resultados do modelo.

A primeira etapa compreende a definição do problema. Neste trabalho, o problema consiste na modelagem do gerenciamento dinâmico de uma cadeia de suprimentos para a determinação das quantidades de pedidos e entregas, níveis de estoque e de serviço, considerando os custos de transporte numa estrutura linear côncava, de modo a otimizar a lucratividade total da cadeia. Pretende-se analisar a influência da estrutura linear côncava dos custos de transporte nas decisões de reabastecimento da cadeia de suprimentos, quando esses custos forem considerados por meio de um conjunto de equações ajustadas.

A etapa da formulação e construção do modelo inicial consiste na estruturação da dinâmica da cadeia, implementação das condições iniciais, parâmetros, restrições e especificação da função-objetivo. Nessa etapa são especificadas as diferentes equações de custos de transporte e as regras de decisão para a escolha da equação mais adequada para cada nível da cadeia, para otimizar a lucratividade da cadeia ao longo do período de planejamento.

A terceira etapa, simulação e reformulação, refere-se à avaliação do modelo inicialmente formulado, através da simulação e otimização de cenários e análise de seus resultados. Assim, é possível detectar eventuais falhas de estruturação ou limitações do sistema de otimização, e realizar sua reformulação. Dessa forma o sistema é implementando gradativamente até tornar-se consistente.

Por fim, estruturado o modelo e funcionando adequadamente, realiza-se a otimização de diversos cenários para comparação e avaliação dos resultados. A modelagem tem como foco servir de apoio à tomada de decisão dos administradores.

Nesta dissertação, utiliza-se o método descrito acima para desenvolver um modelo de gerenciamento dinâmico de uma cadeia de suprimentos de quatro níveis, considerando os custos de transporte de cada um dos níveis como uma parte relevante na determinação das respectivas quantidades ótimas de pedido e de entrega, de modo a otimizar a lucratividade total da cadeia.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é composta por cinco capítulos. O presente capítulo apresenta a contextualização do estudo, através da apresentação do tema e sua importância, objetivos e limitações do trabalho, o método utilizado para o desenvolvimento do modelo e a estrutura da dissertação.

O Capítulo 2 consiste no referencial teórico utilizado para desenvolver a dissertação. São abordados os principais aspectos na modelagem para a determinação de quantidades ótimas de pedido e/ou entrega, as suas deficiências e as diferentes abordagens de custos de transporte, em um contexto de gerenciamento da cadeia de suprimentos.

No Capítulo 3 apresenta-se detalhadamente a modelagem do gerenciamento dinâmico da cadeia de suprimentos. Caracterizam-se a estrutura do modelo, as suposições básicas, as regras de decisão, as equações de equilíbrio e as restrições. Apresentam-se também algumas considerações sobre o sistema de otimização utilizado.

O Capítulo 4 mostra a simulação de diferentes cenários, resultados das otimizações e a análise desses resultados.

No Capítulo 5 apresenta-se a conclusão do trabalho, bem como sugestões para futuras pesquisas.

2. MODELAGEM PARA A DETERMINAÇÃO DE QUANTIDADES ÓTIMAS DE PEDIDO OU ENTREGA

Este capítulo inicia com uma revisão que abrange os principais aspectos da modelagem tradicionalmente utilizada para a determinação de quantidades ótimas de pedidos e/ou entregas. Apontam-se as principais características dos modelos, seus objetivos e suas deficiências. Em seguida, faz-se uma referência aos modelos de determinação das quantidades ótimas de pedidos e/ou entregas que incorporam os custos de transporte.

2.1 MODELOS DE DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE ÓTIMA DE PEDIDO OU ENTREGA

O desenvolvimento de modelos de determinação da quantidade ótima de pedidos iniciou com a consideração de uma empresa produtora em particular, na qual é otimizado o custo logístico total anual. O modelo mais básico de custo logístico total anual é o modelo simplificado de quantidade econômica de pedidos (*EOQ – Economic Order Quantity*) desenvolvido em 1913 por Ford W. Harris (BERTAZZI et al., 1997). Harris desenvolve o conceito e a fórmula de cálculo da quantidade econômica de pedido, a partir de duas considerações.

A primeira consideração é referente ao custo de *setup* que é incluído na otimização, representando a soma total dos custos de produção e de materiais necessários para produzir um determinado produto para a venda. A segunda tem como foco o fato de que lotes grandes reduzem os custos de *setup*, porém lotes menores reduzem o custo de manutenção de estoque.

A estrutura de custo total construída por Harris corresponde à soma dos custos de manutenção, de pedido e de material, e seu comportamento (custo *versus* quantidade) é

caracterizado pela curva pontilhada apresentada na Figura 3. A quantidade ótima de pedidos (Q^*), denominada também de EOQ, corresponde à posição de *trade-off* ótimo entre os custos e é encontrada a partir da solução da equação desenvolvida por Harris.

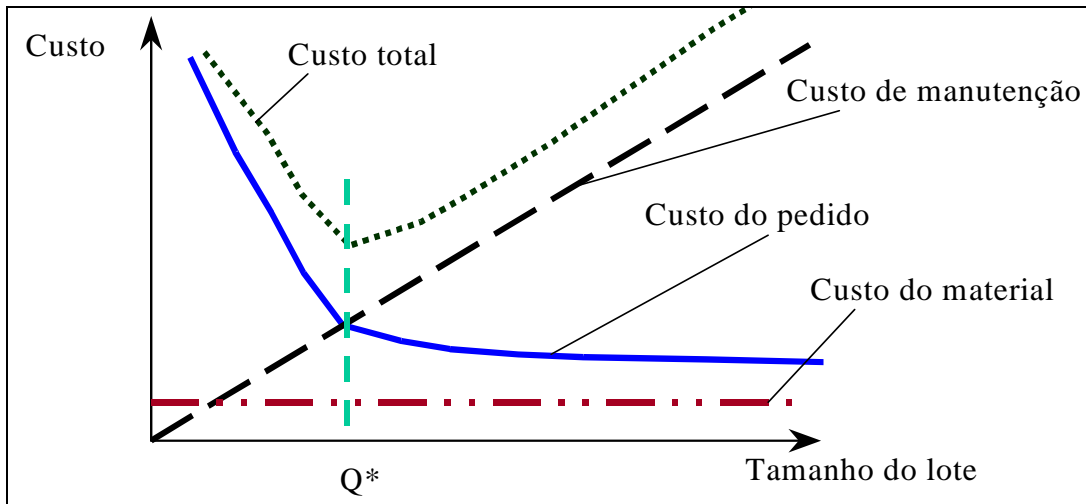


Figura 3 Efeito da quantidade de pedido nos custos

A equação de quantidade econômica de pedido desenvolvida por Harris em 1913 (equação (1)) calcula a quantidade ótima de pedido, considerando algumas hipóteses que restringem sua aplicação. São elas: (i) o atendimento de toda a demanda; (ii) a taxa de demanda é de apenas um produto, é conhecida, constante e contínua; (iii) os períodos de ciclo de atividades e de pedidos são conhecidos e constantes; (iv) o preço do produto é constante, independentemente da época e da quantidade do pedido; (v) o horizonte de planejamento é infinito; (vi) a ausência de interação com outros itens de estoque; (vii) a inexistência de estoque em trânsito; e (viii) a disponibilidade ilimitada de capital (BOND, 2002).

$$Q^* = \sqrt{\frac{2C_0D}{C_h}} \quad (1)$$

em que

Q^* : quantidade ótima de pedido, em unidades;

C_0 : custo de emitir e/ou colocar um pedido;

- C_h : custo de manutenção de uma unidade do produto em estoque por um ano, ($C_h = C * i$, onde C é o custo por unidade, e i é a taxa de custo de manutenção do produto em estoque);
- D: demanda anual, em unidades.

Apesar das limitações, o conceito de quantidade ótima de pedido demonstra a importância de análises de *trade-off* entre custos de manutenção de estoque e custos de produção e emissão de pedidos para reabastecimento. Isso se deve ao fato de que, através do *trade-off*, obtém-se uma posição de pedido que minimiza o custo total.

A partir do modelo de Harris, foram desenvolvidos vários estudos na tentativa de obter melhores soluções na determinação da quantidade econômica de pedido. Chopra e Meindl (2003) apresentam algumas estruturas de modelagem para o cálculo da quantidade econômica de pedido com economias de escala, que representam uma evolução do modelo proposto por Harris. Essas estruturas consideram a possibilidade de um varejista realizar pedidos de diferentes produtos oriundos de diferentes fornecedores.

A primeira consideração feita por Chopra e Meindl (2003) é sobre a alternativa de agregação de diferentes produtos em um único pedido, com a finalidade de obter economias de escala em função dos custos fixos. Os autores expõem três hipóteses que podem ser consideradas na solicitação e entrega de um pedido: (i) lotes de cada produto são pedidos e entregues independentemente; (ii) lotes com os diferentes produtos são pedidos e entregues conjuntamente; e (iii) lotes de subgrupos de produtos são pedidos e entregues conjuntamente.

A hipótese (i) corresponde ao modelo proposto por Harris, na qual não são consideradas as possibilidades de obtenção de economias de escala. Com relação às hipóteses (ii) e (iii), nota-se que há a preocupação com a integração de alguns integrantes da cadeia, ou seja, visam o trabalho em conjunto com a agregação de pedidos e entregas com o objetivo de

obter economias de escala em função dos custos fixos. Entretanto, essa preocupação é praticamente só entre fornecedores e varejistas, não envolvendo outros níveis da cadeia. Trabalhos nesse sentido também foram desenvolvidos por Hall (1985), Burns et al. (1985), Daganzo (1985), Daganzo e Newell (1986), Blumenfeld et al. (1987), Benjamin (1989), Bertazzi et al. (1997), Chaouch (2001), Lee et al. (2003), Sharp (2003).

A segunda consideração feita por Chopra e Meindl (2003) é em relação à alternativa de obtenção de economias de escala para explorar descontos por quantidades. A finalidade é obter melhor desempenho da cadeia de suprimentos e extração de excedente, através de diferença de preço. Essas economias podem ser alcançadas por meio da simples diferenciação de preços, de descontos baseados no volume, ou de desconto baseado no tamanho do lote (TERSINE; BARMAN, 1995; BURWELL et al., 1997; YANG; WEE, 2003).

Embora a equação do cálculo da quantidade ótima de pedido desenvolvida por Harris e as estruturas de modelagem apresentadas por Chopra e Meindl (2003) sejam relativamente claras, há outros fatores que devem ser considerados em sua aplicação. Daskin (1985), em sua revisão sobre modelos aponta alguns: (i) a natureza dinâmica da cadeia de suprimentos; (ii) a natureza estocástica para as entradas dos modelos e futuras incertezas; (iii) custos não-lineares ou lineares côncavos; (iv) múltiplos objetivos; (v) múltiplos níveis de estoque; e (vi) restrições de capacidade dos integrantes da cadeia. Mesmo não sendo possível incluir todas as variáveis, todas as situações possíveis nos modelos e considerar todos os cenários nas análises, os modelos de gerenciamento da cadeia de suprimentos podem proporcionar um grande entendimento dos *trade-offs* envolvidos no gerenciamento da cadeia para a determinação das quantidades ótimas de pedido e entrega.

Um modelo que incorpora algumas das características apontadas por Daskin (1995), como a natureza dinâmica da cadeia, múltiplos níveis de estoque, incertezas, e restrições de

capacidade dos participantes da cadeia, foi desenvolvido por Forrester em 1958 (apud ANGERHOFER; ANGELIDES, 2000). Esse modelo, desenvolvido no MIT³ em Boston, Massachusetts, conhecido como *Forrester Model*, nada mais é que uma introdução ao atualmente denominado jogo da cerveja – *Beer Game*⁴. Forrester introduz um modelo dinâmico de gerenciamento da distribuição de cerveja em que usa uma perspectiva baseada no *feedback* de informações e atrasos para entender o comportamento dinâmico de sistemas. Nesse modelo, o autor simula o fluxo de material e informações em um canal simplificado de produção e distribuição composto por quatro níveis – fabricante, distribuidor, atacadista e varejista.

O jogo da cerveja representa a ilustração, por meio de uma simulação computacional, do fluxo de informações e de produtos, das influências das decisões individuais de pedido e entrega no desempenho da produção e distribuição para cada membro da cadeia de suprimentos, assim como para o sistema como um todo. As falhas na compreensão dos pedidos, em um contexto de decisões individuais, causam um aumento na volatilidade da demanda, ao longo da cadeia, resultando no efeito chicote – *Bullwhip Effect*. Réplicas mais recentes desse modelo, utilizadas para ilustrar o efeito chicote, são apresentadas por Lee et al. (1997), Sterman (1989), Dornier et al. (2000), Hieber e Harter (2003).

Towill (1996a), Akkermans et al. (1999), Chan (2002), Barlas e Ozevin (2004), Arbib e Marinelli (2005), Chen e Larbani (2005) também apresentam modelos envolvendo características dinâmicas no gerenciamento da cadeia de suprimentos nos quais abordam a importância da integração dessa, para a tomada de decisões sobre quantidades de pedido e entrega. Todos os modelos mencionados anteriormente, que incorporam as características dinâmicas da cadeia, envolvem simulação computacional, com o objetivo de estudar o

³ É a sigla do *Massachusetts Institute of Technology*.

⁴ Essa denominação deve-se ao fato do trabalho ser relacionado com uma cadeia de distribuição de cerveja.

comportamento da cadeia e projetar políticas de estoque que melhoram seu desempenho (ANGERHOFER; ANGELIDES, 2000).

Outros modelos que incorporam características dinâmicas da cadeia, entretanto, envolvem otimização e não simulação como os anteriormente apresentados, são desenvolvidos nas obras de Blanchini et al. (1996), Tayur et al. (1999), Ganeshan (1999), Simchi-Levi et al.(2000), Shapiro (2001), Geunes e Zeng (2001), Cakravastia et al. (2002), Perea et al. (2000; 2003)⁵. São modelos que apresentam algumas particularidades como natureza aleatória para as entradas, estruturas de custos não-lineares, múltiplos objetivos, múltiplos níveis de estoque e restrições de capacidade dos participantes da cadeia.

Merece destaque o fato de que, entre os mais diversos modelos de gerenciamento da cadeia de suprimentos, sejam esses de simulação ou de otimização, encontra-se uma grande particularidade. Essa se refere ao fato de que esses modelos não consideram os custos de transporte em uma estrutura que possibilita a incorporação de economias de escala. Essa simplificação leva a resultados distorcidos, o que durante um determinado período de planejamento pode afetar muito os custos totais (SWENSETH; GODFREY, 2002).

Na seção a seguir será apresentada uma revisão de modelos de cálculo de quantidade econômica de pedido e/ou entrega que incorporaram os custos de transporte como uma função não-linear ou linear côncava, ou por meio de uma estrutura de custos com equações modificadas com desconto para todas as unidades. Em geral, são modelos que consideram apenas dois níveis da cadeia de suprimentos.

⁵ O modelo de Perea et al. (2003) é um dos mais completos em termos de caracterização dinâmica da cadeia e por esse motivo foi utilizado como referencial para o modelo desenvolvido nesta dissertação.

2.2 CUSTOS DE TRANSPORTE NOS MODELOS DE CÁLCULO DE QUANTIDADE ECONÔMICA DE PEDIDO OU ENTREGA

Como apresentado na introdução deste trabalho, o efeito dos custos de transporte sobre os lotes de entrega ou quantidades de pedido é extensivamente discutido na literatura. Nesse sentido, apresenta-se a seguir uma breve revisão da modelagem que considera os custos de transporte como parte relevante na determinação dos lotes econômicos de pedidos e/ou entregas.

Dois dos primeiros trabalhos reportados na área são os de Constable e Whybark (1978) e Axsäter e Grubbström (1979) que desenvolvem um modelo de otimização e um procedimento heurístico para determinar, conjuntamente, quais são as alternativas de transporte e parâmetros de estoque que levam ao menor custo total de transporte e estoque. Em trabalhos posteriores, Liberatore (1979), Langley (1980) e Aucamp (1982) demonstram a inclusão das taxas de frete nas decisões de tamanho de lote usando ou as taxas de frete reais, ou funções para estimá-las.

No mesmo contexto, Gaither (1982) apresenta um método para determinar, simultaneamente, a posição e as quantidades de pedido de materiais para satisfazer uma demanda incerta. O método permite a determinação da posição e das quantidades de pedido usando os custos totais (custos de transporte, pedido e armazenagem) como critério de decisão.

Seguindo a idéia de Gaither (1982), Larson (1988) desenvolve um modelo que denominou de quantidade econômica de transporte (*Economic Transportation Quantity – ETQ*). Nesse modelo, o autor apresenta uma técnica que simultaneamente determina a alternativa ótima de transporte e o tamanho do lote ou quantidade de envio, através do cálculo

de uma quantidade ótima de transporte. A ETQ é aplicável a casos em que entregas regulares são planejadas entre um ponto de origem e um ponto de destino.

Outros estudos, como os de Hwan et al. (1990), Ramasesh (1993), Tersine et al. (1995) e Burwell et al. (1997), utilizam algoritmos complexos, como por exemplo, heurísticas ou metaheurísticas, para incorporar taxas de frete reais na determinação da quantidade ótima de pedido, considerando descontos por quantidades. Gupta (1992) apresenta um modelo que incorpora valores discretos de custos de transporte na determinação do tamanho do lote de entrega.

Buffa (1987) e Carter e Ferrin (1995) relatam que os termos de pagamento de frete afetam fortemente a capacidade de minimizar custos de pedidos ou entregas. Além disso, os autores destacam a necessidade de considerar, conjuntamente, todos os custos de compradores, fornecedores e transportadores, fator esse não considerado pelos trabalhos citados anteriormente.

Carter e Ferrin (1996) enfatizam a idéia de coordenação das operações da cadeia de suprimentos entre fornecedores, transportadores e fabricantes, contida em vários exemplos da literatura sobre *Just in Time* (JIT). Os autores mostram que, no caso da produção *Just in Time*, a estrutura das taxas de frete pode afetar significativamente a política de pedido, níveis de estoque e níveis de serviço ao consumidor. O conceito de integração estabelece fortes relações de custos e serviços na tomada de decisão entre estoque e transporte, e mostra a importância de considerá-las simultaneamente.

Alguns pesquisadores como Buffa (1988), Ballou (1991), e Swenseth e Buffa (1990) apresentam análises dos impactos que determinados fatores têm sobre os custos totais nas estratégias tradicionais e de produção na filosofia JIT. Nesses fatores estão inclusos os custos de transporte e estocagem e a descrição de condições alternativas de operação da cadeia.

Blumenfeld et al. (1985) e Tyworth (1992) analisam os *trade-offs* entre os custos de transporte, estoque e produção. Blumenfeld et al. (1985) determinam estratégias ótimas de entregas que envolvem escolha de rotas e tamanho do lote de entrega.

Seguindo o estudo de Blumenfeld et al. (1985), Van Eijs (1994) desenvolve uma heurística para um sistema de estoque composto de vários itens. O autor considera os custos de transporte como função das taxas de frete, do volume transportado e da capacidade de transporte. A heurística utilizada baseia-se nas trocas compensatórias entre os custos de transporte, de pedido e de manutenção para determinar as quantidades ótimas de pedido e/ou entrega. Com os resultados numéricos o autor observou que o custo total pode ser substancialmente reduzido (em mais de 20%), a partir de decisões integradas sobre planejamento de pedido e de transporte.

Chandra e Fisher (1994), em estudo sobre a coordenação da produção e planejamento da distribuição, também concluem que, por meio da coordenação, os custos podem ser reduzidos substancialmente, de níveis de 36% para 20%. Alp et al. (2003), Chen e Samroengraja (2004), Chen et al. (2004) e Cardós e Garcia-Sabater (2005) apresentam trabalhos similares em que desenvolvem políticas de reabastecimento da cadeia considerando os custos de transporte.

Ainda com relação à variação dos custos de transporte em função das quantidades de pedido e das possíveis economias de escala, Speranza e Ukovich (1994b) e Chaouch (2001) consideram o problema da determinação das frequências de entrega de produtos para minimizar a soma dos custos de transporte e estoque. Tersine e Barman (1994) desenvolvem um algoritmo de suporte à tomada de decisão de transporte e estoque que envolve descontos por quantidades e por entregas.

Bertazzi et al. (1997; 2000) desenvolvem modelos usando heurísticas para minimizar custos de transporte e estocagem para produtos enviados de uma origem a diversos destinos, com frequências de entrega previamente determinadas. No modelo são determinados: (i) a quantidade de caminhões a serem usados; (ii) os produtos a serem carregados; (iii) a quantidade e frequência de entrega em cada destino; (iv) os destinos; e (v) as rotas a serem usadas.

Vroblefski et al. (2000) desenvolvem um modelo similar ao de Bertazzi et al. (2000). Os autores incorporam os custos de transporte em um modelo de teoria de estoque. A partir do modelo é possível avaliar o impacto da escolha do tipo de transporte e das políticas de estoque no cálculo da quantidade econômica de pedido.

Swenseth e Godfrey (2002), Chan et al. (2002), Zhao et al. (2004) e Abad e Aggarwal (2005) desenvolvem heurísticas de cálculo da quantidade de pedido onde consideram os custos de transporte de diferentes formas, como por exemplo, funções não-lineares ou lineares côncavas. Demonstram que as tradicionais funções de custos de transporte, disponíveis na literatura, podem ser incorporadas nas decisões de ressuprimento. Os autores argumentam que a inclusão dessas funções de custos de transporte não compromete a precisão da decisão e não adicionam complexidades ao processo de tomada de decisão.

Por constituírem-se em um importante referencial teórico sobre modelos que incorporam custos de transporte, abordam-se a seguir os modelos de Swenseth e Godfrey (2002) e Chan et al. (2002), respectivamente. Esses modelos foram escolhidos para serem abordados com mais detalhes por serem mais recentes e também por aproximarem os custos de transporte aos custos reais na estrutura de custos, sem adicionar grandes complexidades ao processo de tomada de decisão.

2.2.1 Os custos de transporte no modelo de Swenseth e Godfrey

Como mencionado anteriormente, Swenseth e Godfrey (2002) desenvolvem heurísticas de cálculo da quantidade de pedido onde consideram os custos de transporte como parte relevante para o processo de tomada de decisão. A heurística de cálculo consiste na escolha do tamanho ótimo de lote a partir da comparação de resultados obtidos por meio de cálculos de três equações distintas que são denominadas, respectivamente, de modelo tradicional de quantidade econômica de pedido, modelo de quantidade econômica de pedido para cargas completas e modelo de quantidade econômica de pedido para cargas incompletas.

O primeiro modelo – modelo tradicional de quantidade econômica de pedido – deriva da função de custo logístico total anual apresentada na equação (2). Esse custo é constituído pelo custo médio de manutenção de estoque (primeira parcela da equação (2)), pelo custo de *setup* (segunda parcela da equação (2)), e pelos custos de transporte representados por uma taxa fixa de custos (terceira parcela da equação (2)).

$$L = \frac{QC_h}{2} + \frac{DC_o}{Q} + F_y D w \quad (2)$$

em que

- L: custo logístico total anual;
- Q: quantidade de pedido (unidades);
- F_y : taxa de frete para uma dada faixa de peso y , em uma rota;
- w: peso unitário do produto.

