



MODELAGEM PARA A DECISÃO DE CANAIS LOGÍSTICOS DE LONGO CURSO

Flávio Machado Moita

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Domício Proença Júnior

Rio de Janeiro

Maio de 2014

MODELAGEM PARA A DECISÃO DE CANAIS LOGÍSTICOS DE LONGO
CURSO

Flávio Machado Moita

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Domício Proença Júnior, D.Sc.

Prof. Samuel Jurkiewicz, D.Sc.

Prof. Lino Guimarães Marujo, D.Sc..

Prof. Marcel Bursztyn, D.Sc.

Prof. Leonardo Silva de Lima, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2014

Moita, Flávio Machado

Modelagem Para a Decisão de Canais Logísticos de Longo Curso / Flávio Machado Moita. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

XIX, 219 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Domício Proença Júnior

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 210-219.

1. Engenharia de Produção. 2. Logística Empresarial. 3. Modelagem. I. Proença Júnior, Domício. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

Dedicatória

*À minha esposa Gilvania e meus filhos
Richardson e Maria Eduarda*

Agradecimentos

Aos professores Domício Proença Júnior e Samuel Jurkiewicz pela dedicação, paciência, compreensão e atenção durante o desenvolvimento da tese.

À minha esposa, Gilvania, pela compreensão, incentivo e confiança dedicados durante os anos de estudo e pesquisa.

Aos professores Antônio Geraldo Harb, Francisco Duarte e Roberto Bartholo pela convivência enriquecedora em termos humanos e intelectuais.

A todos os demais professores do curso de engenharia de produção que dedicaram um pouco do seu conhecimento e experiência para nos ajudar a crescer como pessoas e profissionais.

À Universidade Estadual do Amazonas (UEA) e ao Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ) pela parceria que tornou possível a realização do curso.

Aos membros da banca, Domício Proença Júnior, Samuel Jurkiewicz, Lino Guimarães Marujo, Marcel Bursztyń e Leonardo Silva de Lima pela contribuição na avaliação e melhoria do trabalho realizado.

Por fim, gostaria de agradecer aos meus companheiros de jornada, meus colegas do curso com os quais, ao longo de anos de convivência, dividi experiências e conhecimentos.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

MODELAGEM PARA A DECISÃO DE CANAIS LOGÍSTICOS DE LONGO CURSO

Flávio Machado Moita

Maio/2014

Orientador: Domício Proença Júnior

Programa: Engenharia de Produção

Buscou-se, neste trabalho de pesquisa, desenvolver modelos para tomada de decisão de canais logísticos, tomando com base os custos totais associados a várias alternativas possíveis de transporte. O trabalho envolveu a avaliação e o desenvolvimento de equações e gráficos de custos logísticos que conseguissem lidar não somente com os aspectos relativos aos custos de transporte, mas também, e principalmente, com os custos totais de armazenagem, aquisição e transporte de suprimentos até instalações produtivas distantes dos centros de fornecimento. Ao longo do trabalho, foram desenvolvidos e testados três modelos de custo logístico total: sem estoque de segurança; com estoque de segurança proporcional à demanda; e com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição. Foram utilizados nos testes dos modelos tanto dados reais como presumidos. Desta maneira, a tese contribui para engenharia de produção com o mais um modelo alternativo para o processo de decisão de canais logísticos.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

MODELING FOR DECISION IN LONG-PATH LOGISTICS CHANNELS

Flávio Machado Moita

May/2014

Advisor: Domício Proença Júnior

Department: Production Engineering

This research aimed to develop models for decision-making in transportation channels based on total costs associated with various route possibilities. The study involved the evaluation and development of logistics costs equations and graphs that could present not only the aspects related to transportation costs but mainly the total costs of storage, acquisition and shipping goods to production facilities located far from the supplying centers. Throughout this work three models of total logistics costs were developed and tested: without safety stock, with a safety stock corresponding to the demand, and with a safety stock proportional to the replacement time. Assumed and real data were used in the tests of the models. Thus, this thesis contributes to production engineering with an additional model for the process of decision in logistics channels.

Sumário

1- Introdução	1
1.1- Considerações preliminaries	1
1.2- Delimitação da Área de Estudo	1
1.3- Objetivos	4
1.3.1.-Objetivo Geral	4
1.3.2- Objetivos Específicos	4
1.4- Estrutura da tese	5
2 - Revisão da Literatura.....	7
2.1 – Importância da Logística	8
2.2 – Origens.....	11
2.3 - O sistema de Transporte.....	14
2.3.1 – Transporte Rodoviário	17
2.3.2 – Transporte Ferroviário	18
2.3.3 – Transporte Aquaviário	20
2.3.4 – Transporte Aéreo	23
2.3.5 – Transporte Dutoviário	25
2.3.6 – Escolha do modal de suprimentos	27
2.4 – Gestão da Cadeia de Suprimentos (<i>Supply Chain Management</i>)	29
2.5 - Os Custos Logísticos	33
2.5.1 - Custos diretos e indiretos.....	34

2.5.2 - Custos fixos e variáveis.....	35
2.5.3 - Custos relacionamento com o processo de gestão.....	36
2.6 – Os estoques	37
2.6.1 – Importância.....	37
2.6.2 – Objetivos	40
2.6.2.1 Objetivo Custo.....	41
2.6.2.2 Nível de Serviço	45
2.6.3 Modelos de Estoque.....	48
2.6.3.1 – O Ponto de Pedido	49
2.6.3.2 – Revisão Periódica.....	54
2.6.3.3 – <i>Just-In-Time</i> (JIT)	57
2.6.3.4 – Planejamento das Necessidades de Materiais (MRP).....	61
2.6.3.5 – Lote Econômico de Compras (LEC)	64
2.6.4 – Os estoques de segurança.....	66
3 - Metodologia da Pesquisa	70
3.1 – Modelo desenvolvido em relação aos outros modelos alternativos.....	70
3.2 - Princípios Norteadores do Modelo Proposto.....	81
4- Resultados.....	88
4.1 - Exposição do Modelo	88
4.1.1 – Modelo sem estoque de segurança	88
4.1.2 – Modelo com estoque de segurança	101
4.1.2.1 – Modelo com estoque de segurança proporcional a demanda mensal	103