A quantidade ótima de pedido, *Economic Order Quantity* - EOQ, derivada a partir da função de custo logístico (2) corresponde à equação (1) apresentada na seção 2.1 que foi desenvolvida por Harris em 1913. A equação resultante mostra que as taxas de frete, assim

incorporadas na função de custo logístico, têm o mesmo efeito que não incorporá-las ao modelo para determinar a EOQ.

É importante ressaltar que, pelo fato das taxas de frete serem inversamente proporcionais à carga, considerá-las como variáveis que influenciam a decisão sobre a quantidade de pedido pode resultar em economias de custo – economias de escala – para cargas maiores. Por esse motivo, os autores especificaram as funções de taxa de frete ajustadas para cargas maiores (TL – *truckload*) e para cargas menores (LTL – *less-than-truckload*).

A função de taxa de frete para cargas TL, correspondente ao modelo de quantidade econômica de pedido para cargas completas, é dada por:

$$F_y = \frac{F_x W_x}{W_y} \quad (3)$$

em que

F_x : taxa de frete para um caminhão de determinada capacidade;

W_x : capacidade do caminhão;

W_y : quantidade a ser carregada (corresponde à quantidade de pedidos em unidades (Q) multiplicada pelo peso/unidade (w)).

Com a substituição de (3) em (2) obtém-se uma nova função de custo total, que simplificada corresponde a:

$$L = \frac{QC_h}{2} + \frac{DC_0}{Q} + \left[\frac{F_x W_x}{Q} \right] D \quad (4)$$

A segunda forma de cálculo da quantidade ótima de pedido é obtida pela otimização que se dá por um processo de derivação da função de custo total (4), denominada pelos autores de modelo ajustado para cargas TL:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D(C_0 + F_x W_x)}{C_h}} \quad (5)$$

Na determinação da quantidade econômica de pedido, esse modelo essencialmente adiciona as características de uma carga TL ao custo de colocar um pedido. Para o caso do modelo de quantidade econômica de pedido para cargas incompletas (cargas LTL), a função de custo de frete apresentada pelos autores é dada pela equação (6), onde ψ representa um ajuste de função de frete e é estimado em função das taxas de frete e dos descontos praticados.

$$F_y = F_x + \psi F_x \left[\frac{W_x - W_y}{W_y} \right] \quad (6)$$

em que

ψ : constante entre 0 e 1.

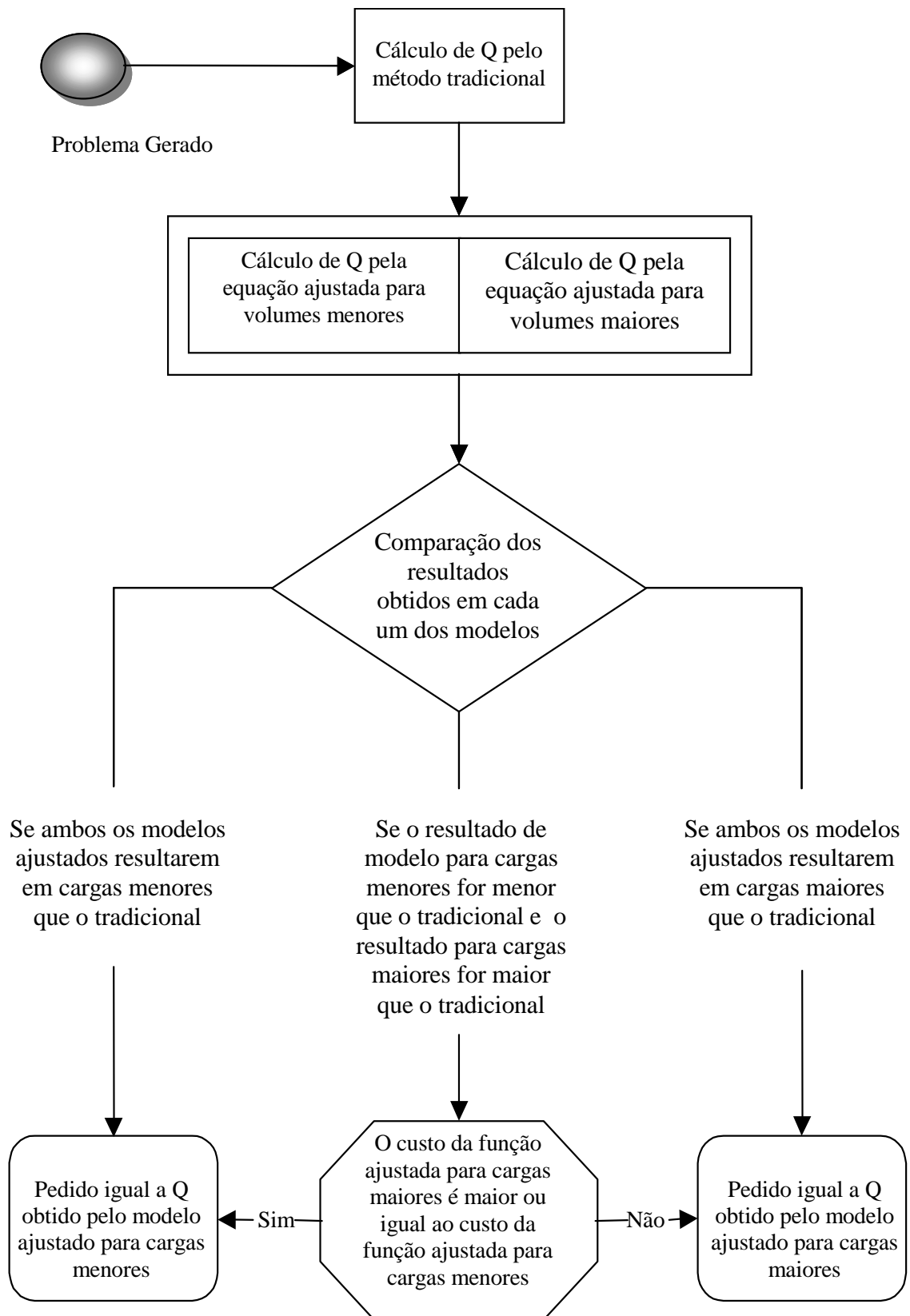
Com a substituição de (6) em (2) obtém-se a função de custo total para cargas LTL. Essa representa o modelo ajustado para cargas LTL que, com as devidas simplificações, corresponde a:

$$L = \frac{QC_h}{2} + \frac{DC_0}{Q} + \left[F_x + \psi F_x \left[\frac{W_x - Q_w}{Q_w} \right] \right] D_w \quad (7)$$

Logo, a terceira forma de cálculo de quantidade ótima de pedido, construída para o caso de cargas LTL é dada por:

$$Q = \sqrt{\frac{2D(C_0 + \psi F_x W_x)}{C_h}} \quad (8)$$

Em cada um dos três casos, a heurística de decisão da quantidade ótima de pedido consiste na comparação e escolha entre os valores das quantidades obtidas, conforme o procedimento de solução ilustrado na Figura 4.



Fonte: Swenseth e Godfrey (2002)

Figura 4 Seqüência do processo heurístico do modelo

Segundo Swenseth e Godfrey (2002) os resultados obtidos por esse método mostram que o fato de se considerar, ou não, os custos de transporte como parte relevante na determinação da quantidade ótima de pedido ou entrega, pode influenciar, significativamente, o processo de tomada de decisão. Os autores concluem que, a partir do conhecimento do impacto decorrente da incorporação da função adequada de taxa de frete na tomada de decisões de reabastecimento, é possível incorporar funções similares em modelos alternativos, que possam ter um melhor ajuste em suas aplicações particulares.

2.2.2 Os custos de transporte no modelo de Chan et al.

Chan et al. (2002) analisam o problema de determinação da quantidade econômica de pedido direcionado a empresas que contam com transporte TL e LTL para a distribuição dos produtos, ao longo da cadeia de suprimentos. O objetivo é projetar políticas ótimas de estoque e estratégias de transporte. A meta é satisfazer totalmente as demandas que variam no tempo, em um horizonte finito, enquanto se minimiza o custo da cadeia como um todo, obtendo vantagens dos descontos por quantidade.

Os autores consideram um modelo clássico de distribuição de estoque, em que um único atacadista recebe estoque de um único fornecedor, e este reabastece o estoque de n varejistas. Cada varejista fornece ao atacadista a previsão da demanda, para o próximo período de tempo t . Avaliam duas possibilidades de estrutura de custos de transporte: (i) estrutura de custo com desconto incremental; e (ii) estrutura de custo com desconto para todas as unidades.

A primeira estrutura pode ser completamente caracterizada pelas equações de custo lineares côncavas com relação a um conjunto de variáveis. Naturalmente, um caso especial

dessas funções de custo é a função de tarifa fixa, onde um custo fixo independente do tamanho do pedido é incorrido toda vez que há uma entrega.

A segunda estrutura é aquela em que uma função de custos indica que, se a quantidade pedida for Q unidades, a função de custos de transporte será dada por:

$$G(Q) = \begin{cases} 0 & \text{se } Q = 0, \\ c & \text{se } 0 < Q < M_1, \\ \alpha_1 Q & \text{se } M_1 \leq Q < M_2, \\ \alpha_i Q & \text{se } M_i \leq Q < M_{i+1}, \quad i = 2, 3, \dots, n-1, \\ \alpha_n Q & \text{se } M_n \leq Q \end{cases} \quad (9)$$

em que

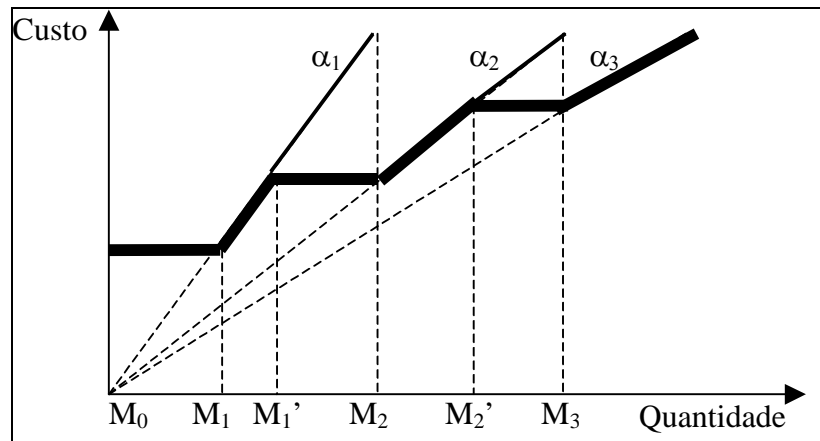
$$\alpha_1 > \alpha_2 > \dots \geq 0;$$

$$\alpha_1 M_1 = c.$$

Assim, α_i são as declividades das retas de custos e c é uma tarifa mínima para entregar um pequeno volume, isto é, c é o custo total, quando o número de unidades entregue não for maior que M_1 . Essa prática, comumente usada, expressa que a verdadeira função de custos de transporte tem a estrutura descrita pela linha sólida mais espessa da Figura 5. As variáveis M_i , presentes nessa figura, são os limites de quantidades utilizados para representar intervalos de ajuste das equações de custos, de modo a não deixar descontínua a estrutura global de custos, ou seja, o intervalo superior de uma equação, em quantidades, que é ligado ao intervalo inferior da próxima equação, na mesma linha de custo.

Essas funções de custos são denominadas de equações de custo modificadas com desconto para todas as unidades. Note que essas funções de custos satisfazem as propriedades a seguir: (i) são equações não decrescentes em função do montante entregue; e (ii) o custo por unidade é decrescente em função da quantidade total enviada. Essa estrutura de custos,

representando descontos por quantidades, incentivos nos custos baseados no volume, e outras formas de economias de escala, têm um grande impacto na estratégia de reabastecimento.



Fonte: Chan et al. (2002)

Figura 5 Representação da função real de custos de transporte

Embora o modelo apresentado tenha por objetivo avaliar diferentes políticas de estoque e não a influência dos custos de transporte sobre as decisões de reabastecimento da cadeia de suprimentos, constitui-se em um importante referencial teórico para o desenvolvimento do modelo proposto nesta dissertação.

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, apresentaram-se alguns aspectos relacionados à modelagem para o cálculo da quantidade ótima de compra e/ou entrega no gerenciamento da cadeia de suprimentos. Inicialmente, foram abordados alguns aspectos da modelagem, tradicionalmente utilizada para a determinação de quantidades ótimas de pedidos e/ou entregas. Em seguida, apresentou-se uma breve revisão sobre os modelos de determinação de quantidades ótimas de pedidos e/ou entregas que incorporam o custo de transporte.

Tabela 1 Vantagens do Planejamento Colaborativo de Transporte

Vantagem	Exemplos	Quem beneficia
Redução dos custos de transporte	Eliminar excessivos retornos de caminhões vazios e tempos de parada	Compradores; Transportadores
Aumento na utilização dos bens	Reduzir as distâncias percorridas vazias que não são pagas para o transportador	Transportadores
Melhoria nos níveis de serviço	Desempenho maior no tempo	Compradores; Fornecedores
Aumento na visibilidade	Identificar as situações de frete na cadeia de suprimentos	Compradores; Fornecedores; Transportadores
Melhoria na satisfação do consumidor final	Aumentar o número de “pedidos perfeitos”	Compradores; Fornecedores
Aumento das receitas	Aumentar a quantidade de pedido; Melhorar os carregamentos; melhorar o desempenho	Compradores; Fornecedores; Transportadores

Fonte: Esper e Williams (2003)

Conforme observações feitas por diversos autores, observa-se que o fato de considerar ou não os custos de transporte como uma estrutura não-linear ou linear côncava pode influenciar significativamente o processo de tomada de decisão. Esper e Williams (2003) mostram algumas das vantagens que podem ser obtidas com o gerenciamento integrado da cadeia de suprimentos, considerando os custos de transporte como uma variável relevante no processo de decisão. Os autores denominam esse gerenciamento integrado de planejamento colaborativo de transportes (*Collaborative Transportation Management – CTM*). As vantagens descritas pelos autores estão apresentadas na Tabela 1. Apesar das vantagens apresentadas, a quase totalidade dos modelos que determinam quantidade ótima de pedido no planejamento integrado da cadeia não considera os custos de transporte como parte relevante. Por outro lado, os modelos que consideram os custos de transporte como parte relevante não

consideram os custos totais da cadeia como um todo, apenas o custo de uma empresa ou de um conjunto de empresas em paralelo.

A partir dessas conclusões, e da constatação da escassez de trabalhos que incorporam os custos de transporte nas determinações de quantidades ótimas de pedido ou entrega, considera-se oportuno apresentar uma proposta de modelo de gerenciamento dinâmico de uma cadeia de suprimentos de quatro níveis que incorpore esses custos. Foram apresentadas duas alternativas para a consideração dos custos de transporte: uma desenvolvida por Swenseth e Godfrey (2002) e outra por Chan et al. (2002).

Neste trabalho, desenvolve-se um modelo de gerenciamento dinâmico que incorpora os custos de transporte através de uma estrutura linear côncava composta por um conjunto de equações ajustadas, que possui como base a estrutura de equações de custo modificadas com desconto para todas as unidades, apresentada por Chan et al. (2002). Essa escolha se deve ao fato de que o modelo apresentado por Swenseth e Godfrey (2002) é mais restrito e mais complexo, uma vez que ele é desenvolvido por meio de heurísticas de escolha entre cargas inteiras ou fracionadas.

3. MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO

3.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Em geral, cadeias de suprimentos operam como sistemas puxados conduzidos pelos pedidos que os consumidores colocam ao varejista, e sua operação segue a seguinte estrutura: o varejista acumula pedidos dos consumidores durante um período até um certo prazo e depois os executa para satisfazê-los, por exemplo, no período seguinte. Pedidos que chegam depois do prazo final são registrados para o período seguinte. No final do período, o varejista começa a satisfazer os pedidos acumulados, em função da disponibilidade de produtos: se os produtos estão no estoque, o varejista envia ao consumidor; caso contrário, todos aqueles pedidos que não foram satisfeitos podem ficar arquivados para serem completados no período seguinte, se a empresa seguir uma política de pedido em espera, ou não ser atendidos, sendo considerados como vendas perdidas.

A disponibilidade do produto é o fator-chave para alcançar um bom nível de serviço ao consumidor. Por esse motivo, o varejista precisa estimar suas demandas futuras e colocar os respectivos pedidos de reposição ao distribuidor. Para isso, deve levar em consideração que colocar um pedido maior que o necessário, aumenta os custos totais de armazenagem e manutenção, entretanto, se realizar um pedido menor do que o necessário, o seu nível de serviço ao consumidor não será satisfeito.

Esse processo se repete, ao longo da cadeia, até que os pedidos cheguem ao produtor, onde é definido o projeto de industrialização e de aquisição de matéria-prima, para satisfazer os pedidos. Se a produção for menor do que os pedidos, ou se não obtiver matéria-prima para realizá-la a tempo de entregar os pedidos, a empresa poderá acumulá-los para o período

seguinte, ou não satisfazê-los, dependendo de suas políticas. Caso contrário, se produzir mais que o necessário, o resultado será um aumento nos custos de produção e manutenção de estoque. Por isso, é importante ter uma abordagem sistemática para a tomada de decisões que maximize a lucratividade de toda a cadeia de suprimentos, que é o objetivo tratado nesta dissertação.

O modelo aqui proposto é de uma cadeia de suprimentos constituída de quatro níveis: varejista, distribuidor, produtor e fornecedor. Esses níveis são interligados por uma estrutura de transporte, como apresentado na Figura 6. O problema pode ser definido como segue: dada uma cadeia de suprimentos, a correspondente demanda dos consumidores sobre um horizonte de tempo, consistindo em períodos, e a estrutura de custos, o objetivo é definir o plano ótimo de pedidos e entregas para cada nível da cadeia, em cada período, e os seus níveis de estoque e de serviço, de modo que a lucratividade seja maximizada. As principais variáveis do modelo, em cada nível da cadeia de suprimentos, estão apresentadas na Figura 6.

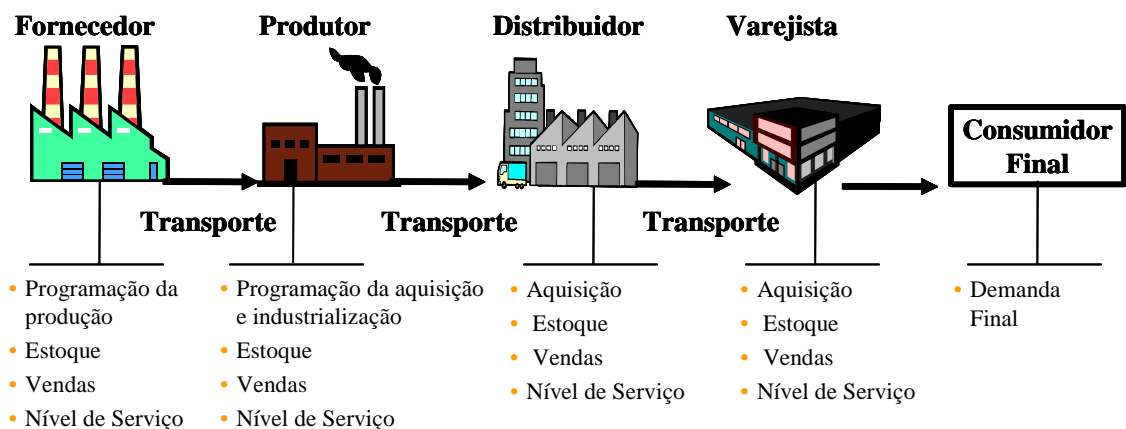


Figura 6 Estrutura geral da cadeia de suprimentos

O modelo tem como característica principal considerar os custos de transporte na determinação do plano ótimo de pedidos e entregas dos diferentes níveis da cadeia, em cada período.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA DO MODELO

O modelo desenvolvido neste trabalho tem como referencial a caracterização de gerenciamento dinâmico da cadeia de suprimentos abordado por Perea et al. (2003). As variáveis do modelo compreendem: (i) as programações de industrialização e de aquisição do produtor; (ii) a demanda final; (iii) os níveis de estoque e pedido do varejista, do distribuidor e do produtor e os níveis de estoque e produção do fornecedor; (iv) os níveis de serviço, principalmente do varejista, que são calculados em função das vendas perdidas; (v) as variáveis de decisão sobre a escolha das equações de custos de transporte, que constituem a estrutura linear côncava. Com essa caracterização apresenta-se o modelo de gerenciamento dinâmico que considera todas essas variáveis.

3.2.1 Modelo de gerenciamento dinâmico

3.2.1.1 Suposições

O modelo conta com as seguintes suposições: (i) a cadeia consiste em uma estrutura sem ramificações conectada por fluxos de materiais, dependentes da estrutura de transporte e informações, ou seja, o fornecedor atende somente um produtor, o produtor atende somente um distribuidor e o distribuidor atende somente um varejista; (ii) cada nível da cadeia é representado por um nó; (iii) existe a distribuição de apenas um produto; (iv) cada nó é modelado por uma equação de equilíbrio simples (estoque de produtos em cada nível); (v) a demanda dos consumidores no varejista, durante cada período, é satisfeita ou não, assim como a informação é repassada para o distribuidor, no final do período, por meio dos pedidos; (vi) cada ligação entre nós tem custos de transporte associados à quantidade de produtos enviada, que pode variar de período a período e estão sob a responsabilidade de quem recebe o produto; (vii) o preço do produto ao consumidor final independe da quantidade total

vendida; (viii) o modelo é de programação inteira não-linear, de tempo discreto e com um horizonte finito de planejamento.

3.2.1.2 Modelagem da cadeia

A modelagem aqui proposta consiste de uma função-objetivo – lucratividade da cadeia –, um conjunto de equações de equilíbrio, representativas da dinâmica da cadeia, e um conjunto de restrições de capacidade e de regras de decisão. Neste modelo, o objetivo é encontrar a quantidade ótima de pedido e de entrega, os níveis de estoque e de serviço para cada nível da cadeia de suprimentos, em cada período, maximizando a lucratividade total, dada pela equação (10). A seguir apresenta-se um detalhamento da função-objetivo do modelo e mais adiante são apresentadas as restrições e as equações de equilíbrio.

$$Lucratividade = Receita - \sum Custos \quad (10)$$

O desdobramento da equação (10), consiste na parcela de receita dada pela equação (11) subtraída das parcelas de custos dadas pelas equações (12), (13), (14) e (15), que representam os custos de fornecimento da matéria-prima, de industrialização, de estoque e de transporte, respectivamente.

$$REC = \sum_t^N V_V(t) * PV_V \quad (11)$$

$$F cost = \sum_t^N MP_F(t) * CMP_F \quad (12)$$

$$P cost = \sum_t^N (u_p(t) * CF_p + CV_p * PI_p(t)) \quad (13)$$

$$E cost = \sum_t^N \sum_k (E_k(t) * (CA_k + CM_k)) \quad (14)$$

$$TR cost = \sum_t^N \sum_i \sum_j A_{ij}(t) * TR_{ij}(t) \quad (15)$$

em que

- t : indicador dos períodos de tempo, $t = 1, 2, 3, \dots, N$;
- N : horizonte de planejamento;
- REC : receita total (R\$);
- $V_V(t)$: vendas do varejista no período t (unidades);
- PV_V : preço de venda do varejista (R\$/unidade);
- $u_P(t)$: binária que indica se há ou não industrialização no período t ;
- CF_P : custo fixo associado à produção (R\$);
- $Fcost$: custo total de fornecimento da matéria-prima (R\$);
- $PI_P(t)$: total de produtos industrializados no produtor em t (unidades);
- CV_P : custo unitário variável de industrialização (R\$/unidade);
- $Pcost$: custo total da industrialização realizada no produtor (R\$);
- $MP_F(t)$: quantidade de matéria-prima produzida em t (unidades);
- CMP_F : custo unitário de matéria-prima (R\$/unidade);
- $Ecost$: custo total de estoque (R\$);
- k : índice que denota: varejista (V), distribuidor (D), produtor (P) e fornecedor (F);
- $E_k(t)$: estoque dos nós k em t (unidades);
- CA_k : custo unitário de armazenagem dos nós k (R\$/unidade);
- CM_k : custo unitário de manutenção de estoque dos nós k (R\$/unidade);
- $TRcost$: custo total de transporte (R\$);
- i : índice que simboliza as diferentes equações de custo de transporte representativas da estrutura linear côncava [1,2,3];
- j : índice que denota os nós: varejista (V), distribuidor (D) e produtor (P);

- $A_{ij}(t)$: binária que indica qual das equações i de cálculo de custo é utilizada para cada nó j , em t ;
- $TR_{ij}(t)$: custos de transporte do nó j para a correspondente equação i , no período t (R\$).

A equação (11) representa o somatório das receitas provenientes das vendas do varejista ao consumidor final ($V_V(t)$), durante todo o período de planejamento. A equação (12) reproduz os custos totais de matéria-prima, dados pelo somatório dos custos variáveis provenientes da produção dessa.

A equação (13) representa os custos totais de industrialização do produto acabado para o produtor, em que a primeira parcela representa um custo fixo de ativar o processo de industrialização e a segunda parcela denota um custo variável por unidade industrializada. Na equação (14) apresentam-se os custos totais de estoque da cadeia, ou seja, o somatório dos custos de estoque de todos os nós da cadeia (\sum_k), para todo o período de planejamento. Esses custos caracterizam-se pelos custos de armazenagem, primeira parcela da equação, e de manutenção, segunda parcela.

A equação (15), composta por um somatório em i , j e t , representa a soma do custo total de transporte do varejista, do distribuidor e do produtor (somatório em j) para todos os períodos (somatório em t). O somatório em i de $A_{ij}(t)*TR_{ij}(t)$ representa a escolha de uma das três equações i de cálculo de custo total de transporte, para cada nó j (varejista, distribuidor ou produtor), em cada período t . A escolha da equação ocorre da seguinte maneira: dadas as funções TR_{ij} , de cálculo de custo total para cada nível j , as restrições e a função-objetivo do modelo, o software de otimização escolherá – nenhuma das equações de custos de transporte, i , caso seja vantajoso não realizar entregas; uma delas, e a que representa o intervalo mais adequado de vendas, caso contrário. Esse sistema de escolha de uma das

diferentes equações de custos de transporte, i , para cada nó, em cada período, é o que torna o modelo um modelo de programação inteira não-linear.

As equações TR_{ij} de custos de transporte representam uma estrutura de equações de custos de transporte para cada nível j . Considera-se que os custos de transporte são supridos pelo nível que faz a aquisição do produto. Assim, as vendas do distribuidor geram custos de transporte para o varejista, as do produtor para o distribuidor e as do fornecedor para o produtor. Essas equações são baseadas na estrutura apresentada por Chan et al. (2002), demonstrada na equação (9). São ajustadas às características do modelo aqui proposto e, por isso, são aqui denominadas de equações ajustadas de custos de transporte e estão representadas a seguir, nas equações (16),(17) e (18).

$$TR_{iV}(t) = c_{iV} + \alpha_{iV}(t) * (V_D(t) - w_{i-1}) \quad (16)$$

$$TR_{iD}(t) = c_{iD} + \alpha_{iD}(t) * (V_P(t) - w_{i-1}) \quad (17)$$

$$TR_{iP}(t) = c_{iP} + \alpha_{iP}(t) * (V_F(t) - w_{i-1}) \quad (18)$$

em que

$TR_{iV}(t)$: custos de transporte do varejista em função da equação i em t (R\$);

$TR_{iD}(t)$: custos de transporte do distribuidor em função da equação i em t (R\$);

$TR_{iP}(t)$: custos de transporte do produtor em função da equação i em t (R\$);

c_{iV} : custo mínimo da equação i para o varejista transportar até w_i (R\$);

c_{iD} : custo mínimo da equação i para o distribuidor transportar até w_i (R\$);

c_{iP} : custo mínimo da equação i para o produtor transportar até w_i (R\$);

$\alpha_{iV}(t)$: custo adicional por unidade da equação i de custos de transporte do varejista no intervalo $[i-1, i]$ (R\$/unidade);

$\alpha_{iD}(t)$: custo adicional por unidade da equação i de custos de transporte do distribuidor no intervalo $[i-1, i]$ (R\$/unidade);

- $\alpha_{iP}(t)$: custo adicional por unidade da equação i de custos de transporte do produtor no intervalo $[i-1, i]$ (R\$/unidade);
- w_i : limite superior de capacidade de transporte para a equação i (unidades);
- w_{i-1} : limite inferior de capacidade de transporte para a equação i (unidades);
- $V_D(t)$: vendas do distribuidor no período t (unidades);
- $V_P(t)$: vendas do produtor no período t (unidades);
- $V_F(t)$: vendas do fornecedor no período t (unidades).

Os custos de transporte no final de cada período t , para cada nó j , correspondem ao valor calculado por uma das equações i de cada nó, representadas pelas equações (16),(17) e (18). A primeira parcela de cada equação representa o custo fixo mínimo para o intervalo $[i, i - 1]$. A segunda parcela de cada equação é a parte incremental do custo fixo da equação i , que é representada através da multiplicação de um fator α (inclinação da reta de custo) pela diferença entre as vendas e o limite inferior da capacidade de transporte (w_{i-1}). Para a mudança da equações i , foram estabelecidos intervalos para os quais cada valor de α é válido, onde w_{i-1} representa o limite inferior de cada intervalo.

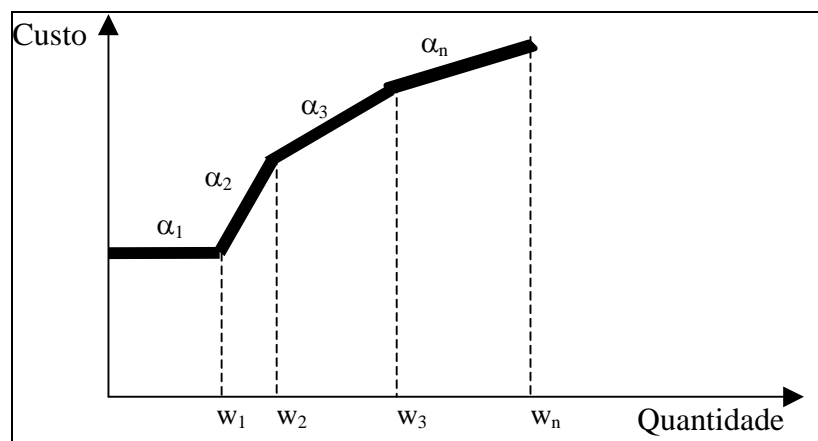


Figura 7 Representação da função real de custos de transporte do modelo proposto

Os intervalos para os quais cada valor de α é válido são delimitados pela capacidade de transporte denotada por w_i , ou então, pelo intervalo de unidades ao qual corresponde cada valor de α_i , como pode ser observado na Figura 7. Assim, supondo o nó varejista e o limite inferior da capacidade dado por w_1 , em unidades, da equação correspondente a α_2 , a equação de custos de transporte para α_2 somente será escolhida se a quantidade enviada para o varejista (vendas do distribuidor) for menor ou igual ao limite superior da capacidade ($V_D(t) \leq w_2$) e maior ou igual ao limite inferior ($V_D(t) \geq w_1$). Isso faz com que as equações sejam válidas apenas quando as vendas forem maiores ou iguais à w_{i-1} , e menores ou iguais a w_i . Como somente uma das condições i pode ser escolhida para cada período t , estabelecem-se as restrições de capacidade e escolha da equação i adequada para cada período, dadas pelas expressões (19) a (27).

$$\sum_t A_{iV}(t) * w_i \geq V_D(t) \quad (19)$$

$$\sum_t A_{iD}(t) * w_i \geq V_P(t) \quad (20)$$

$$\sum_t A_{iP}(t) * w_i \geq V_F(t) \quad (21)$$

$$A_{iV}(t) * w_{i-1} \leq V_D(t) \quad (22)$$

$$A_{iD}(t) * w_{i-1} \leq V_P(t) \quad (23)$$

$$A_{iP}(t) * w_{i-1} \leq V_F(t) \quad (24)$$

$$\sum_i A_{iP}(t) \leq I \quad (25)$$

$$\sum_i A_{iD}(t) \leq I \quad (26)$$

$$\sum_i A_{iV}(t) \leq I \quad (27)$$

O modelo escolherá as quantidades de envio e os custos de transporte correspondentes, de modo a maximizar a lucratividade da cadeia, respeitando as demais limitações descritas a seguir, que são equações de equilíbrio. As equações de equilíbrio dos estoques são as que seguem nas equações (28) a (31).

$$E_F(t) = E_F(t-1) + MP_F(t-1) - V_F(t) \quad (28)$$

$$E_P(t) = E_P(t-1) + PI_P(t) - V_P(t) \quad (29)$$

$$E_D(t) = E_D(t-1) + V_P(t-1) - V_D(t) \quad (30)$$

$$E_V(t) = E_V(t-1) + V_D(t-1) - V_V(t) \quad (31)$$

em que

- $E_F(t)$: estoque de matéria-prima do fornecedor em t (unidades);
 $E_P(t)$: estoque de produtos acabados do produtor em t (unidades);
 $E_D(t)$: estoque produtos acabados do distribuidor em t (unidades);
 $E_V(t)$: estoque de produtos acabados do varejista em t (unidades).

A equação (28) corresponde ao equilíbrio de matérias-primas para o nó do fornecedor. A equação mostra que o estoque no fornecedor no período t é igual ao estoque no período anterior ($t-1$) mais a produção no período ($t-1$) que só é disponibilizada no período t , menos as vendas para o produtor em t .

A equação (29) representa o equilíbrio de estoque do produtor. Denota que o estoque real do nó em t , é igual ao estoque em ($t-1$), mais a produção acabada do produtor em t , menos as vendas do produtor para o distribuidor em t .

As equações (30) e (31) correspondem aos equilíbrios de estoque do distribuidor e do varejista, respectivamente. Nesses casos, o estoque atual é igual ao estoque no período anterior adicionado dos produtos recebidos dos nós acima no período t , considerando-se que foram enviados em ($t-1$), menos as vendas para o nó a jusante. A defasagem entre o envio dos produtos e a entrega corresponde ao tempo de manejo e transporte do produto e é igual a um período. Apresentadas as equações de equilíbrio de estoque, seguem as equações do equilíbrio de pedidos para cada nó:

$$PA_{FP}(t) = PA_{FP}(t-1) + P_{FP}(t) - V_F(t) - V_F^{NS}(t) \quad (32)$$

$$PA_{PD}(t) = PA_{PD}(t-1) + P_{PD}(t) - V_P(t) - V_P^{NS}(t) \quad (33)$$

$$PA_{DV}(t) = PA_{DV}(t-1) + P_{DV}(t) - V_D(t) - V_D^{NS}(t) \quad (34)$$

$$PA_{VC}(t) = PA_{VC}(t-1) + P_{VC}(t) - V_V(t) - V_V^{NS}(t) \quad (35)$$

$$PA_{VC}(t) = 0 \quad (36)$$

em que

$PA_{FP}(t)$: pedidos do produtor acumulados no fornecedor em t (unidades);

$PA_{PD}(t)$: pedidos do distribuidor acumulados no produtor em t (unidades);

$PA_{DV}(t)$: pedidos do varejista acumulados no distribuidor em t (unidades);

$PA_{VC}(t)$: pedidos do consumidor final acumulados no varejista em t (unidades);

$P_{FP}(t)$: pedidos do produtor enviados ao fornecedor em t (unidades);

$P_{PD}(t)$: pedidos do distribuidor enviados ao produtor em t (unidades);

$P_{DV}(t)$: pedidos do varejista enviados ao distribuidor em t (unidades);

$P_{VC}(t)$: pedidos do consumidor enviados final ao varejista em t (unidades);

$V_F^{NS}(t)$: vendas não satisfeitas pelo fornecedor em t (unidades);

$V_P^{NS}(t)$: vendas não satisfeitas pelo produtor em t (unidades);

$V_D^{NS}(t)$: vendas não satisfeitas pelo distribuidor em t (unidades);

$V_V^{NS}(t)$: vendas não satisfeitas pelo varejista em t (unidades).

As equações (32), (33), (34) e (35) correspondem ao equilíbrio de pedidos do produtor para o fornecedor, do distribuidor para o produtor, do varejista para o distribuidor e do consumidor para o varejista, respectivamente. Essas equações mostram que os pedidos acumulados em t , correspondem aos pedidos acumulados no período anterior ($t-1$), mais os pedidos enviados em t , menos os pedidos satisfeitos em t . A variável adicional, $V^{NS}(t)$, representa os pedidos não satisfeitos devido à falta de produto. Se não houver produtos

suficientes em estoque, então a variável, $y^{NS}(t)$, assumirá o valor equivalente aos pedidos não satisfeitos no período, evitando a inviabilidade da equação e auxiliando no cálculo do nível de serviço ao consumidor. Quando houver produtos disponíveis a variável adicional será igual a zero.

A equação (36) representa uma política de reabastecimento, na qual se estipula que o varejista perde os pedidos que não são atendidos no período t , ou seja, não há acúmulo de pedidos no varejista. Os pedidos enviados pelo consumidor final ao varejista ($P_{VC}(t)$) correspondem à demanda estimada como apresentado na equação (37). Atribui-se a demanda estimada ($D(t)$) criada pelo coordenador geral⁶ da cadeia de suprimentos, assumindo-se que esta é estimada com uma certa precisão.

$$P_{VC}(t) = D(t) \quad (37)$$

em que

$D(t)$: demanda do consumidor final estimada para o período t (unidades).

A modelagem das vendas ou entregas de cada nó para o seu nó a jusante assume um papel importante na precisão para representar a reação dinâmica da cadeia, ou seja, como cada integrante reage aos pedidos, ao longo do período de planejamento. As equações (38), (39), (40) e (41) representam uma política de atuação para a reação desses nós. É uma política “o melhor que eu posso fazer”. Todos os pedidos enviados serão satisfeitos se houver disponibilidade de produtos, caso contrário, o nó entregará todo o seu estoque disponível.

$$V_F(t) = \text{MIN}(E_F(t); PA_{FP}(t-1) + P_{FP}(t)) \quad (38)$$

$$V_P(t) = \text{MIN}(E_P(t); PA_{PD}(t-1) + P_{PD}(t)) \quad (39)$$

⁶ Assume-se que a cadeia funciona como um sistema com uma coordenação central realizada por um coordenador geral.

$$V_D(t) = \text{MIN}(E_D(t); PA_{DV}(t-1) + P_{DV}(t)) \quad (40)$$

$$V_V(t) = \text{MIN}(E_V(t); PA_{VC}(t-1) + P_{VC}(t)) \quad (41)$$

Essa política mostra uma regra de decisão do modelo de gerenciamento dinâmico da cadeia de suprimentos. Essa regra deve-se ao fato de a resposta da cadeia depender da troca de estados, no caso, do nível de estoque; se existir estoque suficiente disponível para satisfazer o pedido, as vendas corresponderão ao pedido. Caso contrário, elas serão iguais à quantidade de produtos disponíveis em estoque. Essa representação da regra de decisão do modelo implica no uso de variáveis discretas, ou seja, de valores num subconjunto de números naturais, fator que complica a resolução do modelo. Para evitar essa complexidade extra Perea *et al.* (2003) sugerem usar uma representação alternativa das vendas, apresentada nas expressões (42) a (49).

$$V_F(t) \leq PA_{FP}(t-1) + P_{FP}(t) \quad (42)$$

$$V_F(t) \leq E_F(t) \quad (43)$$

$$V_P(t) \leq PA_{PD}(t-1) + P_{PD}(t) \quad (44)$$

$$V_P(t) \leq E_P(t) \quad (45)$$

$$V_D(t) \leq PA_{DV}(t-1) + P_{DV}(t) \quad (46)$$

$$V_D(t) \leq E_D(t) \quad (47)$$

$$V_V(t) \leq PA_{VC}(t-1) + P_{VC}(t) \quad (48)$$

$$V_V(t) \leq E_V(t) \quad (49)$$

Dada a dinâmica da distribuição na cadeia de suprimentos, apresentam-se, a seguir, as expressões para o modelo de produção de matérias-primas e produtos industrializados na cadeia.

$$MP_F(t) \leq C_F \quad (50)$$

$$u_p(t) \leq 1 \quad (51)$$

$$LV_F(t) \leq u_p(t) * C_p \quad (52)$$

$$PI_p(t) = \rho * V_F(t - 1) \quad (53)$$

$$V_F(t) = LV_F(t) \quad (54)$$

em que

- C_F : capacidade máxima de produção de matéria-prima (unidades);
- $LV_F(t)$: limite de venda de matéria-prima em t (unidades);
- C_p : capacidade máxima de industrialização do produtor (unidades);
- ρ : fator de conversão da matéria-prima em produto final.

A equação (50) representa a capacidade de produção de matéria-prima do fornecedor. A equação (51) determina se o produtor realizará ou não a industrialização de produtos no período; se for igual a um, industrializará, caso contrário, não. A equação (52) representa uma restrição de vendas da matéria-prima em função do processo de industrialização, ou seja, se o produtor não industrializar no período, as vendas do fornecedor serão nulas. A equação (54) representa as vendas reais do fornecedor no período. Essas vendas, além de serem limitadas pelo processo de industrialização, são limitadas pelo estoque do fornecedor e pelos pedidos do produtor. Na equação (53) apresenta-se a conversão da matéria-prima em produto industrializado, ou seja, quantas unidades de produto industrializado serão produzidas com as unidades de matérias-primas disponíveis em t . A disponibilidade de matéria-prima corresponde às vendas do fornecedor.

Apresentada a estrutura matemática do modelo, parte-se para a implementação deste em algum sistema de linguagem algébrica de modelagem⁷. Nesse sistema, avalia-se a consistência do modelo, especificando um conjunto de dados que o representariam para um

⁷ Entende-se por linguagem algébrica de modelagem a especificação dos processos envolvidos no sistema através de letras e símbolos.

determinado caso. O sistema lê o modelo e o conjunto de dados e tenta interpretá-lo como um modelo de programação linear, não-linear ou programação inteira mista. Em seguida, o sistema tenta resolvê-lo, criando matrizes de resultados. Um sistema de modelagem algébrica que pode ser usado para desenvolver esse modelo de otimização é o GAMS (*General Algebraic Modelling System*), para o qual são apresentadas algumas especificações a seguir.

3.3 APRESENTAÇÃO DO GAMS

O GAMS é um sistema de modelagem algébrica que permite utilizar algoritmos de programação linear, não-linear e de programação inteira mista, para a resolução de problemas de otimização. A pesquisa e desenvolvimento do GAMS foram custeados pelo Banco Mundial e executados, sob a direção de Alexander Meeraus, no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, em Washington, por um grande grupo de pesquisadores (BROOKE et al., 1998). O sistema é composto por diferentes *solvers* que são específicos para cada tipo de programação. Apresenta-se a seguir a descrição de *solvers* disponíveis no GAMS, que podem ser utilizados para a resolução do modelo proposto, seguindo as descrições obtidas do suporte do programa.

3.3.1 GAMS CONOPT, SNOPT e MINOS

Modelos de programação não-linear, solucionados com o GAMS, devem ser resolvidos com um algoritmo de programação não-linear (NLP). Atualmente, o GAMS possui três algoritmos-padrão de programação não-linear – CONOPT, MINOS e SNOPT –, sendo que o CONOPT é constituído de duas versões, a antiga CONOPT e a nova CONOPT2.

Os algoritmos do CONOPT, MINOS e SNOPT são baseados em diferentes algoritmos matemáticos, e se comportam de modo diferente na maioria dos modelos. São

designados para encontrar soluções ótimas locais, que podem variar de um algoritmo para o outro. Isso significa que enquanto o CONOPT é superior para alguns modelos, MINOS ou SNOPT são superiores para outros modelos.

Sempre que as versões do CONOPT apresentarem comportamentos diferenciados, a segunda versão será a melhor para a maioria dos modelos. A escolha do algoritmo para a solução do modelo não é feita automaticamente pelo programa, deve ser feita pelo usuário. O programa apenas identifica se o modelo é linear, não-linear e/ou inteiro.

O GAMS/CONOPT2 é adequado para modelos com restrições não-lineares. Se tiverem poucas restrições não-lineares no modelo então provavelmente o MINOS ou o SNOPT são os melhores *solvers*. Esse *solver* tem um método fácil de encontrar a primeira solução ótima que é particularmente bem adaptada para modelos com poucos graus de liberdade. CONOPT2 pode ser usado para resolver sistemas não-lineares. Se o número de variáveis for muito maior do que o número de restrições, então MINOS ou SNOPT poderão se apresentar como as melhores alternativas.

3.3.2 GAMS/CPLEX

GAMS/CPLEX é um *solver* que permite os usuários combinarem os níveis altos de capacidades de modelagem do GAMS com os domínios do otimizador do CPLEX. Os otimizadores do CPLEX são designados para resolver rapidamente problemas grandes e difíceis, com o mínimo de intervenções do usuário. Resolvem problemas de programação linear (LP) usando vários algoritmos alternativos. Para problemas com variáveis inteiras, o CPLEX usa o algoritmo *Branch-and-Bound* que resolve uma série de subproblemas de programação linear (LP).