4.1.2.2 – Modelo com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição.....	112
5- Resultados Numéricos e Teste de Sensibilidade.....	120
5.1.1 - Resultados Numéricos sem estoque de segurança.....	120
5.1.2 – Teste de sensibilidade sem estoque de segurança.....	123
5.1.3- Resultados Numéricos com estoque de segurança.....	129
5.1.3.1- Resultados Numéricos com estoque de segurança proporcional a demanda mensal.....	129
5.1.3.2- Teste de sensibilidade com estoque de segurança proporcional a demanda mensal.....	133
5.1.3.3- Resultados Numéricos com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição.....	139
5.1.3.4- Teste de sensibilidade com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição.....	142
5.1.4 – Análise do particionamento da demanda.....	149
5.2 – Resultados numéricos em uma situação completa.....	155
5.2.1 – Apresentação da situação problema.....	156
5.2.2 – Cálculo dos pontos de custo mínimo.....	158
5.2.2.1 Cálculos para a Rota (1):.....	159
5.2.2.2 Cálculos para a Rota (2):.....	162
5.2.2.3 Cálculos para a Rota (3):.....	166
5.2.2.4 Cálculos para a Rota (4):.....	170
5.2.3 Avaliação dos resultados.....	174
5.2.4 – Avaliação de sensibilidade das curvas de custo total.....	177

5.3 – Aplicação prática do modelo	191
6- Conclusões e recomendações.....	205
6.1- Conclusões	206
6.2- Recomendações	208
Referências Bibliográficas	210

Lista de Figuras

Figura 1- Lote Econômico de Compras.....	3
Figura 2 – Fatores para escolha do modal de transporte	27
Figura 3- dimensões de planejamento da Cadeia de Suprimentos	33
Figura 4 - Localização dos estoques na cadeia de suprimentos	40
Figura 5- Relação entre nível de serviço e custo	47
Figura 6 - Compensações gerais nos custos x receitas x nível de serviço.....	47
Figura 7 - Gráfico Dente de Serra	50
Figura 8 - Níveis de estocagem	50
Figura 9 - Gráfico do modelo Ponto de Pedido.....	52
Figura 10 - Modelo de Revisão Periódica	56
Figura 11 - Esquema do funcionamento do MRP I.....	62
Figura 12 - Gráfico dente de serra com estoque de segurança	68
Figura 13 - Estoque máximo, médio e mínimo com estoque de segurança	69
Figura 14 - Exemplo de restrições	72
Figura 15 - Custos do transporte multimodal	73
Figura 16 - Exemplo de grafo de transporte	74
Figura 17 - Lote Econômico de Compra (LEC).....	76
Figura 18 - Equação do Lote Econômico de Compra	80
Figura 19 - Curvas de custo total.....	85
Figura 20- Custos mínimos das alternativas de transporte	85

Figura 21 - Análise de sensibilidade aos custos mínimos	86
Figura 22 – Análise de sensibilidade das curvas de custo total.....	87
Figura 23- função custo total.....	95
Figura 24- Ponto de iterceptação dos custos totais.....	98
Figura 25- encontro dos custos totais, com estoques de segurança.....	109
Figura 26- encontro dos custos totais, com estoques de segurança pelo método da raiz quadrada.....	117
Figura 27 - curvas de custo total para as duas Rotas	125
Figura 28 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas	126
Figura 29- Escolha da melhor rota em função da quantidade encomendada (Sem estoque de segurança)	129
Figura 30 - curvas de custo total para as duas rotas considerando o estoque de segurança	135
Figura 31 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas considerando o estoque de segurança	137
Figura 32- Escolha da melhor rota em função da quantidade encomendada (com estoque de segurança proporcional a demanda)	139
Figura 33 - curvas de custo total para as duas rotas considerando o estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição.....	145
Figura 34 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas considerando o estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição.....	147
Figura 35- Escolha da melhor rota em função da quantidade encomendada (com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição).....	149
Figura 36- Gráfico de custo total para uma demanda particionada em 50%	154

Figura 37- Gráfico de custo total para uma demanda particionada em 10% para rota A e 90% para rota B.	155
Figura 38 – Rotas de suprimento.....	156
Figura 39- grafo das rotas de suprimento	157
Figura 40 - curva de custo total para rota 1	160
Figura 41 - curva de custo total para rota dois.....	164
Figura 42 - curva de custo total para rota três.....	168
Figura 43 - curva de custo total para rota quatro	172
Figura 44- curvas de custo das quatro rotas	176
Figura 45- Rota Escolhida	176
Figura 46- cruzamento das curvas de custo total.....	177
Figura 47- curvas de custo total um e dois	179
Figura 48- curvas de custo total um e quatro.....	181
Figura 49- curvas de custo total um e três	183
Figura 50- curvas de custo total três e dois	185
Figura 51- curvas de custo total três e quatro.....	186
Figura 52- curvas de custo total dois e quatro	188
Figura 53- - pontos de encontro das curvas de custo total.....	189
Figura 54 - “caminho crítico” para a decisão	190
Figura 55 - Alternativas avaliadas para o transporte	192
Figura 56 - proposta da alternativa A	193
Figura 57- proposta de transporte da alternativa B.....	194

Figura 58- Observações da proposta B.....	195
Figura 59- curvas de custo total para as duas rotas	201
Figura 60 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas	202
Figura 61- Escolha da melhor rota em função da quantidade encomendada	204

Lista de Tabelas

Tabela 1- Custos Logísticos em percentual do Produto Interno Bruto nos países da Comunidade Europeia	10
Tabela 2 – Distribuição da matriz de transporte brasileira para o ano de 2007	15
Tabela 3 - Principais Ferrovias de Carga do Brasil	18
Tabela 4 - Maiores portos brasileiros em movimentação de carga em 2012	21
Tabela 5- Componentes do custo de carregamento	75