3.3.3 GAMS/DICOPT

DICOPT é um *solver* desenvolvido para resolver problemas de programação não-linear inteira mista (MINLP) que envolvem variáveis binárias ou inteiras e funções contínuas lineares ou não-lineares. Seu princípio de funcionamento consiste na utilização de dois *solvers* combinados, um de programação não-linear e outro de programação linear para a resolução do problema geral, sem a necessidade da formulação de subproblemas pelo usuário, ou seja, a divisão do problema modelo em vários modelos, que são otimizados sequencialmente. Este *solver* tem grande aplicação nas áreas de engenharia, economia, administração e finanças.

3.3.4 GAMS/SBB

GAMS/SBB foi desenvolvido para resolver modelos de programação não-linear inteira mista (MINLP). É baseado em uma combinação do método padrão *Branch-and-Bound* para programação inteira mista e alguns *solvers* de programação não-linear (NLP).

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O problema apresentado neste capítulo pode ser resumido como segue: dada uma cadeia de suprimentos e a correspondente demanda do consumidor final em um horizonte de tempo que consiste em intervalos discretos, a meta é definir para cada nível da cadeia o tamanho ótimo de cada pedido, os níveis de estoque as vendas, e o nível de serviço em cada período, de forma a maximizar a lucratividade total.

No próximo capítulo apresentam-se alguns cenários de otimização do modelo proposto e uma versão deste considerando os custos de transporte como uma função linear. Realiza-se uma análise comparativa de cenários com alterações nos parâmetros de entrada e,

posteriormente, com alterações na estrutura de custos de transporte e identifica-se os seus efeitos nos nas decisões de reabastecimento.

4. ANÁLISE DO MODELO

O modelo apresentado neste trabalho serve como base para que os tomadores de decisão compreendam a repercussão que alterações nas estruturas de custos de transporte, ou nos parâmetros de custos exercem sobre os níveis de pedidos, vendas, estoque e de serviço e sobre os custos e a lucratividade da cadeia. Além disso, permite identificar oportunidades de aperfeiçoamento, ou seja, melhorias que podem ser implementadas na cadeia de suprimentos.

Dada a estrutura geral do modelo, apresentam-se neste capítulo alguns resultados de otimizações realizadas para diversos cenários. Inicialmente, realizam-se as otimizações incorporando na função-objetivo os custos de transporte como uma estrutura linear côncava, representada pelo conjunto de equações ajustadas. Em seguida, substitui-se a estrutura linear côncava de custos de transporte por uma equação linear de custos de transporte, apresentada na equação (55).

$$TRLcost = \sum_{t=1}^{RH} \beta_V(t) * V_D(t) + \beta_D(t) * V_P(t) + \beta_P(t) * V_F(t) \quad (55)$$

em que

$TRLcost$: custo linear total de transporte (R\$);

β_V : custos de transporte do varejista por unidade transportada (R\$/unidade);

β_D : custos de transporte do distribuidor por unidade transportada (R\$/unidade);

β_P : custos de transporte do produtor por unidade transportada (R\$/unidade);

O modelo deverá fornecer:

- a. Os níveis de pedidos e pedidos acumulados de cada integrante da cadeia, durante o horizonte de planejamento;

- b. Os níveis de vendas de cada integrante da cadeia, durante o horizonte de planejamento; e
- c. Os níveis de estoque e de serviço de cada integrante da cadeia ao longo do período de planejamento; e,
- d. Os custos e a lucratividade total da cadeia a no horizonte de planejamento.

Realiza-se uma análise comparativa de cenários com alterações nos parâmetros de entrada e, posteriormente, com alterações na estrutura de custos de transporte e identifica-se as principais modificações nos resultados.

4.1 APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS

A cadeia de suprimentos considerada para este estudo, como apresentado anteriormente, compõe-se de quatro níveis, também denominados nós: fornecedor, produtor, distribuidor e varejista. Cada um desses elementos possui uma estrutura particular de custos, são conectados por uma estrutura de transporte e deve atender da melhor maneira possível à demanda da cadeia, ao longo do período de planejamento. O modelo proposto fornece como resposta as séries temporais de tamanho ótimo de pedido, níveis de estoque, vendas, e de serviço que maximizam a lucratividade da cadeia.

Nesta seção apresentam-se alguns cenários otimizados para o modelo proposto e uma análise da influência que variação dos parâmetros, inclusive dos custos de transporte, ocasiona nos níveis de vendas, estoque, níveis de serviço, custos e lucratividade total da cadeia. Em seguida realiza-se uma comparação deste modelo com um modelo similar que considera uma estrutura de custos de transporte linear.

Tabela 2 Parâmetros de entrada dos cenários com estrutura linear côncava de custos de transporte

	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário D	Cenário E	Cenário F	Cenário G
PV_V	150	150	150	150	150	150	150
CF_P	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
CMP_F	5	5	5	5	5	5	5
CV_P	7	7	7	7	7	7	7
CA_F	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
CA_P	2	2	2	2	2	2	2
CA_D	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
CA_V	4	4	4	4	4	4	4
CM_F	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
CM_P	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
CM_D	0,72	3	3	4	4	4	4
CM_V	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04
C_F	400	400	200	200	200	200	200
C_P	300	300	200	200	200	200	200
ρ	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
w_1	50	50	50	50	100	100	100
w_2	200	200	200	200	200	200	200
w_3	400	400	400	400	400	400	400
C_{1V}	200	200	200	200	250	250	250
C_{2V}	200	200	200	200	250	250	250
C_{3V}	380	380	380	380	370	350	400
C_{1D}	220	220	220	220	270	270	270
C_{2D}	220	220	220	220	270	270	270
C_{3D}	400	400	400	400	390	370	420
C_{1P}	180	180	180	180	230	230	230
C_{2P}	180	180	180	180	230	230	230
C_{3P}	360	360	360	360	350	330	380
α_{1V}	0	0	0	0	0	0	0
α_{2V}	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1	1,5
α_{3V}	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7
α_{1D}	0	0	0	0	0	0	0
α_{2D}	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1	1,5
α_{3D}	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7
α_{1P}	0	0	0	0	0	0	0
α_{2P}	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1	1,5
α_{3P}	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7
$D(t)$	100	100	100	100	100	100	100

Na Tabela 2 apresentam-se os valores dos parâmetros de entrada considerados para os cenários com a estrutura de custos de transporte linear côncava. As unidades das variáveis correspondem àquelas apresentadas na descrição do modelo. Os valores apresentados em

células sombreadas são as modificações em relação ao primeiro cenário (Cenário A). Os valores adotados para os custos são valores hipotéticos baseados em valores de custos apresentados no modelo de Perea et al. (2003).

As alterações realizadas nos parâmetros de um cenário para o outro foram sempre baseadas nos resultados do cenário anterior. Assim, a alteração no parâmetro de custo de manutenção de estoque do distribuidor (Cenário B) foi um critério utilizado para análise da influência da alteração desse parâmetro nos resultados, devido aos altos níveis de estoque do distribuidor obtidos no Cenário A. As alterações de capacidade (Cenário C) foram realizadas para verificar quais as mudanças que alterações de limites, em um extremo na cadeia, provocam nos resultados gerais da cadeia e, principalmente, nas vendas, uma vez que essas possuem grandes oscilações no Cenário B. O Cenário D foi gerado com o intuito de estabelecer um cenário padrão para análise das alterações dos parâmetros de custos de transporte e os demais cenários (E, F e G) foram criados com a finalidade de verificar os efeitos da variação dos parâmetros de custos de transporte sobre os resultados.

Após a otimização dos cenários com a estrutura de custos de transporte linear côncava, foram otimizados alguns cenários com a estrutura de custos de transporte linear, a fim de verificar as principais alterações nos resultados. Na Tabela 3 apresenta-se os valores dos parâmetros de entrada considerados para os cenários com a equação de custos de transporte linear. Os valores apresentados em células sombreadas são as modificações em relação ao primeiro cenário (Cenário LA). As alterações são similares às dos cenários com a estrutura linear côncava de custos de transporte. Neste caso, são realizadas as comparações entre os cenários LA e A, B e LB, e LB e LC. A última comparação é para fins de verificar a afirmação feita por Swenseth e Godfrey (2002) de que os custos de transporte assim considerados têm o mesmo efeito que não incorporá-los ao modelo de otimização.

Tabela 3 Parâmetros de entrada dos cenários com custo de transporte linear

	Cenário LA	Cenário LB	Cenário LC
PV_V	150	150	150
CF_P	1200	1200	1200
CMP_F	5	5	5
CV_P	7	7	7
CA_F	0,5	0,5	0,5
CA_P	2	2	2
CA_D	0,6	0,6	0,6
CA_V	4	4	4
CM_F	3,6	3,6	3,6
CM_P	3,6	3,6	3,6
CM_D	0,72	4	4
CM_V	5,04	5,04	5,04
C_F	400	200	200
C_P	300	200	200
ρ	0,85	0,85	0,85
β_V	3	3	2
β_D	3,5	3,5	2,5
β_F	2,5	2,5	1,5
$D(t)$	100	100	100

Além dos valores dos parâmetros de entrada apresentados na Tabela 2 e Tabela 3, considerou-se como condições iniciais:

- Estoques iniciais⁸ do varejista, do distribuidor, do fabricante e do produtor iguais a 100 unidades;
- Pedidos acumulados do varejista no distribuidor, do distribuidor no fabricante e do fabricante no fornecedor, no período zero, iguais a 100 unidades;
- O período de planejamento inicia em t igual a zero e se estende até t igual a 24.

Para resolver a otimização utilizou-se um processador AMD Duron de 253 KB de memória RAM. Foram testados os mais diversos *solvers* apresentados no capítulo anterior. O *solver* que apresentou o melhor desempenho foi o SBB em que foram associados os algoritmos do SNOPT para a parcela não-linear (NLP) e do CPLEX para a parcela

⁸ Entende-se por estoques iniciais os estoques no período t igual a zero.

inteira (MIP). Na resolução do problema MIP, 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.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na avaliação dos resultados dos diversos cenários observa-se principalmente o comportamento dos estoques, das vendas e das vendas perdidas. Não são realizadas análises detalhadas dos pedidos uma vez que estes não incorrem em custos diretos na cadeia. Seus custos estão relacionados com as vendas, que dependem dos pedidos, dos estoques e do sistema de transporte. Os resultados completos das variáveis do modelo são apresentados nos apêndices e as variações dos resultados totais de todas as variáveis, de um cenário para o outro, são apresentadas nas considerações finais deste capítulo.

4.2.1 Análises iniciais

4.2.1.1 Cenário A

O Cenário A resulta de uma otimização realizada em um tempo de aproximadamente 97 segundos, com 52441 iterações e um *gap* relativo de 16%. Apresenta coeficiente de variabilidade relativamente baixo para o estoque e as vendas do varejista (ver resultados no APÊNDICE A). Por outro lado, o estoque do distribuidor possui um coeficiente de variabilidade alto em comparação aos estoques dos outros integrantes. Como pode ser observado na Figura 8, o distribuidor acumula produtos, atingindo um nível de estoque de 600 unidades no período 15, conseqüência do acúmulo das vendas do produtor nos períodos

iniciais. Isso, provavelmente, se deve ao fato de o custo de estoque por unidade ser baixo, em comparação aos demais custos.

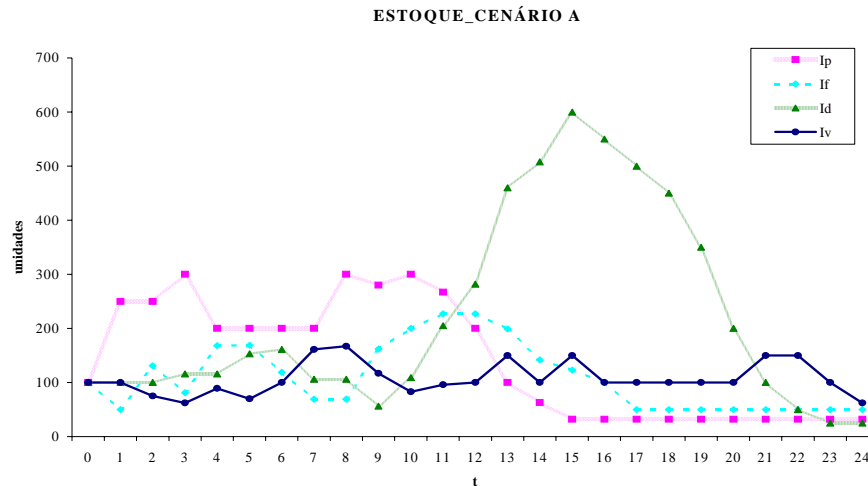


Figura 8 Estoque do Cenário A ao longo do período de planejamento

Com relação aos transportes, nota-se pela Figura 9 que as vendas se concentram em cargas acima de 50 unidades. Somente em três ocasiões elas assumem valores inferiores a 50 unidades: em duas ocasiões no fornecedor e uma no distribuidor. Elas ocorrem no último período de entregas do distribuidor para o varejista e nos dois últimos períodos de entregas do fornecedor para o produtor. Possivelmente isso é resultado de se ter estabelecido um custo mínimo de entrega para quantidades menores que 50 unidades, ou seja, independente de quanto for enviado, se for uma quantidade menor que 50 unidades o custo será fixo para o volume. Logo, se enviar 50 unidades, o custo por unidade será menor do que se enviar, por exemplo, 30 unidades, ou seja, adquirindo mais se obtém economias de escala, em função dos custos de transporte.

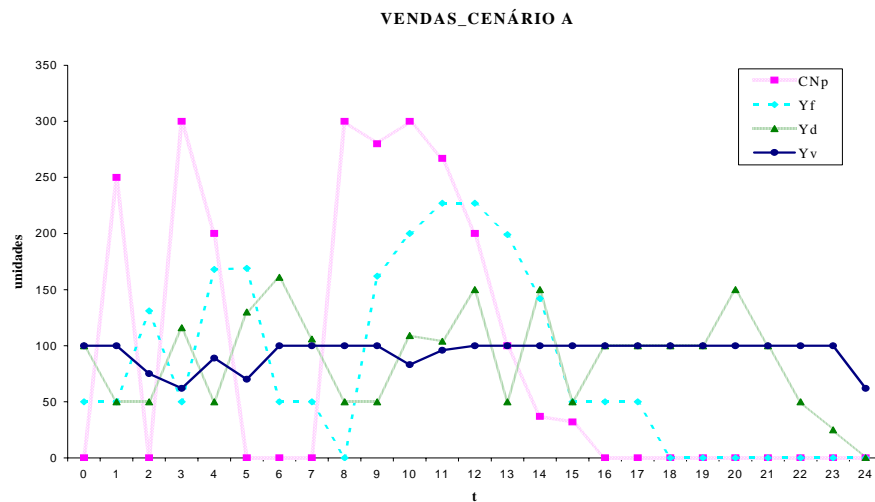


Figura 9 Vendas do Cenário A ao longo do período de planejamento

Outro fato interessante de se observar é que as vendas do fornecedor e do produtor concentram-se na primeira metade do período de planejamento, posição em que se encontra a maior parte das vendas perdidas do varejista (ver os pontos de vendas do distribuidor que se encontram abaixo de 100 unidades na Figura 9).

4.2.1.2 Cenário B

O Cenário B possui os mesmos parâmetros que o Cenário A, exceto com relação ao custo de estoque do distribuidor, onde foi realizada uma alteração nos valores. Essa alteração foi efetuada pelo fato de no Cenário A o distribuidor ter apresentado níveis muito altos de estoque. Através da otimização do Cenário B realiza-se uma análise comparativa com o Cenário A, para verificar a influência da variação do custo de manutenção de estoque do distribuidor, principalmente nos níveis de vendas, estoques e de serviço da cadeia, uma vez que no Cenário A. Seu tempo de otimização gira em torno de 91 segundos, com 54518 iterações e um *gap* relativo de 15,94%.

Conforme resultados obtidos para este cenário, a alteração no custo de estoque do distribuidor ocasiona uma diminuição geral nos níveis de estoque total da cadeia⁹ no período de planejamento de 9,82% em relação ao Cenário A. O seu comportamento dinâmico ao longo do período de planejamento tem pequenas alterações, com diminuição na variabilidade dos estoques do fornecedor, do produtor e do distribuidor e um pequeno aumento de variabilidade no estoque do varejista. Uma síntese dos resultados numéricos desse cenário é apresentada no APÊNDICE B.

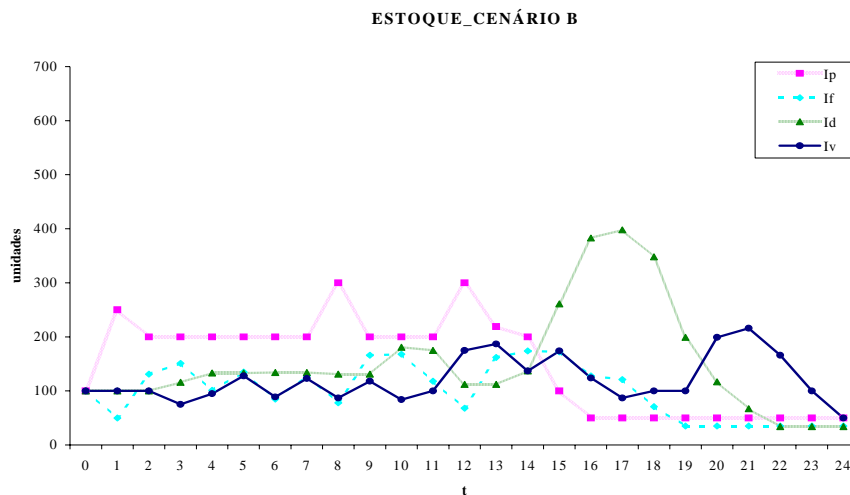


Figura 10 Estoque do Cenário B ao longo do período de planejamento

Com relação às vendas dos integrantes da cadeia ao longo do período de planejamento, essas apresentam uma variabilidade maior do que as vendas do Cenário A (ver Figura 11). Há mais vendas de cargas de 50 unidades do que no cenário anterior, observando-se um aumento de 3,37% no custo total de transporte no período de planejamento.

⁹ Considera-se estoque da cadeia como a soma dos estoques de todos os integrantes.

Apesar do aumento da variabilidade nas vendas da cadeia, o nível de serviço ao consumidor final¹⁰ teve uma pequena melhora, passando de 93,48% para 94,68%. No Cenário B o varejista apresenta vendas perdidas em mais períodos do que no Cenário A, todavia os níveis de perdas são menores, o que resulta num nível de serviço melhor no período de planejamento.

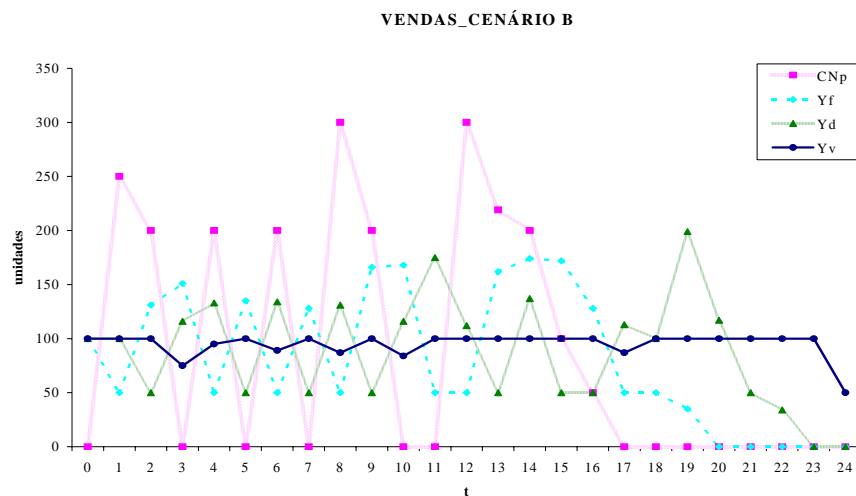


Figura 11 Vendas do Cenário B ao longo do período de planejamento

4.2.1.3 Cenário C

A otimização do Cenário C avalia o impacto da capacidade de produção e de fabricação sobre os resultados da cadeia em relação ao Cenário B. O processo de otimização tem uma duração aproximada de 227 segundos, com 52968 iterações e um *gap* relativo de 15,84%.

A modificação nas capacidades de produção e de fabricação ocasiona quedas de 21,27%, 4,25% e 6,74% nos estoques totais do período de planejamento do fornecedor, produtor e varejista, respectivamente. O estoque do distribuidor tem um acréscimo de 8,60%.

¹⁰ Entende-se por nível de serviço ao consumidor final o total de vendas no período de planejamento com relação à demanda do período.

Apesar do aumento no total do estoque do distribuidor, ocorre uma queda generalizada nos níveis máximos de estoque de todos os integrantes, como se pode observar na comparação do APÊNDICE B com o APÊNDICE C. O comportamento dos níveis de estoque, ao longo do período de planejamento, é apresentada na Figura 12.

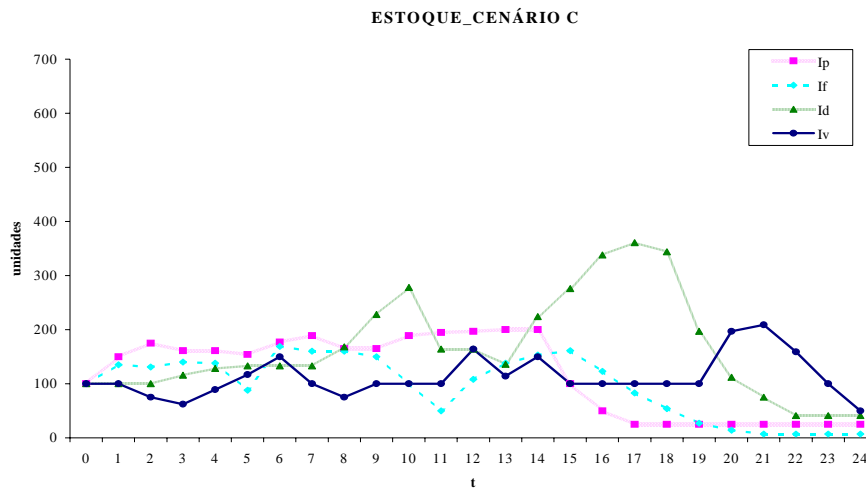


Figura 12 Estoques do Cenário C ao longo do período de planejamento

O transporte, neste cenário, apresenta uma pequena elevação nos custos em comparação ao Cenário B (aumento de 7,18%). Isso é resultante da diminuição dos estoques, ou seja, da disponibilidade de produtos para atender aos pedidos. Sendo assim, enviam-se lotes menores, incrementando o custo por quantidade transportada. A variabilidade das vendas também aumenta, em relação ao cenário anterior (ver Figura 13).

Além do aumento da variabilidade nas vendas da cadeia, o nível de serviço ao consumidor final teve uma pequena queda, passando de 94,68% para 94,04%. Essa queda de disponibilidade de produtos para venda ao consumidor final pode ser resultante do incremento nos custos de produção, fabricação e de transporte. Entretanto, essa queda também pode ter ocorrido devido à pequena melhora no *gap* relativo.