Lista de Quadros

Quadro 1 - fatores, e um <i>check-list</i> para a escolha do modal de transporte.	16
Quadro 2- Característica relevantes para escolha do modal de transporte	16
Quadro 3- Principais desafios do modal aéreo para os próximos 20 anos no Brasil.....	25
Quadro 4 - Classificação das características operacionais relativas por modal de transporte *	26
Quadro 5 - Classificação dos custos logísticos quanto à finalidade da informação	33
Quadro 6 - Custos relacionamento com o processo de gestão	36
Quadro 7- Razões a favor e contra os estoques	39
Quadro 8 - principais custos de armazenagem	41
Quadro 9 - componentes da taxa de armazenagem	42
Quadro 10 - Informações básicas para previsão de estoque	49
Quadro 11- Elementos do tempo de ressuprimento.....	53
Quadro 12 - JIT e Objetivos de desempenho da Produção	60
Quadro 13 - Informações requisitadas e geradas pelo MRP	63
Quadro 14- Composição do custo total para o método com estoque de segurança proporcional a demanda.....	105
Quadro 15- Composição do custo total para o método com estoque de segurança proporcional ao tempo de suprimento	113
Quadro 16- Dados para a aplicação teórica do modelo proposto	120
Quadro 17 - resumo dos resultados do modelo para as duas rotas	123
Quadro 18- análise de sensibilidade dos custos totais para as duas rotas.....	124

Quadro 19 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas	125
Quadro 20 - Sensibilidade do custo total em relação às variações do Lote de encomenda	128
Quadro 21- Custo e demanda da aplicação teórica do modelo proposto.....	129
Quadro 22 - resumo dos resultados do modelo para as duas rotas	132
Quadro 23 - Comparação entre os custos totais mínimos com e sem estoque de segurança	133
Quadro 24 - Sensibilidade do custo total em relação às variações Fator de segurança.	133
Quadro 25- análise de sensibilidade dos custos totais para as duas rotas considerando o estoque de segurança	134
Quadro 26 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas considerando o estoque de segurança	136
Quadro 27- Custo e demanda da aplicação teórica do modelo proposto.....	139
Quadro 28 - resumo dos resultados do modelo para as duas rotas	142
Quadro 29 - Comparação entre os custos totais mínimos com e sem estoque de segurança	142
Quadro 30 - Sensibilidade do custo total em relação às variações no tempo de reposição	143
Quadro 31- análise de sensibilidade dos custos totais para as duas rotas considerando o estoque de segurança pelo método da raiz quadrada	144
Quadro 32 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas	146
Quadro 33-Dados para a aplicação teórica do modelo proposto	151
Quadro 34 - custo total para uma demanda particionada em 50%	152
Quadro 35 - Dados de custo para cada alternativa	157
Quadro 36 - Síntese dos dados do problema	158
Quadro 37- decomposição dos custos relativos à alternativa 1	161

Quadro 38 - resultados para a rota 1	162
Quadro 39- decomposição dos custos relativos à alternativa dois	165
Quadro 40 - resultados para a rota 2.....	166
Quadro 41- decomposição dos custos relativos a alternativa três	169
Quadro 42 - resultados para a rota três	170
Quadro 43- decomposição dos custos relativos à alternativa quatro.....	173
Quadro 44 - resultados para a rota quatro.....	174
Quadro 45- resumo dos cálculos para as quatro rotas	175
Quadro 46- pontos de encontro das curvas de custo total	188
Quadro 47- K2, e K3 e TR	196
Quadro 48 - Síntese dos dados do problema	197
Quadro 49 - resumo dos resultados do modelo para as duas rotas	199
Quadro 50- análise de sensibilidade dos custos totais para as duas alternativas.....	200
Quadro 51- avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas	201

1- Introdução

1.1- Considerações preliminares

Os custos logísticos, em particular os custos de transporte, sempre foram objetos de estudo tanto na engenharia de produção, em especial da logística e pesquisa operacional, como nas áreas administrativas de contabilidade e economia. A ideia de desenvolver modelos para representar situações de decisão levando em conta custos logísticos é bastante difundida nessas áreas.

Avaliando sob o ponto de vista das organizações, o interesse pelo estudo dos custos logísticos se justifica em virtude da sua grande participação nos custos dos produtos. É grande o interesse pelo desenvolvimento de modelos de custo que procurem melhorar as decisões gerenciais com o objetivo de diminuir custos e maximizar resultados.

Diante dessa importância de se avaliar decisões logísticas, o presente trabalho de pesquisa procura estudar, desenvolver e testar modelos de decisão de canais logísticos mediante uma abordagem diferenciada dos já existentes. A ideia central é montar modelos que levem em conta os fatores mais importantes em termos de custo, de forma a subsidiar as decisões gerenciais com dados numéricos.

1.2- Delimitação da Área de Estudo

O desenvolvimento do presente trabalho envolveu o estudo e a montagem de modelos de transporte e de custo que conseguissem avaliar não somente os aspectos relativos aos custos de transporte, mas também, e principalmente, os custos totais envolvidos na armazenagem, na aquisição e no transporte de uma rede de suprimentos até instalações produtivas.

Para tanto, buscou-se com a revisão de literatura trabalhos e modelos que pudessem satisfazer e auxiliar na decisão dos canais de suprimentos. O foco teórico da

proposta deste trabalho versa sobre a existência de uma relação inversamente proporcional entre os custos de aquisição e de manutenção de estoque.

Uma inspeção mais detalhada nos marcos teóricos da área detectou vários modelos que servem para avaliar somente uma variável de custo ou de capacidade como, por exemplo, os modelos de otimização.

Apesar do disseminado uso desse tipo de solução para situações logísticas, e de usar as restrições na busca da solução ‘otimizada’, não se leva em conta fatores relacionados ao tempo de suprimento e os seus respectivos impactos nos custos associados aos estoques elevados.

Também muitos problemas de transporte são resolvidos por intermédio do uso de algoritmos modelados a partir de diagramas de rede na forma de grafos. Apesar de ser bastante utilizado, este tipo de abordagem, entretanto, não costuma levar em conta as economias relativas a todos os custos envolvidos na manutenção e aquisição dos itens.

As limitações de transporte, a distância, os tempos de transporte (lead-time) e os custos das operações logísticas para localidades distantes, além do custo de manutenção dos estoques, também chamado de custo de carregamento, são importantes elementos dos custos logísticos e devem ser avaliados na medida em que eles aumentam o custo total associado às alternativas de transporte.

Uma das formas de se levar em conta os custos totais nas decisões logísticas é a partir da abordagem do Lote Econômico de Compras (LEC), ou Economic Order Quantity (EOQ). Neste modelo, os custos de carregamento e de pedido são somados de forma a encontrar a quantidade de compra que irá minimizar os custos totais (custo de pedir somado ao custo de manter).