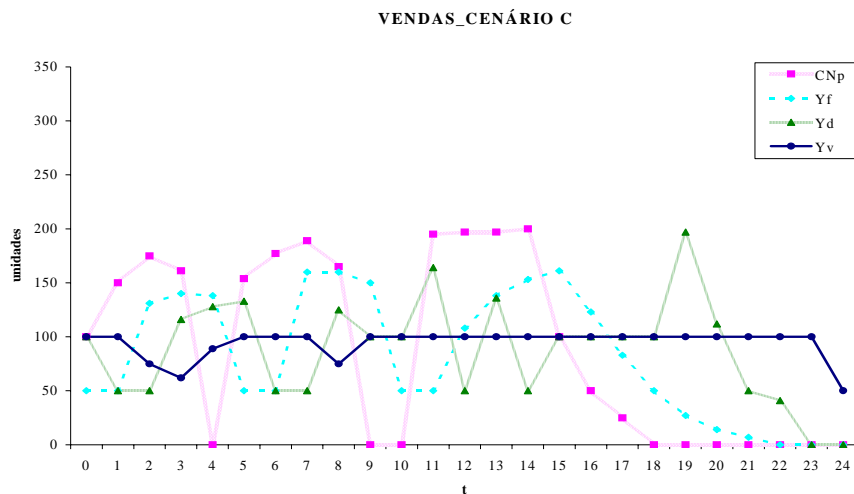


Figura 13 Vendas do Cenário C ao longo do período de planejamento

4.2.2 Análise comparativa frente a alterações nos parâmetros de custos de transporte

4.2.2.1 Cenário D

O Cenário D resulta de uma otimização realizada em um tempo de aproximadamente 100 segundos, com 60740 iterações e um *gap* relativo de 16%. Este cenário foi simulado para servir de referencial na análise dos resultados dos cenários frente a alterações nos parâmetros de custos de transporte.

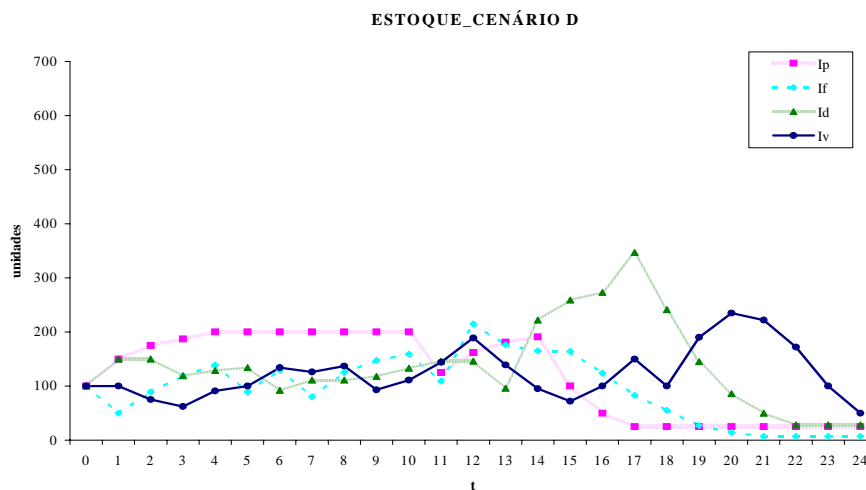


Figura 14 Estoque do Cenário D ao longo do período de planejamento

Este cenário apresenta pequenas alterações na variabilidade dos estoques em relação ao Cenário C (ver Figura 14), e uma queda de 2,79% no estoque total da cadeia no período de planejamento. Além disso, ao nível de serviço ao consumidor final diminui um pouco, passando de 94,04% para 93,52%. O comportamento das vendas, apresentado na Figura 15, também não possui grandes alterações em relação ao Cenário C.

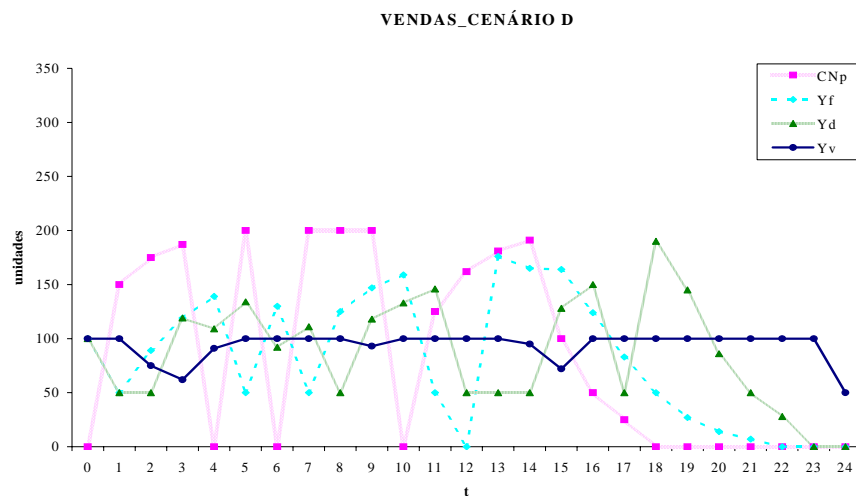


Figura 15 Vendas do Cenário D ao longo do período de planejamento

4.2.2.2 Cenário E

A otimização do Cenário E tem como objetivo auxiliar na avaliação dos efeitos da estrutura de custos de transporte nas decisões de reabastecimento da cadeia, em relação ao Cenário D. Neste cenário, foram alterados os coeficientes de custos mínimos de cada equação i , em relação ao Cenário D, e o limite superior de capacidade de transporte das condições com i igual a 1 (um). O processo de otimização deste cenário tem uma duração em torno 90 segundos, com 53925 iterações e um *gap* relativo de 13,69%.

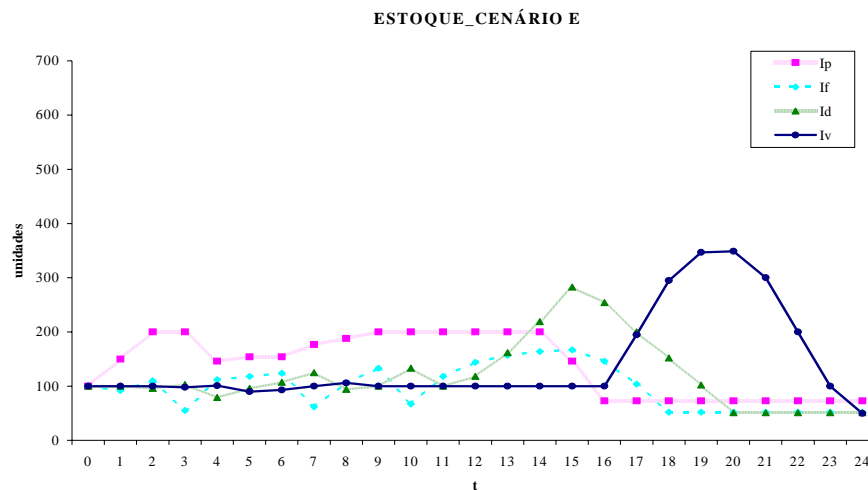


Figura 16 Estoque do Cenário E ao longo do período de planejamento

Observa-se, neste cenário, um aumento na variabilidade geral dos estoques do fornecedor, do produtor e do distribuidor. Ocorre uma diminuição da variabilidade no estoque do varejista, nos primeiros dois terços do período de planejamento. Há também uma diminuição dos níveis máximos de estoque do produtor e do distribuidor, e um aumento significativo do nível máximo de estoque do varejista, que ocorre a partir do segundo terço do período de planejamento. Essa alteração na dinâmica dos estoques da cadeia resulta em um incremento de 5,73%¹¹ nos custos totais de estoque, comparando ao Cenário D.

Relacionado ao transporte, com a alteração nos parâmetros de custos e o deslocamento para cima do limite inferior da carga mínima, passando de 50 para 100 unidades, há também um incremento no tamanho dos lotes de vendas entre os integrantes da cadeia. Esses passam a valores superiores a 100 unidades, na maior parte do tempo, como pode ser observado na Figura 17.

O aumento no tamanho do lote leva a economias de escala nos custos de transporte e, apesar dos custos de produção, fabricação e estocagem da cadeia aumentarem, a lucratividade

¹¹ Os custos são apresentados nos respectivos apêndices de cada cenário.

final da cadeia é melhor que no cenário anterior. A melhoria na lucratividade da cadeia se deve principalmente ao fato do aumento da disponibilidade de produtos ao consumidor final. Isso resulta, neste cenário, num incremento no nível de serviço ao consumidor final, em relação ao anterior, passando de 93, 52% para 97, 24%.

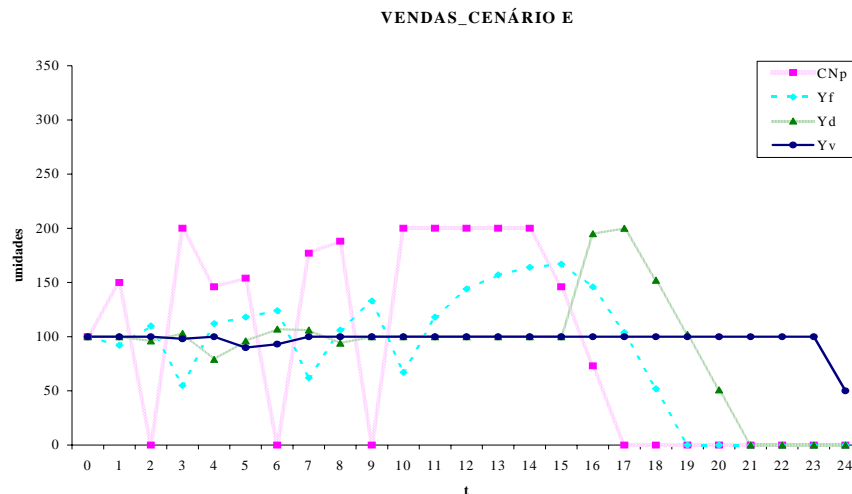


Figura 17 Vendas do Cenário E ao longo do período de planejamento

4.2.2.3 Cenário F e Cenário G

A otimização do Cenário F e do Cenário G tem como objetivo auxiliar na avaliação da influência da alteração na inclinação das curvas de custos de transporte sobre as decisões de reabastecimento da cadeia. Ambos os cenários não apresentam alterações em comparação ao Cenário E, não apresentando sensibilidade às alterações propostas. Outros cenários com alterações na inclinação das curvas de custos de transporte foram simulados e nenhum deles apresentou alterações nos resultados. Isso pode significar que a inclinação das equações de custos de transporte e os coeficientes de custo mínimo de cada equação i não influenciam na tomada de decisão. Entretanto, a alteração dos limites de capacidade de cada equação i , juntamente com a alteração da inclinação das equações de custos de transporte e dos coeficientes de custo mínimo de cada equação i , pode ocasionar alterações nos resultados.

4.2.3 Análise de cenários com custo de transporte linear

A otimização dos cenários com custo de transporte linear visa a comparação dos resultados destes com os dos cenários de custos de transporte com a estrutura linear côncava.

4.2.3.1 Cenário LA

O Cenário LA possui os parâmetros de entrada iguais aos do Cenário A, excetuando-se os custos de transporte. O tempo de otimização desse cenário é de aproximadamente um segundo e seu *gap* relativo é de 7,51%. Realiza-se aqui uma análise comparativa dos resultados do Cenário LA com o Cenário A.

Observa-se no Cenário LA um decréscimo na variabilidade dos níveis de estoque, ao longo do período, e, também, uma diminuição nos níveis máximos de estoque. A redução no estoque total da cadeia, em relação ao Cenário A, é de 2,25%¹².

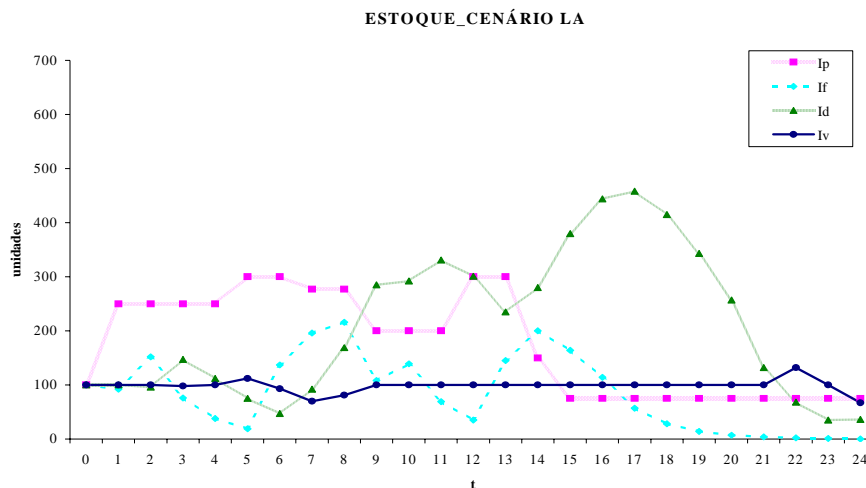


Figura 18 Estoque do Cenário LA ao longo do período de planejamento

¹² A comparação dos resultados pode ser realizada por meio dos gráficos ou dos apêndices relacionados.

Com relação às vendas, o nível de serviço ao consumidor final passa de 93,48% para 96,36%. Entre os integrantes da cadeia, um fato interessante de observar é o tamanho dos lotes de venda do produtor, que, em vários períodos, é baixo, alcançando o valor de uma unidade, nos dois últimos períodos (ver Figura 19). São lotes que geram uma lucratividade ótima melhor para o período de planejamento, com a estrutura de custos de transporte linear, em comparação à estrutura linear côncava de custos de transporte. Entretanto, na prática esses lotes possuem custos de transporte maiores que os obtidos no modelo, fato que altera os custos e a lucratividade real da cadeia, em relação aos valores obtidos na otimização.

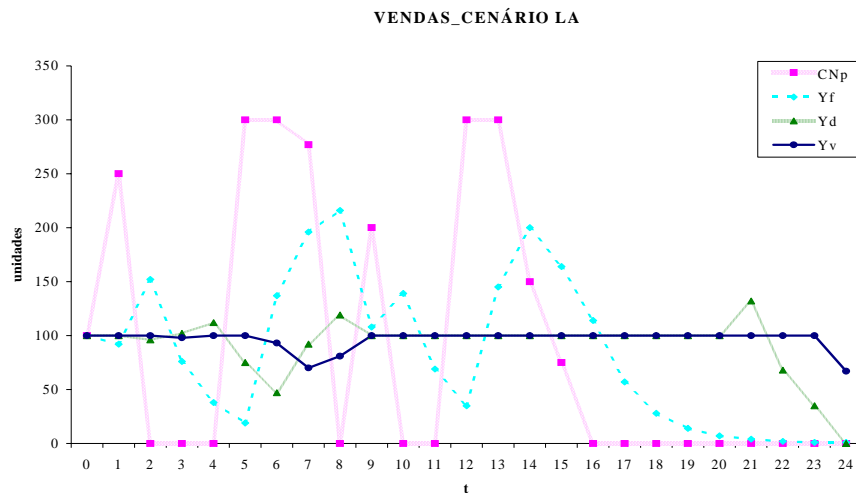


Figura 19 Vendas do Cenário LA ao longo do período de planejamento

4.2.3.2 Cenário LB

O Cenário LB possui os parâmetros de entrada iguais aos do Cenário D, excetuando-se, mais uma vez, os custos de transporte. O tempo de otimização desse cenário é de, aproximadamente, um segundo e seu *gap* relativo é de 2,92%.

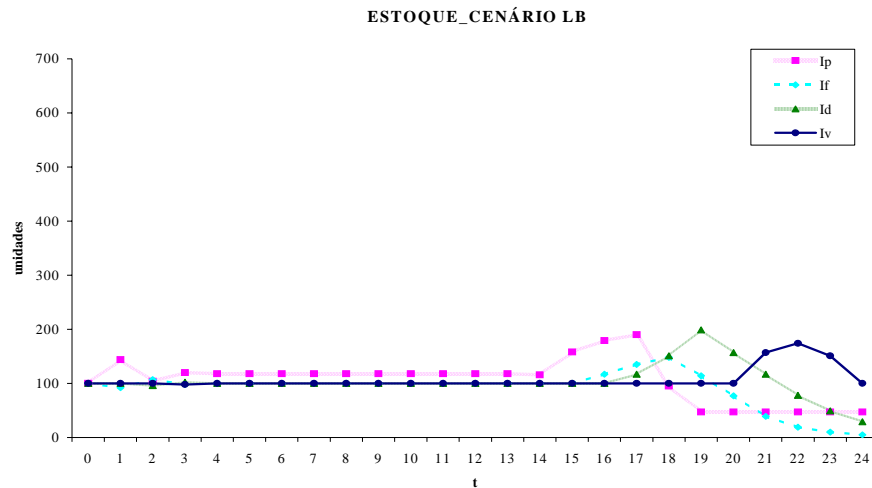


Figura 20 Estoque do Cenário LB ao longo do período de planejamento

Observa-se, na Figura 20, um decréscimo acentuado na variabilidade dos níveis de estoque, ao longo do período, e, também, uma diminuição nos níveis máximos de estoque. A redução no estoque total da cadeia, neste caso, em relação ao Cenário D, é de 14,52% (comparar os resultados do APÊNDICE D com os do APÊNDICE I).

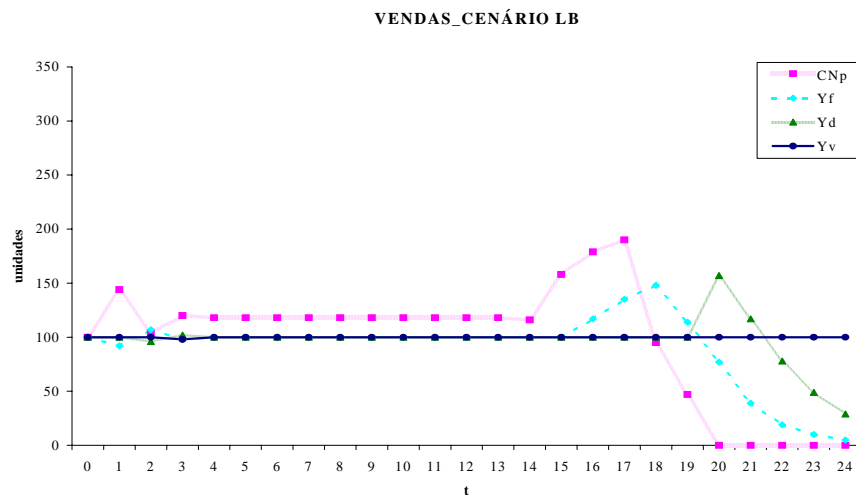


Figura 21 Vendas do Cenário LB ao longo do período de planejamento

Com relação às vendas, o nível de serviço ao consumidor final passa de 93,52% para praticamente 100%. Entre os integrantes da cadeia, assim como no Cenário LA, novamente é

o tamanho dos lotes de venda do produtor, nos últimos períodos, cai a valores baixos, aproximando-se de uma unidade nos dois últimos períodos (ver Figura 21).

4.2.3.3 Cenário LC

O Cenário LC visa a análise dos resultados com alteração nos parâmetros de custos de transporte. A alteração proposta não provocou mudanças nos resultados em relação ao Cenário LB. Outras otimizações com alterações nos parâmetros de custos de transporte foram realizadas, e, também não apresentaram alterações nos resultados. Alterações muito grandes nos parâmetros ocasionaram minuciosas alterações nos resultados, entretanto, essas alterações podem ser devido às alterações dos *gaps* de otimização. Esses resultados confirmam a afirmação apresentada por Swenseth e Godfrey (2002) de que os custos de transporte assim considerados têm praticamente o mesmo efeito que não incorporá-los ao modelo de otimização.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentadas diversas otimizações de cenários para efeitos de análise comparativa entre cenários, com alterações em alguns parâmetros. A análise consistiu-se basicamente na verificação das alterações que ocorreram de um cenário para o outro, nos níveis de estoque, de vendas e de serviço dos diferentes integrantes da cadeia. Na Tabela 4 apresenta-se uma síntese das alterações nos valores totais de um cenário para o outro, de todas as variáveis, inclusive as variáveis não analisadas anteriormente.

Tabela 4 Quadro comparativo da variação relativa dos resultados

	B x A	C x B	D x C	E x D	LA x A	LB x D
<i>E_F</i>	5,35%	-21,27%	3,18%	14,93%	23,34%	-11,68%
<i>E_P</i>	-8,00%	-4,25%	-0,95%	2,35%	-22,77%	-5,28%
<i>E_D</i>	-31,19%	8,60%	-16,68%	-13,48%	-5,39%	-24,61%
<i>E_V</i>	12,38%	-6,74%	9,82%	14,16%	-8,54%	-13,18%
<i>V_F</i>	-2,07%	0,72%	-3,98%	8,76%	-0,62%	13,37%
<i>V_P</i>	1,23%	-0,34%	-1,22%	5,60%	4,40%	12,04%
<i>V_D</i>	0,73%	-0,68%	-0,59%	4,20%	3,50%	10,92%
<i>V_V</i>	1,28%	-0,68%	-0,55%	3,98%	3,08%	6,84%
<i>V^{NS}_F</i>	-	-	-	-	-	-
<i>V^{NS}_P</i>	-	-	-	-	-	-
<i>V^{NS}_D</i>	-	-	-	-	-	-
<i>V^{NS}_V</i>	-17,39%	11,28%	8,78%	-57,14%	-43,48%	-98,76%
<i>PA_{FP}</i>	-58,94%	264,12%	-30,35%	-46,57%	-97,38%	-97,49%
<i>PA_{PD}</i>	194,02%	-39,74%	67,28%	-22,54%	-95,06%	-98,33%
<i>PA_{DV}</i>	-28,39%	80,42%	-39,24%	188,84%	-97,53%	-96,86%
<i>PA_{VC}</i>	-	-	-	-	-	-
<i>P_{FP}</i>	-2,12%	-4,01%	0,59%	15,00%	-5,22%	9,14%
<i>P_{PD}</i>	-1,39%	2,38%	-4,01%	6,33%	2,40%	13,87%
<i>P_{DV}</i>	0,80%	-0,74%	-0,65%	4,63%	3,85%	12,02%
<i>P_{VC}</i>	-	-	-	-	-	-
<i>MP_F</i>	-1,27%	-5,03%	0,49%	6,62%	-3,23%	10,14%
<i>PI_P</i>	-2,08%	0,69%	-3,95%	8,78%	-0,62%	13,33%
<i>LV_F</i>	-2,07%	0,72%	-1,74%	2,19%	-0,62%	10,79%
<i>Fcost</i>	-1,27%	-5,03%	0,49%	6,62%	-3,23%	10,14%
<i>Pcost</i>	-1,05%	18,53%	-5,51%	7,85%	-4,81%	30,11%
<i>Ecost</i>	14,59%	-6,40%	5,64%	5,73%	-4,20%	-14,00%
<i>Trcost</i>	3,37%	7,18%	-2,53%	-3,14%	33,53%	32,44%
<i>REC</i>	1,28%	-0,68%	-0,55%	3,98%	3,08%	6,84%
<i>LUC</i>	-1,91%	-1,44%	-1,56%	3,32%	4,24%	8,24%

Na primeira coluna da tabela acima apresentam-se as variáveis do modelo e na primeira linha são apresentados os cenários comparados, por exemplo, Cenário B *versus* Cenário A (B x A). A variação dos resultados das variáveis consiste na diferença relativa dos totais de cada variável, como por exemplo, para o caso Cenário B *versus* Cenário A, o total de uma variável do Cenário B, menos o total da mesma variável do Cenário A, dividido pelo total desta variável do Cenário A. Na Tabela 4, não estão inseridos os comparativos: Cenário F *versus* Cenário E, Cenário G *versus* Cenário F e Cenário LC *versus* Cenário LB. Isso se deve ao fato de que não houve variações significativas nos resultados gerados nesses cenários.