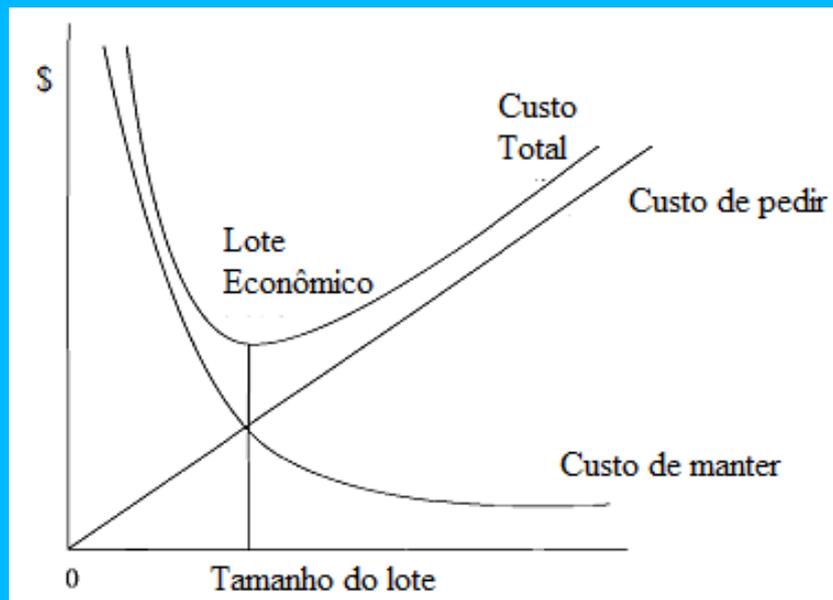


Figura 1- Lote Econômico de Compras.
 Fonte: Adaptado de Bowersox (2002, p.293).

Na abordagem clássica do LEC, Bowersox (2002) se utiliza das variáveis do custo de cada ordem: o custo de pedir, o custo de carregamento anual, ou custo de manter e a demanda anual de compra do item.

Este tipo de abordagem é explorado na maioria dos livros de logística, de administração de materiais e engenharia de produção, como em SLACK (2002), POZO (2007), MOREIRA (1993), DIAS (1993), BERTAGLIA (2006), BALLOU (2006), ARNOLD (1999).

O objetivo principal da abordagem do LEC é encontrar a quantidade ideal para as encomendas de determinado item em estoque, quantidade essa que irá minimizar os custos totais.

Neste estudo, não será utilizada esta técnica, especificamente, para encontrar a quantidade ideal de compras, mas para estimar os custos totais mínimos de cada alternativa de transporte a partir do desenvolvimento de equações de custo total. Além disto, serão adicionados ao modelo os custos de transporte e financeiro, além dos estoques de segurança.

1.3- Objetivos

A idéia central da tese é tratar o custo de transporte desmembrado do custo de pedir, mas associado aos custos de manter e financeiro dos estoques. Desta forma, pode-se melhor identificar o peso destes custos, bem como avaliar sua sensibilidade quanto à quantidade pedida ou ao número de pedidos.

Pretende-se, assim, avaliar mais detalhadamente os custos associados ao ressuprimento, desmembrando os custos de aquisição, do modelo do Lote Econômico, em custos de pedir propriamente ditos, aqueles associados às atividades administrativas de aquisição, dos custos de transporte.

Os modelos desenvolvidos visam auxiliar na decisão de transporte a partir dos custos totais associados a várias rotas de suprimentos. O objetivo central do trabalho é encontrar equações de custo total para cada rota, fazer uma avaliação individual de cada uma delas por meio da análise de sensibilidade, e avaliar conjuntamente todas as alternativas em termos de custos mínimos e quantidade comprada.

Desta forma, a presente pesquisa tem como objetivo o desenvolvimento e teste de modelos de custo total que levem em conta o custo de pedir, custo de manter, custos financeiros relativos aos estoques de segurança e os custos de transporte. Pretendeu-se montar as equações teóricas relativas aos modelos, testar e avaliar os resultados, a aplicabilidade e suas restrições.

1.3.1.-Objetivo Geral

Montar e testar modelos de decisão de canais logísticos baseados nos custos totais envolvidos na armazenagem, na aquisição, no transporte e no financiamento dos estoques.

1.3.2- Objetivos Específicos

- Montar as equações teóricas relativas aos modelos propostos;

- Testar e analisar as equações e gráficos com o uso de dados presumidos e reais;
- Fazer análises de sensibilidade dos custos totais em relação aos lotes de compras;
- Avaliar a sensibilidade dos custos totais em relação ao aumento ou diminuição dos estoques de segurança;
- Analisar o uso do modelo desenvolvido em condições de particionamento da demanda; e
- Avaliar os resultados, a aplicabilidade e as restrições dos modelos.

1.4- Estrutura da tese

O presente trabalho de pesquisa está dividido em seis partes. Após a introdução do trabalho, é feita uma revisão de literatura sobre a área de logística. Para tanto, foram levantados e descritos os principais elementos de custos logísticos e modos de transporte, além de apresentar os modelos de decisão de transporte.

Em seguida, na unidade 3, são apresentados a metodologia do trabalho e os elementos norteadores do desenvolvimento dos modelos. Nesta fase, são expostos os fundamentos e princípios que servirão de orientação para o desenvolvimento das equações.

Na quarta parte da tese, são apresentados todos os detalhes de cálculo dos elementos de custos, e são desenvolvidas as equações de custo total para cada um dos modelos propostos.

São três modelos desenvolvidos: um sem estoque de segurança, um com estoque de segurança proporcional à demanda e um terceiro com estoque de segurança proporcional ao tempo de reabastecimento. Nesta parte, também são desenvolvidas as equações para o cálculo dos pontos de cruzamento entre as curvas de custo total.

Na quinta parte da tese, são feitos o teste e as análises de sensibilidade para cada um dos modelos elaborados com dados numéricos presumidos e reais. Inicialmente, é

realizado um teste com duas rotas com dados presumidos, e também são feitas as análises de sensibilidade dos custos em relação às quantidades de encomendas e a avaliação de viabilidade de cada alternativa em relação ao lote de encomenda e custos totais.

Ainda com duas rotas, é feita uma análise com a situação de partilhamento da demanda, onde é estudada a possibilidade de se dividir as cargas de transporte por mais de uma rota.

Em seguida, é feito um teste completo com dados presumidos, utilizando o terceiro modelo desenvolvido (com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição). Neste teste, são feitas todas as avaliações em relação aos custos e às rotas viáveis em função do lote de encomenda. Depois, é realizado um teste do modelo com estoque de segurança para uma situação prática, com dados reais e presumidos.

Por fim, na sexta parte do trabalho, são apresentadas as principais conclusões e contribuições do presente trabalho, bem como as recomendações para aplicação dos modelos em nível operacional.

2 - Revisão da Literatura

As organizações são compostas por um conjunto de funções que no desempenho de suas atividades operacionais buscam atingir seus objetivos. Para tanto necessitam de recursos financeiros, humanos e estruturais. Mesmo aquelas sem fins lucrativos precisam de recursos e de estrutura para transformar os esforços em benefício efetivos. De maneira a fazer funcionar essas funções, toda e qualquer organização necessita também do desempenho de atividades administrativas. As principais funções executadas nas organizações são:

- Finanças
- Produção
- Marketing
- Recursos Humanos
- Desenvolvimento de produtos e serviços
- Engenharia e suporte
- Sistemas de Informação Gerencial.

A função produção, área de estudo da presente pesquisa, é aquela relacionada às atividades fins da organização. Em uma empresa industrial são todos os recursos e atividades associados à atividade fabril. Na universidade, por sua vez, são as atividades de ensino, pesquisa e extensão. No comércio são as atividades relacionadas aos pontos comerciais. Para identificação da atividade fim (função produção) basta buscar qual a razão da existência de uma organização.

O perfeito funcionamento da função produção necessita de recursos na forma de materiais, recursos humanos, informações, equipamentos e instalações. Os recursos materiais, por sua vez, sejam eles matérias-primas, componentes, embalagens, ou

mesmo materiais auxiliares a produção, são fatores fundamentais para se atingir os objetivos estratégicos.

A falta ou o excesso de materiais em uma operação pode comprometer a eficiência e o custo do processo produtivo. Nesse sentido, a guarda e movimentação de materiais são atividades fundamentais para se atuar em mercados concorrenciais cuja a obtenção de uma vantagem competitiva durável é fator fundamental para a sobrevivência da organização.

Diante do contexto atual onde os mercados estão cada vez mais competitivos e integrados por redes de transporte multimodais, as atividades ligadas a essa gestão, movimentação e transporte de materiais se tornam vitais para atender os consumidores com produtos com preço, qualidade e serviço competitivo. Dentro das organizações a área de logística é a principal responsável por gerir os materiais de forma integrada e eficiente visando atingir seus objetivos operacionais, táticos e principalmente estratégicos.

Ballou (1993) comenta que a logística é uma área vital para as organizações. Segundo o autor:

É um fato econômico que tanto os recursos quanto seus consumidores estão espalhados numa ampla área geográfica. Além disso, os consumidores não residem, se é que alguma vez o fizeram, próximo donde os bens ou produtos estão localizados. Este é o problema enfrentado pela logística: diminuir o hiato entre a produção e a demanda, de modo que os consumidores tenham bens e serviços quando e onde quiserem, e na condição física que desejarem. Ballou (1993, p. 17).

2.1 – Importância da Logística

Durante muito tempo as atividades ligadas à área de logística se encontravam dispersas nas estruturas organizacionais e tinham papel secundário e não essencial para o desempenho operacional, segundo Faria (2011) a logística era uma atividade

“esquecida”, considerada como função de apoio, não vital ao sucesso dos negócios. Essa situação vem mudando substancialmente ao longo das últimas décadas. Segundo o autor essa forma de reconhecê-la vem se alterando substancialmente nos últimos anos.

Dias (1993, p. 13) também reconhece a importância da logística citando seis fatores que vem contribuindo para o aumento da área dentro das organizações brasileiras:

- 1) Rápido crescimento dos custos, particularmente dos relativos aos serviços de transporte e armazenagem;
- 2) Desenvolvimento de técnicas matemáticas e do equipamento de computação capazes de tratar eficientemente a massa de dados normalmente necessária para a análise de um problema logístico;
- 3) Complexidade crescente da administração de materiais e da distribuição física, tornando necessários sistemas mais complexos;
- 4) Disponibilidade de maior gama de serviços logísticos;
- 5) Mudanças de mercado e de canais de distribuição, especialmente para bens de consumo; e
- 6) Tendência de os varejistas e atacadistas transferirem as responsabilidades de administração de estoques para os fabricantes.

Segundo ele o peso dos custos logísticos no preço final do produto contribui sobremaneira para o aumento da importância dessa área no processo de decisão além de acrescentar que os custos representam parte importante na administração logística. Dias (1993) comenta ainda que essa importância varia de indústria para indústria e que as organizações tentam equilibrar os custos básicos de transporte e de manutenção de estoque de tal forma que resulte em custos totais mais baixos.

Ghiani (2004), por sua vez, afirma que a logística é uma das mais importantes atividades nas sociedades modernas e cita o peso deste setor para a economia.

A Logística é uma das mais importantes atividades nas sociedades modernas. Alguns dados podem ser usados para ilustrar esta afirmação. É estimado que o total dos custos logísticos pelas organizações americanas no ano de 1997 foi de 862 bilhões de dólares americanos, correspondendo a aproximadamente 11% do Produto Interno Bruto Doméstico dos Estados Unidos da América. Este custo é maior que o total combinado dos gastos do governo americano em seguridade social, serviços de saúde e de defesa. Números similares são observados para o *North America Free Trade Agreement* (NAFTA) e para os países da Comunidade Europeia (EU). Além disso, os custos logísticos representam uma significativa parte das vendas das empresas. Ghiani (2004, p. 1). Tradução nossa.

Ghiani (2004) também apresenta uma tabela detalhando o peso dos custos logísticos (transporte, armazenagem, inventário e administrativo) para cinco setores econômicos (bebida, eletrônico, químico, automotivo, farmacêutico e jornalístico) nos países da Comunidade Europeia, conforme tabela 1.

Tabela 1- Custos Logísticos em percentual do Produto Interno Bruto nos países da Comunidade Europeia

Setor	Custo de transporte	Custo de armazenagem	Custo do inventário	Custo administrativo	Total
Bebida	3,7	2,2	2,8	1,7	10,4
Eletrônico	2,0	2,0	3,8	2,5	10,3
Químico	3,8	2,3	2,6	1,5	10,2
Automotivo	2,7	2,3	2,7	1,2	8,9
Farmacêutico	2,2	2,0	2,5	2,1	8,8
Jornalístico	4,7	3,0	3,6	2,1	13,4

Fonte: Adaptado de Ghiani (2004, p. 2). Tradução nossa.