Verifica-se, pelo quadro comparativo e pelas análises realizadas, que alterações nos parâmetros de entrada do modelo podem influenciar muito algumas variáveis (grandes variações), enquanto outras variáveis não são muito afetadas. Além disso, verificou-se na análise dos resultados, que alterações nos parâmetros de limites de capacidade de transporte e nos custos mínimos da estrutura linear côncava de custos de transporte têm grandes efeitos sobre as decisões de reabastecimento. Porém, alterações nas declividades das retas da estrutura linear côncava ou a consideração de custo de transporte linear não influenciam os resultados do modelo.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O modelo apresentado neste trabalho representa uma ferramenta para guiar o gerenciamento dinâmico da cadeia de suprimentos nos processos de tomada de decisão, e ajuda a encontrar decisões quase ótimas para maximizar a lucratividade. A introdução dos custos de transporte na função-objetivo, através de uma estrutura linear côncava composta por um conjunto de equações ajustadas, visa tornar a estrutura de custos dos modelos de gerenciamento dinâmico mais próxima da estrutura de custos reais.

A magnitude das vantagens do gerenciamento dinâmico da cadeia de suprimentos depende das características estruturais, de cada um dos integrantes da cadeia, como, por exemplo, restrições de capacidade e magnitude dos custos de produção, transporte e armazenagem. Isso se observa nas análises realizadas no capítulo anterior, com alterações nos parâmetros de custos de estoque, restrições de capacidade de produção e fabricação e da estrutura de custos de transporte.

Os resultados apresentados no capítulo anterior demonstram que a restrição de custo mínimo para transportar determinada quantidade de produto influencia fortemente nas decisões de reabastecimento da cadeia. Isso se observa pelas diferenças nos níveis de estoque, de serviço e de venda. O aumento nos custos mínimos de transporte pode forçar os integrantes da cadeia a realizarem entregas maiores para obter economias de escala, com relação aos custos de transporte, levando a maiores estoques. Entretanto, isso pode trazer melhorias significativas no nível de serviço ao consumidor e melhorar a lucratividade da cadeia, apesar de aumentar os custos de produção, fabricação e estoque.

A inclusão dos custos de transporte como uma função linear da quantidade de entrega, como no modelo de Perea et al. (2003), leva a lucratividades maiores e melhores níveis de serviço do que a inclusão da estrutura linear côncava de custos de transporte. Todavia, observa-se que no caso da inclusão de uma função linear, a estrutura de custos de transporte não apresenta economias de escala por quantidade transportada. Isso alavanca a decisão por entrega de lotes menores, resultando, em alguns momentos, em uma entrega de apenas uma unidade. Nesses casos, o fornecedor do produto pode decidir não entregar, ou entregar essa única unidade. Contudo, isso leva a um aumento de custos não previstos no modelo e a resultados não condizentes com a realidade observada. Além disso, os resultados obtidos com a comparação de cenários de custos lineares de transporte confirmam a afirmação apresentada por Swenseth e Godfrey (2002) de que os custos de transporte assim considerados têm o mesmo efeito que não incorporá-los ao modelo de otimização.

O modelo de otimização 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.

Sugere-se para estudos futuros a aplicação empírica do modelo, adaptando-o às particularidades do estudo de caso considerado. Além disso, propõe-se uma análise dos sistemas de otimização existentes no mercado, em busca de softwares que resultem em *gaps*

relativos menores, ou seja, resultados ótimos mais próximos do ótimo global. Isso possibilitaria uma análise mais concreta dos resultados.

Outra sugestão para trabalhos futuros é a realização de uma análise de estabilidade do modelo de gerenciamento dinâmico adotado, a partir de suas funções de transferência. Esse tipo de análise permite avaliar se o modelo é estável, tanto com relação a qualquer tipo de variável de entrada, como em relação a pequenas alterações nas condições iniciais.

REFERÊNCIAS

- 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.
- ADACHER, L.; DETTI, P.; MELONI, C. A planning and routing model for the integrated supply chain management. **Systems, Man and Cybernetics, 2003, IEEE**, v. 3, p. 2673- 2677, 2003.
- AKKERMANS, H. A.; BOGERD, P.; VOS B. Virtuous and vicious cycles on the road towards international supply chain management. **International Journal of Operations e Production Management**, v.19, n. 5/6, p. 565-581, 1999.
- 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.
- ARBIB, C.; F. MARINELLI (2005). Integrating process optimization and inventory planning in cutting-stock with skiving option: an optimization model and its application. **European Journal of Operational Research**, v. 163, p. 617–630, 2000.
- AUCAMP, D. C. Nonlinear freight costs in the EOQ problem. **European Journal of Operational Research**, v. 9, n. 1 , , p. 61-63, 1982.
- AXSÄTER, S.; GRUBBSTRÖM, R. W. Transport inventory optimization. **Engineering and Process Economics**, v. 4, n. 2-3, p. 165-179, 1979.
- BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**; tradução HugoT. Y. Yoshigaki. – São Paulo, Atlas, 388p., 1993.
- BALLOU, R. H. The accuracy in estimating truck class rates for logistical planning. **Transportation Research – A**, v. 25A, n. 6, p. 327-337, 1991.
- BARLAS, Y.; ÖZEVİN, M. G. Analysis of stock management gaming experiments and alternative ordering formulations. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 21, n. 4, p. 439-470, 2004.
- BENJAMIN, J. An analysis of inventory and transportation costs with given frequencies. **Transportation Science**, v. 23, n.3, p. 177-183, 1989.
- BERTAZZI, L.; SPERANZA, M. G.; UKOVICH W. Exact and heuristic solution for a shipment problem with given frequencies. **Management Science**, v.46, n.7, p. 973-988, 2000.
- BERTAZZI, L.; SPERANZA, M. G.; UKOVICH, W. Minimization of logistic costs with given frequencies. **Transportation Research – B: Methodological**, v. 31, p. 327-340, 1997.

- BLANCHINI, F.; RINALDI, F.; UKOVICH W. A dynamic game model for distribution problems with non-stochastic uncertainty. **International Journal of Production Economics**, v. 45, p. 479-487, 1996.
- BLUMENFELD, D. E.; BURNS, L. D.; DAGANZO, C. F.; FRICK, M. C.; HALL, R. W. Reducing logistics costs at general motors. **Interfaces**, v. 17, n. 1, p. 26-47, 1987.
- 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.
- BOCTOR, F. F.; LAPORTE, G.; RENAUD, J. Heuristics for the traveling purchaser problem. **Computers and Operations Research**, v. 30, p. 491–504, 2003.
- BOND, E. **Medição de desempenho para gestão da produção em um cenário de cadeia de suprimentos**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 136p, 2002.
- BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A.; RAMAN, R. **GAMS – A user's guide**. Washington: GAMS Development Corporation, 276p, 1998.
- BUFFA, F. P. Inbound consolidation strategy: The effect of inventory cost changes. **International Journal of Physical Distribution and Materials Management**, v. 18, n. 7, p. 3-14, 1988.
- BUFFA, F. P. Transit time and cost factors: their effects on inbound consolidation. **Transportation Journal**, v. 27, n.1, p. 50-63, 1987.
- BUFFA, F. P.; REYNOLDS, J. The inventory-transport model with sensitivity analysis by indifference curves. **Transportation Journal**, v. 17, n. 2, p. 83-90, 1977.
- BURNS, L. D.; HALL, R. W.; BLUMENFELD, D. E.; DAGANZO, C. F. Distribution strategies that minimize transportation and inventory costs. **Operations Research**, v. 33, n. 3, p. 469-490, 1985.
- BURWELL, T. H.; DAVE, D. S.; FITZPATRICK, K. E.; PROY, M. R. Economic lot size model for price dependent demand under quantity and freight discounts. **International Journal of Production Economics**, v. 48, n. 2, p. 141-155, 1997.
- 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.

- CARTER, J. R.; FERRIN, B. G. Transportation costs and inventory management: Why transportation costs matter. **Production and Inventory Management Journal**, v. 37, n. 3, p. 53-62, 1996.
- 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.
- CHANDRA, P.; FISHER, M. L. Coordination of production and distribution planning. **European Journal of Operational Research**, v. 72, n. 3, p. 503-517, 1994.
- CHAOUCH, B. A. Stock levels and delivery rates in vendor-managed inventory programs. **Production and Operations Management**, v. 10, n. 1, p. 31-44, 2001.
- CHEN, F.; SAMROENGRAJA, R. Order volatility and supply chain costs, **Operations Research**, v. 52, n. 5, p. 707-722, 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.
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Prentice-Hall, 465p, 2003.
- CONSTABLE, G. K.; WHYBARK, D. C. The interaction of transportation and inventory decisions. **Decision Sciences**, v. 9, n. 4, p. 688-699, 1978.
- DAGANZO, C. Y. Supplying a single location from heterogeneous sources. **Transportation Research**, v. 19, p. 409-419, 1985.
- DAGANZO, C. Y.; NEWELL, G. F. Configuration of physical distribution networks. **Networks**, v. 16, p. 113-132, 1986.
- DASKIN M. S. Logistics: An overview of the state of the art and perspectives on future research. **Transportation Research Part A: General**, v. 19, p. 383-398, 1985.
- DORNIER, P.; ERNST, R.; FENDER, M.; KOUVELIS, P. **Logística e Operações Globais: textos e casos**. São Paulo, Atlas, 721p, 2000.
- 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.

- 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.
- GAUR, V.; FISHER, M. L. A periodic inventory routing problem at a supermarket chain. **Operations Research**, v. 52, n. 6, p. 813-822, 2004.
- 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.
- GUPTA, O. K. Lot-size model with discrete transportation costs. **Computers and Industrial Engineering**, v. 22, n. 4, p. 397-402, 1992.
- HALL, R.W. Determining vehicle dispatch frequency when shipping frequency differs among suppliers. **Transportation Research**, v. 19B, p. 421-431, 1985.
- 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.
- LARSON, P. D. The economic transportation quantity. **Transportation Journal**, v. 28, n. 2, p. 43-48, 1988.
- 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.
- LIBERATORE, M. A model of freight transport selection. **Transportation Journal**, v.18, n. 4, p. 92-100, 1979.
- 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.
- 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.
- 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.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. Rio de Janeiro: Campus. 409p, 2001.

PEREA, E.; GROSSMANN, I.; YDSTIE, E.; TAHMASSEBI, T. Dynamic modeling and classical control theory for supply chain management. **Computer and Chemical Engineering**, v. 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.

PIDD, M. **Modelagem Empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: Bookman, 314p, 1998.

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.

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.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case studies**. Boston: Irwin McGraw-Hill, 321p, 2000.

SPERANZA, M. G.; UKOVICH, W. Minimizing transportation and inventory costs for several products on a single link. **Operations Research**, v. 42, p. 879-894, 1994b.

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, 1989.

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.

TAYUR, S. et al. **Quantitative models for supply chain management**. Boston: Kluwer Academic, 885p, 1999.

TERSINE, R. J.; BARMAN, S. Economic purchasing strategies for temporary price discounts. **European Journal of Operational Research**, v. 80, p. 328-343, 1995.

TERSINE, R. J.; BARMAN, S.; TOELLE, R. A. Composite lot sizing with quantity and freight discounts. **Computers and Industrial Engineering**, v. 28, n. 1, p. 107-122, 1995.

TERSINE, R. J.; BARMAN, S. Optimal lot sizes for unit and shipping discount situations. **IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)**, v. 26, n. 2, p. 97-101, 1994.

TOWILL, D. R. Industrial dynamics modelling of supply chains. **Logistics Information Management**, v. 9, n. 4, p. 43-56, 1996a.

TYWORTH, T. E. Modeling transportation-inventory trade-offs in a stochastic setting. **Journal of Business Logistics**, v. 13, n. 2, p. 97-124, 1992.

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.

VOLLMANN, T.; CORDON, C. Making supply chain relationship work, **M2000 Business Briefing**, IMD-Switzerland, n. 8, p. 4-5, 1996.

VROBLEFSKI, M.; RAMESH, R.; ZIONTS, S. Efficient lot-sizing under a differential transportation cost structure for serially distributed warehouses. **European Journal of Operational Research**, v. 127, p. 574-593, 2000.

WAGNER, H. M. **Pesquisa operacional**, 2. ed., Prentice-Hall do Brasil: Rio de Janeiro, 851p: il., 1986.

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.

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.

APÊNDICE A – RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO A

Análise descritiva dos resultados do Cenário A

	Média	Desvio padrão	CV	Mínimo	Máximo	Soma
E_F	141,20	108,10	0,77	32,00	300,00	3530,00
E_P	109,44	61,73	0,56	50,00	227,00	2736,00
E_D	221,12	183,01	0,83	25,00	600,00	5528,00
E_V	107,28	30,29	0,28	62,00	167,00	2682,00
V_F	90,64	124,03	1,37	0,00	300,00	2266,00
V_P	81,00	81,39	1,00	0,00	227,00	2025,00
V_D	88,04	43,09	0,49	0,00	161,00	2201,00
V_V	93,48	12,54	0,13	62,00	100,00	2337,00
V^{NS}_F	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_P	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_D	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_V	6,44	12,34	1,92	0,00	37,00	161,00
PA_{FP}	152,84	318,78	2,09	0,00	1215,00	3821,00
PA_{PD}	81,00	144,30	1,78	0,00	487,00	2025,00
PA_{DV}	162,04	229,64	1,42	0,00	772,00	4051,00
PA_{VC}	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
P_{FP}	86,60	306,88	3,54	0,00	1515,00	2165,00
P_{PD}	75,00	162,65	2,17	0,00	568,00	1875,00
P_{DV}	80,04	167,99	2,10	0,00	772,00	2001,00
P_{VC}	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	2500,00
MP_F	87,88	144,61	1,65	0,00	400,00	2197,00
PI_P	77,00	105,41	1,37	0,00	255,00	1925,00
LV_F	90,64	124,03	1,37	0,00	300,00	2266,00
$Fcost$	439,40	723,04	1,65	0,00	2000,00	10985,00
$Pcost$	1067,00	1175,74	1,10	0,00	2985,00	26675,00
$Ecost$	2453,47	688,27	0,28	1004,68	3504,34	61336,84
$TRcost$	594,88	312,75	0,53	0,00	1094,00	14872,00
REC	14022,00	1881,55	0,13	9300,00	15000,00	350550,00
LUC	9467,25	3053,19	0,32	4088,80	13451,80	236681,16

Resultados gerais do Cenário A

t	E _F	E _P	E _D	E _V	V _F	V _P	V _D	V _V	V _F ^{NS}	V _P ^{NS}	V _D ^{NS}	V _V ^{NS}	PA _{FP}	PA _{PD}	PA _{DV}	PA _{VC}	P _{FP}	P _{PD}	P _{DV}	P _{VC}	MP _F	PI _P	LV _F	Fcost	Pcost	Ecost	TRcost	REC	LUC
0	100	100	100	100	0	50	100	100	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	100	400	0	0	2000	0	2006	480	15000	10514
1	250	50	100	100	250	50	50	100	0	0	0	0	0	50	50	0	150	0	0	100	0	0	250	0	1200	2341	805	15000	10654
2	250	131	100	75	0	131	50	75	0	0	0	25	300	487	772	0	300	568	772	100	350	212	0	1750	1484	2568,6	517	11250	4930,4
3	300	81	116	62	300	50	116	62	0	0	0	37	0	437	656	0	0	0	0	100	100	0	300	500	1200	2397,2	909	9300	4293,8
4	200	168	116	89	200	168	50	89	0	0	0	11	0	269	606	0	200	0	0	100	0	255	200	0	2985	2718,48	922	13350	6724,52
5	200	169	153	70	0	169	130	70	0	0	0	30	0	100	476	0	0	0	0	100	0	170	0	0	1190	2601,16	660	10500	6048,84
6	200	119	161	100	0	50	161	100	0	0	0	0	0	50	314	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	2602,92	553	15000	11844,08
7	200	69	106	161	0	50	106	100	0	0	0	0	0	0	209	0	0	0	0	100	400	0	0	2000	0	2801,76	487	15000	9711,24
8	300	69	106	167	300	0	50	100	0	0	0	0	1215	0	159	0	1515	0	0	100	260	0	300	1300	1200	3266	610	15000	8624
9	280	162	56	117	280	162	50	100	0	0	0	0	935	0	109	0	0	162	0	100	320	255	280	1600	2985	3186,8	954	15000	6274,2
10	300	200	109	83	300	200	109	83	0	0	0	17	635	0	0	0	0	200	0	100	234	238	300	1170	2866	3244,2	1081	12450	4088,8
11	267	227	205	96	267	227	104	96	0	0	0	4	368	0	0	0	0	227	104	100	133	255	267	665	2985	3504,34	1072	14400	6173,66
12	200	227	282	100	200	227	150	100	0	0	0	0	168	340	0	0	0	568	150	100	0	227	200	0	2789	3367,44	1094	15000	7749,56
13	100	199	460	150	100	199	50	100	0	0	0	0	68	142	150	0	0	0	200	100	0	170	100	0	2390	3487,6	838	15000	8284,4
14	63	142	508	100	37	142	150	100	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	100	0	85	37	0	1795	2628,06	830	15000	9746,94
15	32	123	600	150	32	50	50	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	100	0	31	32	0	1417	2968	600	15000	10015
16	32	100	550	100	0	50	100	100	0	0	0	0	0	50	0	0	0	100	100	100	0	27	0	0	189	2321,2	480	15000	12009,8
17	32	50	500	100	0	50	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0	0	1975,2	480	15000	12544,8
18	32	50	450	100	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	350	100	0	0	0	0	0	1909,2	260	15000	12830,8
19	32	50	350	100	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1777,2	260	15000	12962,8
20	32	50	200	100	0	0	150	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1579,2	320	15000	13100,8
21	32	50	100	150	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	150	100	0	0	0	0	0	1899,2	260	15000	12840,8
22	32	50	50	150	0	0	50	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1833,2	200	15000	12966,8
23	32	50	25	100	0	0	25	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	100	0	0	0	0	0	1348,2	200	15000	13451,8
24	32	50	25	62	0	0	0	62	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1004,68	0	9300	8295,32

APÊNDICE B – RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO B

Análise descritiva dos resultados do Cenário B

	Média	Desvio padrão	CV	Mínimo	Máximo	Soma
E_F	148,76	86,54	0,58	50,00	300,00	3719,00
E_P	100,68	50,42	0,50	35,00	174,00	2517,00
E_D	152,16	98,54	0,65	34,00	398,00	3804,00
E_V	120,56	42,41	0,35	50,00	216,00	3014,00
V_F	88,76	112,92	1,27	0,00	300,00	2219,00
V_P	82,00	63,23	0,77	0,00	174,00	2050,00
V_D	88,68	50,94	0,57	0,00	199,00	2217,00
V_V	94,68	11,47	0,12	50,00	100,00	2367,00
V^{NS}_F	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_P	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_D	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_V	5,32	11,47	2,16	0,00	50,00	133,00
PA_{FP}	62,76	109,85	1,75	0,00	419,00	1569,00
PA_{PD}	238,16	313,42	1,32	0,00	998,00	5954,00
PA_{DV}	116,04	143,41	1,24	0,00	483,00	2901,00
PA_{VC}	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
P_{FP}	84,76	183,98	2,17	0,00	719,00	2119,00
P_{PD}	73,96	232,82	3,15	0,00	1079,00	1849,00
P_{DV}	80,68	152,17	1,89	0,00	533,00	2017,00
P_{VC}	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	2500,00
MP_F	86,76	137,86	1,59	0,00	400,00	2169,00
PI_P	75,40	95,95	1,27	0,00	255,00	1885,00
LV_F	88,76	112,92	1,27	0,00	300,00	2219,00
$Fcost$	433,80	689,30	1,59	0,00	2000,00	10845,00
$Pcost$	1055,80	1026,76	0,97	0,00	2985,00	26395,00
$Ecost$	2811,36	697,15	0,25	975,40	3898,78	70284,06
$TRcost$	614,92	298,01	0,48	0,00	1033,00	15373,00
REC	14202,00	1720,49	0,12	7500,00	15000,00	355050,00
LUC	9286,12	2120,05	0,23	5678,80	13572,60	232152,94

Resultados gerais do Cenário B

t	E _F	E _P	E _D	E _V	V _F	V _P	V _D	V _V	V ^{NS} _F	V ^{NS} _P	V ^{NS} _D	V ^{NS} _V	PA _{FP}	PA _{PD}	PA _{DV}	PA _{VC}	P _{FP}	P _{PD}	P _{DV}	P _{VC}	MP _F	PI _P	LV _F	Fcost	Pcost	Ecost	TRcost	REC	LUC
0	100	100	100	100	0	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	100	400	0	0	2000	0	2234	540	15000	10226
1	250	50	100	100	250	50	100	100	0	0	0	0	200	50	0	0	350	0	0	100	150	0	250	750	1200	2569	865	15000	9616
2	200	131	100	100	200	131	50	100	0	0	0	0	0	998	483	0	200	1079	533	100	0	212	200	0	2684	2818	877	15000	8621
3	200	151	116	75	0	151	116	75	0	0	0	25	200	847	367	0	0	0	0	100	200	170	0	1000	1190	2761	620	11250	5679
4	200	101	133	95	200	50	133	95	0	0	0	5	0	797	234	0	0	0	0	100	0	0	200	0	1200	2723	880	14250	9447
5	200	135	133	128	0	135	50	100	0	0	0	0	200	662	184	0	200	0	0	100	200	170	0	1000	1190	3212	522	15000	9076
6	200	85	134	89	200	50	134	89	0	0	0	11	0	612	50	0	0	0	0	100	0	0	200	0	1200	2583	881	13350	8686
7	200	128	134	123	0	128	50	100	0	0	0	0	0	484	0	0	0	0	0	100	400	170	0	2000	1190	3131	513	15000	8166
8	300	78	131	87	300	50	131	87	0	0	0	13	200	434	341	0	500	0	472	100	100	0	300	500	1200	2925	927	13050	7498
9	200	166	131	118	200	166	50	100	0	0	0	0	0	268	291	0	0	0	0	100	0	255	200	0	2985	3288	920	15000	7807
10	200	168	181	84	0	168	116	84	0	0	0	16	0	100	175	0	0	0	0	100	0	170	0	0	1190	3172	641	12600	7597
11	200	118	175	100	0	50	175	100	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	100	400	0	0	2000	0	3015	570	15000	9415
12	300	68	112	175	300	50	112	100	0	0	0	0	419	0	50	0	719	0	162	100	138	0	300	690	1200	3596	905	15000	8609
13	219	162	112	187	219	162	50	100	0	0	0	0	200	174	0	0	0	335	0	100	181	255	219	905	2985	3899	923	15000	6288
14	200	174	137	137	200	174	137	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137	100	0	186	200	0	2502	3526	1033	15000	7939
15	100	172	261	174	100	172	50	100	0	0	0	0	50	228	263	0	150	400	313	100	0	170	100	0	2390	3886	806	15000	7918
16	50	128	383	124	50	128	50	100	0	0	0	0	0	100	213	0	0	0	0	100	0	85	50	0	1795	3422	694	15000	9089
17	50	121	398	87	0	50	113	87	0	0	0	13	0	50	100	0	0	0	0	100	0	42	0	0	294	3102	496	13050	9158
18	50	71	348	100	0	50	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	2759	480	15000	11761
19	50	35	199	100	0	35	199	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	199	100	0	0	0	0	0	2021	599	15000	12380
20	50	35	117	199	0	0	117	100	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	167	100	0	0	0	0	0	2621	281	15000	12098
21	50	35	67	216	0	0	50	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	2595	200	15000	12205
22	50	35	34	166	0	0	34	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	100	0	0	0	0	0	2024	200	15000	12776
23	50	35	34	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1427	0	15000	13573
24	50	35	34	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	975	0	7500	6525