A partir dos dados da tabela 1 é possível perceber o alto peso dos custos logísticos na economia da Comunidade Europeia. Em média eles representam 10,33 % do Produto Interno. Desses, 5,48 %, em média, ou 53,06% dos custos logísticos, são de armazenagem (2,3% em média, ou 22,25% dos custos logísticos) ou de transporte (3,18% em média, ou 30,81% dos custos logísticos).

Dias (1993, p 13) complementa afirmando que a importância dos custos logísticos dependerá dos seguintes fatores:

- 1) Característica física dos produtos;
- 2) Como as políticas administrativas da empresa consideram a logística, com relação a outras categorias de custos e objetivos;
- 3) Localização;
- 4) Dos recursos da empresa em relação as suas fontes de suprimentos e mercados; e
- 5) Do papel que a empresa pode desempenhar em um sistema logístico.

2.2 – Origens

De uma perspectiva histórica a logística é influenciada fortemente pelo avanço e desenvolvimento da estratégia militar. Em operações militares ela é fator relevante tanto para enfraquecimento do inimigo como no fortalecimento da posição em um campo de batalha.

Logística empresarial é essencialmente uma ramificação da logística militar. Então, cabe-nos a olhar para o lado militar da logística primeiro. A guerra não é apenas sobre táticas e estratégias. A guerra é muitas vezes uma questão de logística. Taylor (2009, p. 1-3). Tradução nossa.

Taylor (2009) cita as estratégias de Alexandre o Grande como exemplo do uso da logística para atingir objetivos militares. O autor comenta que ela logística foi fundamental para os planos de Alexandre, que no ponto mais distante alcançado por seu exército, na Índia, seus soldados marcharam 11.250 milhas em oito anos. Segundo ele o

uso da logística foi central para a condução da mais longa campanha militar da história e acrescenta que seu sucesso dependeu da capacidade do exército em se mover rapidamente usando relativamente poucos animais, utilizando o mar sempre que possível e em boa inteligência logística.

Outro exemplo que Taylor (2009) apresenta é o império romano. O autor cita em especial as legiões romanas, que utilizaram largamente técnicas de transporte já disseminadas à época, como grandes comboios de abastecimento. Segundo ele um fator importante para ajudar a logística romana na expansão do seu domínio militar foi a grande infraestrutura montada.

As legiões romanas utilizaram técnicas muito semelhantes aos velhos métodos (comboios de abastecimento grandes, etc.), no entanto, alguns usavam as técnicas desenvolvidas por Philip e Alexander, mais notavelmente o cônsul romano Marius. A logística dos romanos foi ajudada, é claro, pela excelente infraestrutura, incluindo as estradas que construíram conforme eles expandiram seu império. . Taylor (2009, p. 1-4).

De uma perspectiva empresarial Ballou (1993) afirma que até 1950 a logística permaneceu com pouca alteração, sendo que suas atividades continuavam dispersas dentro das outras áreas. O setor de transporte normalmente estava junto do setor produtivo. Os estoques estavam no setor de marketing, finanças ou mesmo de produção. E a área de processamento de pedidos era de responsabilidade das finanças ou vendas.

Faria (2011), por sua vez, reforça essa falta de desenvolvimento nos conceitos logísticos afirmando que até 1950 o foco da maioria das empresas estava nas atividades de marketing. O autor, assim como Ballou(1993), afirma que as funções logísticas estavam dispersas entre os diversos departamentos das empresas. Segundo ele os custos logísticos não eram nitidamente evidenciados e eram registrados contabilmente em outras áreas, como na área comercial, enquanto relacionados à distribuição, ou na área de produção, enquanto relacionados ao abastecimento e suporte à manufatura.

Bowersox (2008) também concorda Ballou (1993) e Faria (2011). Para ele antes da década de 1950 a logística se encontrava dentro das organizações de forma dispersa, acrescentando que as empresas executavam a atividade logística de maneira puramente funcional. O autor também comenta que não existia até essa década nenhum conceito ou uma teoria formal da hoje bastante difundida “logística integrada”.

Segundo Bowersox (2008), a pressão por aumento nos lucros além do desenvolvimento das aplicações computacionais tornaram possível a transformação na prática logística. Além disso, o autor afirma que um dos obstáculos para o desenvolvimento do conceito integrado da logística era a percepção por parte dos administradores do real custo dos estoques.

Os problemas de quantificação resultaram, em parte, da dificuldade de a administração entender o real custo do estoque. Em face dos procedimentos formais da contabilidade, era difícil estimar o retorno financeiro obtido a partir da redução do investimento em estoque ou quantificar o valor de um melhor serviço ao cliente. Bowersox (2008, p. 27)

Faria (2011) acrescenta que a partir das décadas de 1960 o estudo da logística passou a considerar mais fortemente os custos totais. Nesse período ocorreu a introdução na prática dentro das empresas do conceito de balanceamento de custo.

O conceito de balanceamento de custos logísticos, especificamente, entre os custos de transporte e armazenagem/movimentação levou à percepção de que existe uma estreita inter-relação entre todos os custos. Farias (2011, p. 18).

Atualmente, segundo Farias (2011), a preocupação da logística está em se integrar externamente, ou seja, entre os elos da cadeia de suprimentos. A autora destaca as seguintes áreas da logística:

- Grande desenvolvimento dos sistemas de informação;
- Conceito de Gestão da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Management – SGM*);
- Logística Reversa;
- Sistemas de coleta, tratamento e materiais para reciclagem;
- Intercâmbio de informações entre parceiros da mesma cadeia; e
- A Logística verde.

2.3 - O sistema de Transporte

Além de ser fundamental para as cadeias de suprimentos e distribuição, o transporte corresponde a uma parcela significativa dos custos logísticos. Um bom planejamento dos modais de transporte pode reduzir custos, melhorar a qualidade dos produtos e aumentar o nível de serviço. Podendo, desse modo, melhorar a posição estratégica da empresa. Um sistema de transporte eficaz tem o potencial de melhorar a competitividade dos produtos nacionais no mercado externo.

Ballou (2004) afirma que é possível identificar o desenvolvimento de uma nação por intermédio do seu sistema de transporte. A melhoria desse serviço pode mudar toda uma economia tornando-a mais competitiva e mais próxima das nações mais desenvolvidas. Mais detalhadamente o autor afirma que “Um sistema de transporte eficiente e barato contribui para intensificar a competitividade no mercado, aumentar as economias de escala na produção e reduzir os preços dos produtos em geral” (BALLOU, 2004, p. 149).

Os chamados modais, ou modos, de transporte são divididos em cinco tipos básicos, cada um com suas características específicas, custos e restrições.

- Ferroviário;
- Rodoviário;

- Aéreo;
- Aquaviário; e
- Dutoviário.

É possível também a utilização de mais de um modo de transporte. Esse tipo de serviço é chamado de transporte intermodal, ou multimodal.

O Ministério dos transportes (BRASIL, 2007, p. 70) apresentar no Plano Nacional de Logística de Transporte (PNLT) a distribuição modal da matriz brasileira de transportes regionais de cargas para o ano de 2007, conforme tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Distribuição da matriz de transporte brasileira para o ano de 2007

	%
Rodoviário	58%
Ferroviário	25%
Aquaviário	13 %
Dutoviário	3,6%
Aéreo	0,4%

Fonte: adaptado de Brasil (2007, p.70)

Conforme tabela 2, a grande participação do modal rodoviário (58%) no Brasil é evidente. Como será discutido, este tipo de modal para muitas carga, é mais oneroso, mais poluente e menos eficiente que o transporte aquaviário e ou ferroviário, o que de certa forma, pode ser considerado uma das deficiências da nossa estrutura de transporte.

Bertaglia (2006) ressalta essa situação afirmando que a distribuição dos diferentes modais de transporte no Brasil não apresenta equilíbrio. Mais especificamente o autor comenta que existe uma participação muito grande do modal rodoviário em detrimento do ferroviário.

Apesar disso, é possível afirmar que a participação do transporte rodoviário no Brasil vem diminuindo nos últimos anos. Para o ano de 2011, tomando como referência o PNL (BRASIL, 2012, p.11), a participação do transporte rodoviário foi de 52%.

A escolha dos modais e das rotas de transporte depende de uma série de fatores. Baker (2006, p. 372) elenca os seguintes elementos em um *check-list* para a escolha do transporte, conforme quadro 1:

Quadro 1 - fatores, e um *check-list* para a escolha do modal de transporte.

Fator	<i>Check-list</i>
Rota	É uma rota direta estipulada pelo cliente? Há países por onde a carga não pode passar? Quem é responsável pelo meio do transporte? Quem está pagando os custos de frete?
Distância	Qual é a distância a ser movida? A distância restringir as opções que estão disponíveis?
Tipo de carga	É uma carga a granel ou carga geral? Existe uma determinada rota específica preferível para o tipo de carga? É carga a granel ou geral, e determinadas rotas são mais baratas? A carga têm características específicas que tornam certas rotas mais atraente? É perecível ou de alto valor? Se for carga perigosa, todas as rotas estão disponíveis?
Quantidade	É carga total? É carga parcial? É carga de pequeno tamanho? Etc.
Unidade de embarque	A unitização vai ajudar? É uma unidade de carga grande ou pequena? A containerização é viável? A grupagem uma alternativa?
Prioridade	Quanto tempo deve a mercadoria chegar ao seu destino? O 'Urgente!' realmente significa "Urgente!"? Quem paga os custos de frete para uma ordem urgente?
Valor	Quão importante é o elemento de custo de transporte? Se for de importação / exportação, como é classificada a mercadoria? Será que um modo rápido ou, caro de transporte, esse permite reduzir os custos de inventário?
Regularidade no embarque	Como que frequência essas transferências devem ser feitas? No caso de um contrato é possível negociar a regularidade?

Fonte: adaptado de Baker (2006, p. 372)

Bertaglia (2006, p. 282), por sua vez, elenca as seguintes características como relevantes para escolha do tipo de transporte:

Quadro 2- Característica relevantes para escolha do modal de transporte

Dimensão	Características
Produto	Peso, volume, valor
Mercado	Sazonal, tamanho, local, acesso
Negociação	Prazo, custos
Geografia	Produção, armazenagem, consumo, infraestrutura

Fonte: adaptado de Bertaglia (2006, p. 282)

2.3.1 – Transporte Rodoviário

O transporte rodoviário é o mais flexível dos modais de transporte, podendo inclusive fazer o transporte diretamente da origem até o destino final, também chamado “ponto-a-ponto”. Todavia, sua eficiência e custo tornam este tipo de transporte, excluindo o aéreo, mais caro que os demais. Ele é realizado através de rodovias e ruas com a utilização de caminhões e carretas.

Este tipo de transporte também é importante para fazer a conexão entre os outros modais. Uma carga transportada por via aérea, por exemplo, vai necessitar de transporte rodoviário para chegar ao seu destino final. No Brasil o grande problema desse transporte é a falta de conservação das rodovias estaduais e federais, o que torna o custo do frete mais elevado, em função das quebras, da maior necessidade de manutenção dos equipamentos e do maior consumo de combustível.

“O estado precário das rodovias no País provoca um encarecimento dos custos de transporte, mas acrescenta que as rodovias estão sendo privatizadas e que investimentos em infraestrutura com o objetivo de tornar esse meio de transporte mais competitivo estão sendo feitos a fim de reduzir o consumo de combustível e baixar os gastos com manutenção dos veículos, além de proporcionar uma maior fluidez das cargas” (Bertaglia, 2006, p. 284).

Faria (2011, p. 90) acrescenta que o transporte rodoviário é utilizado principalmente para cargas pequenas e médias em curtas e médias distâncias, principalmente no transporte do tipo “ponto-a-ponto”.

Bowersox (2008) afirma que, em comparação com o modal ferroviário, nesse tipo de transporte o custo variável por quilômetro é alto, pois é preciso um “cavalo mecânico” e um motorista para cada carreta ou composição de carretas atreladas. Segundo ele os custos fixos são baixos, principalmente por utilizarem rodovias com manutenção pública e, apesar do custo com licenças, impostos e pedágios ser grande, o custo total desse tipo de transporte é fortemente influenciado pelos custos variáveis que estão diretamente relacionados com a distância percorrida.

A segmentação desses componentes em custos fixos (que incluem despesas indiretas e veículos) e custos variáveis (que incluem motorista, combustível), pneus e reparos resulta em uma estrutura de baixos custos fixos e altos custos variáveis. Comparadas ao sistema ferroviário as transportadoras rodoviárias são mais adequadas para movimentar pequenas cargas a curtas distâncias. Bowersox (2008, p.286).