APÊNDICE C – RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO C

Análise descritiva dos resultados do Cenário C

	Média	Desvio padrão	CV	Mínimo	Máximo	Soma
E_F	117,12	72,83	0,62	25,00	200,00	2928,00
E_P	96,40	57,84	0,60	7,00	169,00	2410,00
E_D	165,24	93,84	0,57	41,00	361,00	4131,00
E_V	112,44	38,62	0,34	50,00	209,00	2811,00
V_F	89,40	85,63	0,96	0,00	200,00	2235,00
V_P	81,72	58,84	0,72	0,00	161,00	2043,00
V_D	88,08	47,93	0,54	0,00	197,00	2202,00
V_V	94,04	13,58	0,14	50,00	100,00	2351,00
V^{NS}_F	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_P	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_D	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_V	5,92	13,48	2,28	0,00	50,00	148,00
PA_{FP}	228,52	315,97	1,38	0,00	939,00	5713,00
PA_{PD}	143,52	194,79	1,36	0,00	698,00	3588,00
PA_{DV}	209,36	223,46	1,07	0,00	700,00	5234,00
PA_{VC}	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
P_{FP}	81,36	232,75	2,86	0,00	939,00	2034,00
P_{PD}	75,72	180,58	2,38	0,00	780,00	1893,00
P_{DV}	80,08	207,61	2,59	0,00	800,00	2002,00
P_{VC}	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	2500,00
MP_F	82,40	94,42	1,15	0,00	200,00	2060,00
PI_P	75,92	72,77	0,96	0,00	170,00	1898,00
LV_F	89,40	85,63	0,96	0,00	200,00	2235,00
$Fcost$	412,00	472,12	1,15	0,00	1000,00	10300,00
$Pcost$	1251,44	970,73	0,78	0,00	2390,00	31286,00
$Ecost$	2631,35	710,59	0,27	741,30	3839,20	65783,84
$TRcost$	659,08	277,14	0,42	0,00	985,00	16477,00
REC	14106,00	2037,22	0,14	7500,00	15000,00	352650,00
LUC	9152,13	2567,03	0,28	3714,82	13806,70	228803,16

Resultados gerais do Cenário C

t	E _F	E _P	E _D	E _V	V _F	V _P	V _D	V _V	V ^{NS} _F	V ^{NS} _P	V ^{NS} _D	V ^{NS} _V	PA _{FP}	PA _{PD}	PA _{DV}	PA _{VC}	P _{FP}	P _{PD}	P _{DV}	P _{VC}	MP _F	PI _P	LV _F	Fcost	Pcost	Ecost	TRcost	REC	LUC
0	100	100	100	100	100	50	100	100	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	100	200	0	100	1000	1200	2234	720	15000	9846
1	150	135	100	100	150	50	50	100	0	0	0	0	0	50	50	0	50	0	0	100	200	85	150	1000	1795	2635	720	15000	8850
2	175	131	100	75	175	131	50	75	0	0	0	25	161	698	602	0	336	780	602	100	147	127	175	735	2089	2489	847	11250	5090
3	161	140	116	62	161	140	116	62	0	0	0	37	0	558	486	0	0	0	0	100	0	149	161	0	2243	2422	920	9300	3715
4	161	138	128	89	0	138	128	89	0	0	0	11	684	420	358	0	684	0	0	100	147	137	0	735	959	2698	619	13350	8339
5	154	88	133	117	154	50	133	100	0	0	0	0	530	370	225	0	0	0	0	100	200	0	154	1000	1200	2661	825	15000	9314
6	177	169	133	150	177	50	50	100	0	0	0	0	353	320	175	0	0	0	0	100	200	131	177	1000	2117	3507	752	15000	7624
7	189	160	133	100	189	160	50	100	0	0	0	0	165	160	125	0	0	0	0	100	141	150	189	705	2250	3054	898	15000	8093
8	165	160	168	75	165	160	125	75	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	100	0	160	165	0	2320	2855	960	11250	5115
9	165	150	228	100	0	150	100	100	0	0	0	0	939	0	314	0	939	150	414	100	25	140	0	125	980	3241	600	15000	10054
10	189	100	278	100	0	50	100	100	0	0	0	0	939	158	214	0	0	208	0	100	200	0	0	1000	0	3240	480	15000	10280
11	195	50	164	100	195	50	164	100	0	0	0	0	745	108	50	0	0	0	0	100	200	0	195	1000	1200	2574	911	15000	9315
12	197	108	164	164	197	108	50	100	0	0	0	0	547	0	0	0	0	0	0	100	200	165	197	1000	2355	3485	846	15000	7314
13	200	138	136	114	197	138	136	100	0	0	0	0	350	314	0	0	0	452	136	100	200	168	197	1000	2376	3113	985	15000	7526
14	200	153	224	150	200	153	50	100	0	0	0	0	150	161	0	0	0	0	50	100	0	168	200	0	2376	3839	903	15000	7882
15	100	161	276	100	100	161	100	100	0	0	0	0	50	0	700	0	0	0	800	100	0	170	100	0	2390	3209	854	15000	8547
16	50	123	338	100	50	123	100	100	0	0	0	0	0	0	600	0	0	123	0	100	0	85	50	0	1795	3015	748	15000	9442
17	25	83	361	100	25	83	100	100	0	0	0	0	0	97	500	0	25	180	0	100	0	42	25	0	1494	2771	699	15000	10036
18	25	54	344	100	0	50	100	100	0	0	0	0	0	47	400	0	0	0	0	100	0	21	0	0	147	2547	480	15000	11826
19	25	27	197	100	0	27	197	100	0	0	0	0	0	20	203	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1867	596	15000	12537
20	25	14	112	197	0	14	112	100	0	0	0	0	0	7	91	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	2365	494	15000	12141
21	25	7	75	209	0	7	50	100	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	2301	420	15000	12279
22	25	7	41	159	0	0	41	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1727	200	15000	13073
23	25	7	41	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1193	0	15000	13807
24	25	7	41	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	741	0	7500	6759

APÊNDICE D – RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO D

Análise descritiva dos resultados do Cenário D

	Média	Desvio padrão	CV	Mínimo	Máximo	Soma
E_F	120,84	76,82	0,64	25,00	200,00	3021,00
E_P	95,48	61,01	0,64	7,00	215,00	2387,00
E_D	137,68	78,82	0,57	28,00	347,00	3442,00
E_V	123,48	48,01	0,39	50,00	235,00	3087,00
V_F	85,84	88,53	1,03	0,00	200,00	2146,00
V_P	80,72	60,81	0,75	0,00	176,00	2018,00
V_D	87,56	50,10	0,57	0,00	190,00	2189,00
V_V	93,52	13,63	0,15	50,00	100,00	2338,00
V^{NS}_F	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_P	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_D	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_V	6,44	13,53	2,10	0,00	50,00	161,00
PA_{FP}	159,16	236,94	1,49	0,00	800,00	3979,00
PA_{PD}	240,08	300,78	1,25	0,00	968,00	6002,00
PA_{DV}	127,20	181,38	1,43	0,00	663,00	3180,00
PA_{VC}	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
P_{FP}	81,84	192,81	2,36	0,00	800,00	2046,00
P_{PD}	72,68	233,67	3,21	0,00	1007,00	1817,00
P_{DV}	79,56	164,38	2,07	0,00	713,00	1989,00
P_{VC}	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	2500,00
MP_F	82,80	98,16	1,19	0,00	200,00	2070,00
PI_P	72,92	75,26	1,03	0,00	170,00	1823,00
LV_F	87,84	89,43	1,02	0,00	200,00	2196,00
$Fcost$	414,00	490,78	1,19	0,00	1000,00	10350,00
$Pcost$	1182,44	919,05	0,78	0,00	2390,00	29561,00
$Ecost$	2779,72	745,98	0,27	722,50	4248,36	69492,98
$TRcost$	642,40	272,79	0,42	0,00	978,00	16060,00
REC	14028,00	2044,41	0,15	7500,00	15000,00	350700,00
LUC	9009,44	2638,47	0,29	3526,02	13825,50	225236,02

Resultados gerais do Cenário D

t	E _F	E _P	E _D	E _V	V _F	V _P	V _D	V _V	V ^{NS} _F	V ^{NS} _P	V ^{NS} _D	V ^{NS} _V	PA _{FP}	PA _{PD}	PA _{DV}	PA _{VC}	P _{FP}	P _{PD}	P _{DV}	P _{VC}	MP _F	PI _P	LV _F	Fcost	Pcost	Ecost	TRcost	REC	LUC
0	100	100	100	100	0	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	100	200	0	0	1000	0	2334	540	15000	11126
1	150	50	150	100	150	50	50	100	0	0	0	0	0	50	50	0	50	0	0	100	200	0	150	1000	1200	2489	720	15000	9591
2	175	89	150	75	175	89	50	75	0	0	0	25	187	968	228	0	362	1007	228	100	200	127	175	1000	2089	2584	796	11250	4781
3	187	119	119	62	187	119	119	62	0	0	0	37	0	849	109	0	0	0	0	100	12	149	187	60	2243	2541	930	9300	3526
4	200	139	129	91	0	139	109	91	0	0	0	9	800	710	0	0	800	0	0	100	200	159	0	1000	1113	3014	598	13650	7925
5	200	89	134	100	200	50	134	100	0	0	0	0	600	660	0	0	0	0	134	100	0	0	200	0	1200	2839	881	15000	10080
6	200	130	92	134	0	130	92	100	0	0	0	0	600	531	0	0	0	0	92	100	200	170	0	1000	1190	3183	565	15000	9062
7	200	80	111	126	200	50	111	100	0	0	0	0	400	481	50	0	0	0	161	100	200	0	200	1000	1200	2918	853	15000	9029
8	200	125	111	137	200	125	50	100	0	0	0	0	200	356	0	0	0	0	0	100	200	170	200	1000	2390	3269	870	15000	7471
9	200	147	118	93	200	147	118	93	0	0	0	7	0	209	278	0	0	0	396	100	0	170	200	0	2390	3027	978	13950	7555
10	200	159	133	111	0	159	133	100	0	0	0	0	468	50	146	0	468	0	0	100	49	170	0	245	1190	3326	649	15000	9590
11	125	109	146	144	125	50	146	100	0	0	0	0	343	0	0	0	0	0	0	100	200	0	125	1000	1200	3096	805	15000	8899
12	162	215	146	189	162	0	50	100	0	0	0	0	181	0	50	0	0	0	100	100	200	106	162	1000	1942	4248	515	15000	7295
13	181	176	96	139	181	176	50	100	0	0	0	0	0	453	0	0	0	629	0	100	200	138	181	1000	2166	3426	909	15000	7499
14	191	165	222	95	191	165	50	95	0	0	0	5	0	288	663	0	191	0	713	100	9	154	191	45	2278	3587	907	14250	7433
15	100	164	259	72	100	164	128	72	0	0	0	28	75	124	535	0	175	0	0	100	0	162	150	0	2334	3171	889	10800	4406
16	50	124	273	100	50	124	150	100	0	0	0	0	25	0	385	0	0	0	0	100	0	85	50	0	1795	3059	809	15000	9337
17	25	83	347	150	25	83	50	100	0	0	0	0	0	98	335	0	0	181	0	100	0	42	25	0	1494	3520	640	15000	9347
18	25	55	241	100	0	50	190	100	0	0	0	0	0	48	145	0	0	0	0	100	0	21	0	0	147	2423	588	15000	11842
19	25	27	145	190	0	27	145	100	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	2638	534	15000	11828
20	25	14	86	235	0	14	86	100	0	0	0	0	0	7	78	0	0	0	165	100	0	0	0	0	0	2701	464	15000	11835
21	25	7	50	222	0	7	50	100	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	2379	420	15000	12201
22	25	7	28	172	0	0	28	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1825	200	15000	12975
23	25	7	28	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1175	0	15000	13826
24	25	7	28	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	723	0	7500	6778

APÊNDICE E – RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO E

Análise descritiva dos resultados do Cenário E

	Média	Desvio padrão	CV	Mínimo	Máximo	Soma
E_F	138,88	55,90	0,40	73,00	200,00	3472,00
E_P	97,72	40,37	0,41	52,00	167,00	2443,00
E_D	119,12	62,38	0,52	51,00	283,00	2978,00
E_V	140,96	86,80	0,62	50,00	349,00	3524,00
V_F	93,36	89,66	0,96	0,00	200,00	2334,00
V_P	85,24	57,73	0,68	0,00	167,00	2131,00
V_D	91,24	51,16	0,56	0,00	200,00	2281,00
V_V	97,24	10,13	0,10	50,00	100,00	2431,00
V^{NS}_F	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_P	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_D	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_V	2,76	10,13	3,67	0,00	50,00	69,00
PA_{FP}	85,04	158,52	1,86	0,00	600,00	2126,00
PA_{PD}	185,96	242,73	1,31	0,00	779,00	4649,00
PA_{DV}	367,40	362,74	0,99	0,00	1100,00	9185,00
PA_{VC}	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
P_{FP}	94,12	179,72	1,91	0,00	800,00	2353,00
P_{PD}	77,28	211,74	2,74	0,00	881,00	1932,00
P_{DV}	83,24	291,76	3,51	0,00	1200,00	2081,00
P_{VC}	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	2500,00
MP_F	88,28	93,69	1,06	0,00	200,00	2207,00
PI_P	79,32	76,19	0,96	0,00	170,00	1983,00
LV_F	89,76	91,18	1,02	0,00	200,00	2244,00
$Fcost$	441,40	468,44	1,06	0,00	1000,00	11035,00
$Pcost$	1275,24	952,41	0,75	0,00	2390,00	31881,00
$Ecost$	2938,87	695,91	0,24	1277,10	4196,58	73471,76
$TRcost$	622,20	337,83	0,54	0,00	946,00	15555,00
REC	14586,00	1519,42	0,10	7500,00	15000,00	364650,00
LUC	9308,29	1599,92	0,17	6222,90	13270,90	232707,24

Resultados gerais do Cenário E

t	E _F	E _P	E _D	E _V	V _F	V _P	V _D	V _V	V ^{NS} _F	V ^{NS} _P	V ^{NS} _D	V ^{NS} _V	PA _{FP}	PA _{PD}	PA _{DV}	PA _{VC}	P _{FP}	P _{PD}	P _{DV}	P _{VC}	MP _F	PI _P	LV _F	Fcost	Pcost	Ecost	TRcost	REC	LUC
0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	100	200	0	10	1000	1200	2334	750	15000	9716
1	150	92	100	100	150	92	100	100	0	0	0	0	0	7	0	0	50	0	0	100	50	85	150	250	1795	2494	810	15000	9651
2	200	110	96	100	0	110	96	100	0	0	0	0	0	779	785	0	0	881	881	100	200	127	0	1000	889	2782	532	15000	9797
3	200	55	103	98	200	55	103	98	0	0	0	2	0	724	682	0	200	0	0	100	92	0	200	460	1200	2488	874	14700	9678
4	146	112	79	101	146	112	79	100	0	0	0	0	0	611	603	0	146	0	0	100	161	170	146	805	2390	2502	820	15000	8483
5	154	118	96	90	154	118	96	90	0	0	0	10	0	493	507	0	154	0	0	100	0	124	154	0	2068	2547	836	13500	8049
6	154	124	107	93	0	124	107	93	0	0	0	7	365	368	400	0	365	0	0	100	200	131	0	1000	917	2659	557	13950	8817
7	177	62	125	100	177	62	106	100	0	0	0	0	188	306	294	0	0	0	0	100	200	0	177	1000	1200	2552	850	15000	9398
8	188	106	94	106	188	106	94	100	0	0	0	0	0	200	200	0	0	0	0	100	12	150	188	60	2250	2755	864	15000	9071
9	200	133	100	100	0	133	100	100	0	0	0	0	200	67	100	0	200	0	0	100	200	160	0	1000	1120	2929	560	15000	9391
10	200	67	133	100	200	67	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	200	0	200	1000	1200	2711	870	15000	9219
11	200	118	100	100	200	118	100	100	0	0	0	0	600	0	1100	0	800	118	1200	100	200	170	200	1000	2390	2845	892	15000	7873
12	200	144	118	100	200	144	100	100	0	0	0	0	400	321	1000	0	219	465	0	100	200	170	200	1000	2390	3073	923	15000	7614
13	200	157	162	100	200	157	100	100	0	0	0	0	200	164	900	0	0	0	0	100	200	170	200	1000	2390	3348	938	15000	7324
14	200	164	219	100	200	164	100	100	0	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0	100	92	170	200	460	2390	3650	946	15000	7554
15	146	167	283	100	146	167	100	100	0	0	0	0	73	301	700	0	219	468	0	100	0	170	146	0	2390	3740	885	15000	7985
16	73	146	254	100	73	146	195	100	0	0	0	0	0	156	505	0	0	0	0	100	0	124	73	0	2068	3189	919	15000	8824
17	73	104	200	195	0	104	200	100	0	0	0	0	0	52	305	0	0	0	0	100	0	62	0	0	1634	3565	645	15000	9157
18	73	52	152	295	0	52	152	100	0	0	0	0	0	0	153	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	3957	582	15000	10462
19	73	52	102	347	0	0	102	100	0	0	0	0	0	0	51	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	4197	252	15000	10551
20	73	52	51	349	0	0	51	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	3980	250	15000	10770
21	73	52	51	300	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	3537	0	15000	11463
22	73	52	51	200	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	2633	0	15000	12367
23	73	52	51	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1729	0	15000	13271
24	73	52	51	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1277	0	7500	6223

APÊNDICE F – RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO F

Análise descritiva dos resultados do Cenário F

	Média	Desvio padrão	CV	Mínimo	Máximo	Soma
E_F	138,88	55,90	0,40	73,00	200,00	3472,00
E_P	97,72	40,37	0,41	52,00	167,00	2443,00
E_D	119,12	62,38	0,52	51,00	283,00	2978,00
E_V	140,96	86,80	0,62	50,00	349,00	3524,00
V_F	93,36	89,66	0,96	0,00	200,00	2334,00
V_P	85,24	57,73	0,68	0,00	167,00	2131,00
V_D	91,24	51,16	0,56	0,00	200,00	2281,00
V_V	97,24	10,13	0,10	50,00	100,00	2431,00
V^{NS}_F	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_P	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_D	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_V	2,76	10,13	3,67	0,00	50,00	69,00
PA_{FP}	85,04	158,52	1,86	0,00	600,00	2126,00
PA_{PD}	185,96	242,73	1,31	0,00	779,00	4649,00
PA_{DV}	367,40	362,74	0,99	0,00	1100,00	9185,00
PA_{VC}	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
P_{FP}	94,12	179,72	1,91	0,00	800,00	2353,00
P_{PD}	77,28	211,74	2,74	0,00	881,00	1932,00
P_{DV}	83,24	291,76	3,51	0,00	1200,00	2081,00
P_{VC}	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	2500,00
MP_F	88,28	93,69	1,06	0,00	200,00	2207,00
PI_P	79,32	76,19	0,96	0,00	170,00	1983,00
LV_F	89,76	91,18	1,02	0,00	200,00	2244,00
F_{cost}	441,40	468,44	1,06	0,00	1000,00	11035,00
P_{cost}	1275,24	952,41	0,75	0,00	2390,00	31881,00
E_{cost}	2938,87	695,91	0,24	1277,10	4196,58	73471,76
TR_{cost}	609,16	328,68	0,54	0,00	914,00	15229,00
REC	14586,00	1519,42	0,10	7500,00	15000,00	364650,00
LUC	9321,33	1593,22	0,17	6222,90	13270,90	233033,24

Resultados gerais do Cenário F

t	E _F	E _P	E _D	E _V	V _F	V _P	V _D	V _V	V ^{NS} _F	V ^{NS} _P	V ^{NS} _D	V ^{NS} _V	PA _{FP}	PA _{PD}	PA _{DV}	PA _{VC}	P _{FP}	P _{PD}	P _{DV}	P _{VC}	MP _F	PI _P	LV _F	Fcost	Pcost	Ecost	TRcost	REC	LUC
0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	100	200	0	10	1000	1200	2334	750	15000	9716
1	150	92	100	100	150	92	100	100	0	0	0	0	0	7	0	0	50	0	0	100	50	85	150	250	1795	2494	800	15000	9661
2	200	110	96	100	0	110	96	100	0	0	0	0	0	779	785	0	0	881	881	100	200	127	0	1000	889	2782	530	15000	9799
3	200	55	103	98	200	55	103	98	0	0	0	2	0	724	682	0	200	0	0	100	92	0	200	460	1200	2488	853	14700	9699
4	146	112	79	101	146	112	79	100	0	0	0	0	0	611	603	0	146	0	0	100	161	170	146	805	2390	2502	808	15000	8495
5	154	118	96	90	154	118	96	90	0	0	0	10	0	493	507	0	154	0	0	100	0	124	154	0	2068	2547	822	13500	8063
6	154	124	107	93	0	124	107	93	0	0	0	7	365	368	400	0	365	0	0	100	200	131	0	1000	917	2659	551	13950	8823
7	177	62	125	100	177	62	106	100	0	0	0	0	188	306	294	0	0	0	0	100	200	0	177	1000	1200	2552	833	15000	9415
8	188	106	94	106	188	106	94	100	0	0	0	0	0	200	200	0	0	0	0	100	12	150	188	60	2250	2755	844	15000	9091
9	200	133	100	100	0	133	100	100	0	0	0	0	200	67	100	0	200	0	0	100	200	160	0	1000	1120	2929	553	15000	9398
10	200	67	133	100	200	67	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	200	0	200	1000	1200	2711	850	15000	9239
11	200	118	100	100	200	118	100	100	0	0	0	0	600	0	1100	0	800	118	1200	100	200	170	200	1000	2390	2845	868	15000	7897
12	200	144	118	100	200	144	100	100	0	0	0	0	400	321	1000	0	219	465	0	100	200	170	200	1000	2390	3073	894	15000	7643
13	200	157	162	100	200	157	100	100	0	0	0	0	200	164	900	0	0	0	0	100	200	170	200	1000	2390	3348	907	15000	7355
14	200	164	219	100	200	164	100	100	0	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0	100	92	170	200	460	2390	3650	914	15000	7586
15	146	167	283	100	146	167	100	100	0	0	0	0	73	301	700	0	219	468	0	100	0	170	146	0	2390	3740	863	15000	8007
16	73	146	254	100	73	146	195	100	0	0	0	0	0	156	505	0	0	0	0	100	0	124	73	0	2068	3189	891	15000	8852
17	73	104	200	195	0	104	200	100	0	0	0	0	0	52	305	0	0	0	0	100	0	62	0	0	1634	3565	624	15000	9178
18	73	52	152	295	0	52	152	100	0	0	0	0	0	0	153	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	3957	572	15000	10472
19	73	52	102	347	0	0	102	100	0	0	0	0	0	0	51	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	4197	252	15000	10551
20	73	52	51	349	0	0	51	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	3980	250	15000	10770
21	73	52	51	300	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	3537	0	15000	11463
22	73	52	51	200	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	2633	0	15000	12367
23	73	52	51	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1729	0	15000	13271
24	73	52	51	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1277	0	7500	6223

APÊNDICE G – RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO G

Análise descritiva dos resultados do Cenário G

	Média	Desvio padrão	CV	Mínimo	Máximo	Soma
E_F	138,88	55,90	0,40	73,00	200,00	3472,00
E_P	97,72	40,37	0,41	52,00	167,00	2443,00
E_D	119,12	62,38	0,52	51,00	283,00	2978,00
E_V	140,96	86,80	0,62	50,00	349,00	3524,00
V_F	93,36	89,66	0,96	0,00	200,00	2334,00
V_P	85,24	57,73	0,68	0,00	167,00	2131,00
V_D	91,24	51,16	0,56	0,00	200,00	2281,00
V_V	97,24	10,13	0,10	50,00	100,00	2431,00
V^{NS}_F	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_P	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_D	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_V	2,76	10,13	3,67	0,00	50,00	69,00
PA_{FP}	85,04	158,52	1,86	0,00	600,00	2126,00
PA_{PD}	185,96	242,73	1,31	0,00	779,00	4649,00
PA_{DV}	367,40	362,74	0,99	0,00	1100,00	9185,00
PA_{VC}	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
P_{FP}	94,12	179,72	1,91	0,00	800,00	2353,00
P_{PD}	77,28	211,74	2,74	0,00	881,00	1932,00
P_{DV}	83,24	291,76	3,51	0,00	1200,00	2081,00
P_{VC}	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	2500,00
MP_F	88,28	93,69	1,06	0,00	200,00	2207,00
PI_P	79,32	76,19	0,96	0,00	170,00	1983,00
LV_F	89,76	91,18	1,02	0,00	200,00	2244,00
F_{cost}	441,40	468,44	1,06	0,00	1000,00	11035,00
P_{cost}	1275,24	952,41	0,75	0,00	2390,00	31881,00
E_{cost}	2938,87	695,91	0,24	1277,10	4196,58	73471,76
TR_{cost}	641,82	351,69	0,55	0,00	995,00	16045,50
REC	14586,00	1519,42	0,10	7500,00	15000,00	364650,00
LUC	9288,67	1610,15	0,17	6222,90	13270,90	232216,74

Resultados gerais do Cenário G

t	E _F	E _P	E _D	E _V	V _F	V _P	V _D	V _V	V ^{NS} _F	V ^{NS} _P	V ^{NS} _D	V ^{NS} _V	PA _{FP}	PA _{PD}	PA _{DV}	PA _{VC}	P _{FP}	P _{PD}	P _{DV}	P _{VC}	MP _F	PI _P	LV _F	Fcost	Pcost	Ecost	TRcost	REC	LUC
0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	100	200	0	10	1000	1200	2334	750	15000	9716
1	150	92	100	100	150	92	100	100	0	0	0	0	0	7	0	0	50	0	0	100	50	85	150	250	1795	2494	825	15000	9636
2	200	110	96	100	0	110	96	100	0	0	0	0	0	779	785	0	0	881	881	100	200	127	0	1000	889	2782	535	15000	9794
3	200	55	103	98	200	55	103	98	0	0	0	2	0	724	682	0	200	0	0	100	92	0	200	460	1200	2488	905	14700	9647
4	146	112	79	101	146	112	79	100	0	0	0	0	0	611	603	0	146	0	0	100	161	170	146	805	2390	2502	838	15000	8465
5	154	118	96	90	154	118	96	90	0	0	0	10	0	493	507	0	154	0	0	100	0	124	154	0	2068	2547	858	13500	8027
6	154	124	107	93	0	124	107	93	0	0	0	7	365	368	400	0	365	0	0	100	200	131	0	1000	917	2659	568	13950	8806
7	177	62	125	100	177	62	106	100	0	0	0	0	188	306	294	0	0	0	0	100	200	0	177	1000	1200	2552	875	15000	9374
8	188	106	94	106	188	106	94	100	0	0	0	0	0	200	200	0	0	0	0	100	12	150	188	60	2250	2755	891	15000	9044
9	200	133	100	100	0	133	100	100	0	0	0	0	200	67	100	0	200	0	0	100	200	160	0	1000	1120	2929	570	15000	9381
10	200	67	133	100	200	67	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	200	0	200	1000	1200	2711	900	15000	9189
11	200	118	100	100	200	118	100	100	0	0	0	0	600	0	1100	0	800	118	1200	100	200	170	200	1000	2390	2845	927	15000	7838
12	200	144	118	100	200	144	100	100	0	0	0	0	400	321	1000	0	219	465	0	100	200	170	200	1000	2390	3073	966	15000	7571
13	200	157	162	100	200	157	100	100	0	0	0	0	200	164	900	0	0	0	0	100	200	170	200	1000	2390	3348	986	15000	7276
14	200	164	219	100	200	164	100	100	0	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0	100	92	170	200	460	2390	3650	995	15000	7505
15	146	167	283	100	146	167	100	100	0	0	0	0	73	301	700	0	219	468	0	100	0	170	146	0	2390	3740	919	15000	7951
16	73	146	254	100	73	146	195	100	0	0	0	0	0	156	505	0	0	0	0	100	0	124	73	0	2068	3189	961	15000	8782
17	73	104	200	195	0	104	200	100	0	0	0	0	0	52	305	0	0	0	0	100	0	62	0	0	1634	3565	676	15000	9126
18	73	52	152	295	0	52	152	100	0	0	0	0	0	0	153	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	3957	598	15000	10446
19	73	52	102	347	0	0	102	100	0	0	0	0	0	0	51	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	4197	253	15000	10550
20	73	52	51	349	0	0	51	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	3980	250	15000	10770
21	73	52	51	300	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	3537	0	15000	11463
22	73	52	51	200	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	2633	0	15000	12367
23	73	52	51	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1729	0	15000	13271
24	73	52	51	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1277	0	7500	6223

APÊNDICE H – RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO LA

Análise descritiva dos resultados do Cenário LA

	Média	Desvio padrão	CV	Mínimo	Máximo	Soma
E_F	174,16	94,41	0,54	75,00	300,00	4354,00
E_P	84,52	69,70	0,82	0,00	216,00	2113,00
E_D	209,20	136,35	0,65	35,00	458,00	5230,00
E_V	98,12	12,05	0,12	67,00	132,00	2453,00
V_F	90,08	124,92	1,39	0,00	300,00	2252,00
V_P	84,56	69,65	0,82	1,00	216,00	2114,00
V_D	91,12	27,63	0,30	0,00	132,00	2278,00
V_V	96,36	9,29	0,10	67,00	100,00	2409,00
V^{NS}_F	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_P	0,28	1,40	5,00	0,00	7,00	7,00
V^{NS}_D	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_V	3,64	9,29	2,55	0,00	33,00	91,00
PA_{FP}	4,00	20,00	5,00	0,00	100,00	100,00
PA_{PD}	4,00	20,00	5,00	0,00	100,00	100,00
PA_{DV}	4,00	20,00	5,00	0,00	100,00	100,00
PA_{VC}	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
P_{FP}	82,08	122,29	1,49	0,00	300,00	2052,00
P_{PD}	76,80	73,39	0,96	0,00	216,00	1920,00
P_{DV}	83,12	37,18	0,45	0,00	132,00	2078,00
P_{VC}	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	2500,00
MP_F	85,04	147,32	1,73	0,00	400,00	2126,00
PI_P	76,52	106,11	1,39	0,00	255,00	1913,00
LV_F	90,08	124,92	1,39	0,00	300,00	2252,00
F_{cost}	425,20	736,58	1,73	0,00	2000,00	10630,00
P_{cost}	1015,64	1112,88	1,10	0,00	2985,00	25391,00
E_{cost}	2350,52	639,51	0,27	960,70	3300,62	58762,92
TR_{cost}	794,36	465,83	0,59	2,00	1653,00	19859,00
REC	14454,00	1393,66	0,10	10050,00	15000,00	361350,00
LUC	9868,28	2748,26	0,28	2874,46	13629,70	246707,08

Resultados gerais do Cenário LA

t	E _F	E _P	E _D	E _V	V _F	V _P	V _D	V _V	V ^{NS} _F	V ^{NS} _P	V ^{NS} _D	V ^{NS} _V	PA _{FP}	PA _{PD}	PA _{DV}	PA _{VC}	P _{FP}	P _{PD}	P _{DV}	P _{VC}	MP _F	PI _P	LV _F	Fcost	Pcost	Ecost	TRcost	REC	LUC
0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	100	400	0	100	2000	1200	2006	900	15000	8894
1	250	92	100	100	250	92	100	100	0	7	0	0	0	0	0	0	150	0	0	100	0	85	250	0	1795	2576	1249	15000	9380
2	250	152	96	100	0	152	96	100	0	0	0	0	0	0	0	0	152	96	100	0	212	0	0	1484	2907	823	15000	9786	
3	250	76	147	98	0	76	102	98	0	0	0	2	0	0	0	0	76	102	100	0	0	0	0	0	2531	573	14700	11596	
4	250	38	112	100	0	38	112	100	0	0	0	0	0	0	0	0	38	112	100	350	0	0	1750	0	2290	468	15000	10492	
5	300	19	75	112	300	19	75	100	0	0	0	0	0	0	0	300	19	75	100	300	0	300	1500	1200	2448	1042	15000	8810	
6	300	137	47	93	300	137	47	93	0	0	0	7	0	0	0	300	137	47	100	253	255	300	1265	2985	2900	1371	13950	5429	
7	277	196	92	70	277	196	92	70	0	0	0	30	0	0	0	277	196	92	100	0	255	277	0	2985	2988	1653	10500	2874	
8	277	216	169	81	0	216	119	81	0	0	0	19	0	0	0	0	216	119	100	123	235	0	615	1645	3301	1111	12150	5478	
9	200	108	285	100	200	108	100	100	0	0	0	0	0	0	0	200	108	100	100	0	0	200	0	1200	2705	1177	15000	9918	
10	200	139	292	100	0	139	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	139	100	100	0	170	0	0	1190	2888	786	15000	10136	
11	200	69	331	100	0	69	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	69	100	100	400	0	0	2000	0	2547	543	15000	9910	
12	300	35	301	100	300	35	100	100	0	0	0	0	0	0	0	300	35	100	100	300	0	300	1500	1200	2727	1172	15000	8401	
13	300	145	235	100	300	145	100	100	0	0	0	0	0	0	0	300	145	100	100	0	255	300	0	2985	3256	1557	15000	7202	
14	150	200	280	100	150	200	100	100	0	0	0	0	0	0	0	150	200	100	100	0	255	150	0	2985	3009	1375	15000	7631	
15	75	164	380	100	75	164	100	100	0	0	0	0	0	0	0	75	164	100	100	0	127	75	0	2089	2632	1060	15000	9220	
16	75	114	444	100	0	114	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	114	100	100	0	64	0	0	448	2436	698	15000	11418	
17	75	57	458	100	0	57	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	57	100	100	0	0	0	0	0	2135	499	15000	12366	
18	75	28	415	100	0	28	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	28	100	100	0	0	0	0	0	1916	400	15000	12684	
19	75	14	343	100	0	14	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	14	100	100	0	0	0	0	0	1743	350	15000	12907	
20	75	7	257	100	0	7	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	7	100	100	0	0	0	0	0	1590	325	15000	13085	
21	75	4	132	100	0	4	132	100	0	0	0	0	0	0	0	0	4	132	100	0	0	0	0	0	1408	408	15000	13184	
22	75	2	68	132	0	2	68	100	0	0	0	0	0	0	0	0	2	68	100	0	0	0	0	0	1602	210	15000	13188	
23	75	1	35	100	0	1	35	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	100	0	0	0	0	0	1263	107	15000	13630	
24	75	0	36	67	0	1	0	67	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	961	2	10050	9087	

APÊNDICE I – RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO LB

Análise descritiva dos resultados do Cenário LB

	Média	Desvio padrão	CV	Mínimo	Máximo	Soma
E_F	106,72	40,47	0,38	47,00	190,00	2668,00
E_P	90,44	35,23	0,39	5,00	148,00	2261,00
E_D	103,80	31,63	0,30	29,00	199,00	2595,00
E_V	107,20	20,45	0,19	98,00	174,00	2680,00
V_F	97,32	56,35	0,58	0,00	190,00	2433,00
V_P	90,44	35,23	0,39	5,00	148,00	2261,00
V_D	97,12	21,87	0,23	29,00	157,00	2428,00
V_V	99,92	0,40	0,00	98,00	100,00	2498,00
V^{NS}_F	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_P	0,28	1,40	5,00	0,00	7,00	7,00
V^{NS}_D	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_V	0,08	0,40	5,00	0,00	2,00	2,00
PA_{FP}	4,00	20,00	5,00	0,00	100,00	100,00
PA_{PD}	4,00	20,00	5,00	0,00	100,00	100,00
PA_{DV}	4,00	20,00	5,00	0,00	100,00	100,00
PA_{VC}	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
P_{FP}	89,32	59,42	0,67	0,00	190,00	2233,00
P_{PD}	82,76	43,10	0,52	0,00	148,00	2069,00
P_{DV}	89,12	34,60	0,39	0,00	157,00	2228,00
P_{VC}	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	2500,00
MP_F	91,20	71,19	0,78	0,00	200,00	2280,00
PI_P	82,64	47,80	0,58	0,00	161,00	2066,00
LV_F	97,32	56,35	0,58	0,00	190,00	2433,00
$Fcost$	456,00	355,95	0,78	0,00	1000,00	11400,00
$Pcost$	1538,48	783,08	0,51	0,00	2327,00	38462,00
$Ecost$	2390,58	316,42	0,13	1258,10	2977,20	59764,60
$TRcost$	850,80	282,45	0,33	104,00	1245,00	21270,00
REC	14988,00	60,00	0,00	14700,00	15000,00	374700,00
LUC	9752,14	1523,33	0,16	7951,90	13637,90	243803,40

Resultados gerais do Cenário LB

t	E _F	E _P	E _D	E _V	V _F	V _P	V _D	V _V	V ^{NS} _F	V ^{NS} _P	V ^{NS} _D	V ^{NS} _V	PA _{FP}	PA _{PD}	PA _{DV}	PA _{VC}	P _{FP}	P _{PD}	P _{DV}	P _{VC}	MP _F	PI _P	LV _F	Fcost	Pcost	Ecost	TRcost	REC	LUC
0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	100	188	0	100	940	1200	2334	900	15000	9626
1	144	92	100	100	144	92	100	100	0	7	0	0	0	0	0	0	44	0	0	100	65	85	144	325	1795	2470	984	15000	9426
2	104	107	96	100	104	107	96	100	0	0	0	0	0	0	0	0	104	107	96	100	135	122	104	675	2054	2371	926	15000	8974
3	120	98	102	98	120	98	102	98	0	0	0	2	0	0	0	0	120	98	102	100	115	89	120	575	1823	2396	949	14700	8957
4	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	102	118	590	1914	2408	944	15000	9144
5	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	944	15000	9158
6	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	944	15000	9158
7	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	944	15000	9158
8	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	944	15000	9158
9	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	944	15000	9158
10	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	944	15000	9158
11	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	944	15000	9158
12	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	119	100	118	595	1900	2408	944	15000	9153
13	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	114	100	118	570	1900	2408	946	15000	9176
14	116	100	100	100	116	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	116	100	100	100	200	101	116	1000	1907	2400	941	15000	8752
15	158	100	100	100	158	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	158	100	100	100	200	99	158	1000	1893	2572	1043	15000	8492
16	179	117	100	100	179	117	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	179	117	100	100	200	134	179	1000	2138	2753	1157	15000	7952
17	190	135	117	100	190	135	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	190	135	100	100	0	152	190	0	2264	2977	1245	15000	8514
18	95	148	151	100	95	148	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	95	148	100	100	0	161	95	0	2327	2817	1054	15000	8802
19	47	114	199	100	47	114	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	47	114	100	100	0	81	47	0	1767	2651	818	15000	9765
20	47	77	157	100	0	77	157	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	157	100	0	40	0	0	280	2250	740	15000	11730
21	47	39	117	157	0	39	117	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	117	100	0	0	0	0	0	2369	486	15000	12145
22	47	19	78	174	0	19	78	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	78	100	0	0	0	0	0	2231	301	15000	12468
23	47	10	49	151	0	10	49	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	49	100	0	0	0	0	0	1839	180	15000	12981
24	47	5	29	100	0	5	29	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	29	100	0	0	0	0	0	1258	104	15000	13638

APÊNDICE J – RESUMO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO LC

Análise descritiva dos resultados do Cenário LC

	Média	Desvio padrão	CV	Mínimo	Máximo	Soma
E_F	106,72	40,47	0,38	47,00	190,00	2668,00
E_P	90,44	35,23	0,39	5,00	148,00	2261,00
E_D	103,80	31,63	0,30	29,00	199,00	2595,00
E_V	107,20	20,45	0,19	98,00	174,00	2680,00
V_F	97,32	56,35	0,58	0,00	190,00	2433,00
V_P	90,44	35,23	0,39	5,00	148,00	2261,00
V_D	97,12	21,87	0,23	29,00	157,00	2428,00
V_V	99,92	0,40	0,00	98,00	100,00	2498,00
V^{NS}_F	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_P	0,28	1,40	5,00	0,00	7,00	7,00
V^{NS}_D	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
V^{NS}_V	0,08	0,40	5,00	0,00	2,00	2,00
PA_{FP}	4,00	20,00	5,00	0,00	100,00	100,00
PA_{PD}	4,00	20,00	5,00	0,00	100,00	100,00
PA_{DV}	4,00	20,00	5,00	0,00	100,00	100,00
PA_{VC}	0,00	0,00	#DIV/0!	0,00	0,00	0,00
P_{FP}	89,32	59,42	0,67	0,00	190,00	2233,00
P_{PD}	82,76	43,10	0,52	0,00	148,00	2069,00
P_{DV}	89,12	34,60	0,39	0,00	157,00	2228,00
P_{VC}	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	2500,00
MP_F	91,20	71,19	0,78	0,00	200,00	2280,00
PI_P	82,64	47,80	0,58	0,00	161,00	2066,00
LV_F	97,32	56,35	0,58	0,00	190,00	2433,00
$Fcost$	456,00	355,95	0,78	0,00	1000,00	11400,00
$Pcost$	1538,48	783,08	0,51	0,00	2327,00	38462,00
$Ecost$	2390,58	316,42	0,13	1258,10	2977,20	59764,60
$TRcost$	565,92	185,56	0,33	70,00	820,00	14148,00
REC	14988,00	60,00	0,00	14700,00	15000,00	374700,00
LUC	10037,02	1429,52	0,14	8347,90	13671,90	250925,40

Resultados gerais do Cenário LC

t	E _F	E _P	E _D	E _V	V _F	V _P	V _D	V _V	V ^{NS} _F	V ^{NS} _P	V ^{NS} _D	V ^{NS} _V	PA _{FP}	PA _{PD}	PA _{DV}	PA _{VC}	P _{FP}	P _{PD}	P _{DV}	P _{VC}	MP _F	PI _P	LV _F	Fcost	Pcost	Ecost	TRcost	REC	LUC
0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	100	188	0	100	940	1200	2334	600	15000	9926
1	144	92	100	100	144	92	100	100	0	7	0	0	0	0	0	0	44	0	0	100	65	85	144	325	1795	2470	647	15000	9763
2	104	107	96	100	104	107	96	100	0	0	0	0	0	0	0	0	104	107	96	100	135	122	104	675	2054	2371	618	15000	9282
3	120	98	102	98	120	98	102	98	0	0	0	2	0	0	0	0	120	98	102	100	115	89	120	575	1823	2396	629	14700	9277
4	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	102	118	590	1914	2408	626	15000	9462
5	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	626	15000	9476
6	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	626	15000	9476
7	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	626	15000	9476
8	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	626	15000	9476
9	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	626	15000	9476
10	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	626	15000	9476
11	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	118	100	118	590	1900	2408	626	15000	9476
12	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	119	100	118	595	1900	2408	626	15000	9471
13	118	100	100	100	118	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100	100	100	114	100	118	570	1900	2408	628	15000	9494
14	116	100	100	100	116	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	116	100	100	100	200	101	116	1000	1907	2400	625	15000	9068
15	158	100	100	100	158	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	158	100	100	100	200	99	158	1000	1893	2572	686	15000	8849
16	179	117	100	100	179	117	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	179	117	100	100	200	134	179	1000	2138	2753	761	15000	8348
17	190	135	117	100	190	135	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	190	135	100	100	0	152	190	0	2264	2977	820	15000	8939
18	95	148	151	100	95	148	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	95	148	100	100	0	161	95	0	2327	2817	712	15000	9144
19	47	114	199	100	47	114	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	47	114	100	100	0	81	47	0	1767	2651	556	15000	10027
20	47	77	157	100	0	77	157	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	157	100	0	40	0	0	280	2250	506	15000	11964
21	47	39	117	157	0	39	117	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	117	100	0	0	0	0	2369	331	15000	12300	
22	47	19	78	174	0	19	78	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	78	100	0	0	0	0	2231	204	15000	12565	
23	47	10	49	151	0	10	49	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	49	100	0	0	0	0	1839	121	15000	13040	
24	47	5	29	100	0	5	29	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	29	100	0	0	0	0	1258	70	15000	13672	