2.3.2 – Transporte Ferroviário

O transporte ferroviário, que surgiu e influenciou fortemente a revolução industrial, consegue reduzir custos de transportes terrestres para distâncias mais longas. No Brasil, todavia, principalmente em função do baixo investimento das últimas décadas neste modal, sua participação é bem menor que o desejável. Segundo Ipea(2010), o Brasil possui 28314 km de ferrovias destinadas ao transporte de carga, conforme pode ser observado na tabela 3.

Tabela 3 - Principais Ferrovias de Carga do Brasil

Ferrovia	Distância (km)
EFVM – Estrada de Ferro Vitória à Minas	905
EFC – Estrada de Ferro Carajás	892
FCA – Ferrovia Centro-Atlântica S/A	8.066
FNS – Ferrovia Norte-Sul	420
MRS – MRS Logística S/A	1.674
ALL – América Latina Logística Malha Sul S/A	7.304
ALL – América Latina Logística Malha	1.989

Paulista S/A	
ALL – América Latina Logística Malha Oeste S/A	1.945
ALL – América Latina Logística Malha Norte S/A	500
Transnordestina Logística S/A	4.207
Ferroeste	248
FTC – Ferrovia Tereza Cristina S/A	164
Total	28314

Fonte: Adaptado de IPEA (2010, p.7)

Na comparação com outros países o Brasil apresenta uma desvantagem significativa. Bertaglia (2006) comenta que em comparação com países de extensão territorial parecida com a nossa como o Canadá, os Estados Unidos ou mesmo a Rússia, o país apresenta significativa desvantagem de extensão de ferrovias.

O fator extensão das ferrovias dividida pela área dos países é um indicador importante para avaliar e comparar os níveis de investimento em ferrovias. Segundo Bertaglia (2006) o fator de 0,003 para o Brasil contra 0,025 dos Estados Unidos ou 0,019 da Índia demonstra uma distância bastante grande e acrescenta que até mesmo a Argentina, que possui extensão territorial bem menor que a do Brasil, apresenta 30% a mais de extensão em ferrovias.

Segundo Faria (2011, p. 92) este tipo de transporte é mais adequado para a locomoção de grande quantidade de carga a médias e longas distâncias. Ele normalmente é utilizado para o transporte de itens de baixo valor agregado, como produtos a granel, minérios e produtos agrícolas.

Apesar das vantagens em termos de custo de transporte terrestre, o investimento necessário para viabilização de um sistema ferroviário é muito elevado, necessitando um estudo detalhado de viabilidade econômica. Normalmente são necessários muitos anos de estudo para instalação e recuperação do capital investido.

Bowersox (2008) comenta que o transporte ferroviário por apresentar maior eficiência no transporte de grandes cargas por longas distâncias, apresenta, contrariamente ao modal rodoviário, altos custos fixos e custos variáveis relativamente baixos. O autor afirma que a principal razão para que as ferrovias continuem ocupando lugar de destaque na receita bruta e na tonelagem intermunicipal nos EUA é a sua

capacidade de transportar de maneira eficiente uma grande tonelagem por longas distâncias.

O alto investimento nas instalações ferroviárias em virtude do equipamento caro, do acesso (as ferrovias devem manter sua própria via), dos pátios de manobra e dos terminais aumenta o investimento em custos fixos. Todavia, modal ferroviário apresenta custos operacionais variáveis baixos, a substituição do vapor pelo óleo diesel e sua posterior eletrificação contribuíram para isso (BOWERSOX, 2008).

2.3.3 – Transporte Aquaviário

O modal aquaviário é um dos mais antigos e importantes meios de transporte. É o principal meio utilizado para a realização do comércio internacional. Nesse tipo de transporte normalmente o volume movimentado é bastante elevado, maior inclusive que o ferroviário, e o custo de transporte unitário são um dos mais baixos. Entretanto, para o seu funcionamento é necessário estrutura portuária compatível com o equipamento utilizado, o que exige investimentos elevados em portos e equipamento de movimentação de carga.

No Brasil a maior parte das exportações é realizada por esse tipo de transporte. Segundo Bertaglia (2006) mais de 85% das exportações são realizadas via modal aquaviário. O custo de movimentação de carga pelos portos Brasileiros, entretanto, ainda são muito elevados. Aliado a falta de eficiência e a demora em carregar e descarregar os navios nos portos diminui a competitividade dos produtos brasileiros no mercado externo. Ele acrescenta que, apesar de existir iniciativa para modernização, os portos no Brasil estão em desvantagem em relação a outros países. Segundo o autor “A falta de tecnologia avançada e a mão-de-obra não qualificada, aliadas aos problemas estruturais das instalações, levam ao aumento de custos e atrasos nas transações de exportação e importação” (BERTAGLIA, 2006, p. 287).

Nota-se também uma grande concentração da movimentação de carga em poucos portos no Brasil, 70% do peso movimentado concentram-se em cinco portos brasileiros, conforme pode ser observado na tabela 4.

Cinco portos foram responsáveis pela maior parte da movimentação total de cargas nos portos organizados. Juntos, os portos de Santos, Itaguaí, Paranaguá, Rio Grande e Itaquí movimentaram 221 milhões de toneladas, o que representa cerca de 70% da movimentação total de cargas nos portos brasileiros. ANTAQ (2012, p. 6).

Tabela 4 - Maiores portos brasileiros em movimentação de carga em 2012

Porto	%
Santos	28,7%
Itaguaí	18,1%
Paranaguá	12,8%
Rio Grande	5,4%
Itaquí	5%

Fonte: adaptado de ANTAQ (2012, p. 6)

A maioria das cargas pode ser transportada por esse tipo de transporte, embora seja mais utilizado para transporte de *commodities* a granel e contêineres. Sua principal vantagem é o transporte de grandes cargas a custos muito baixos para longas distâncias. Sua principal limitação, todavia, está na necessidade de vias navegáveis e de estrutura para atracação, carga e descarga, o que limita seu raio de utilização.

O modo aquaviário não apresenta flexibilidade de rotas e terminais e depende, portanto, de soluções com intermodalidade e de legislação pertinente ao processamento em armazéns alfandegários. Normalmente é utilizado para grandes distâncias, mas apresenta baixas velocidades. Esse modo possui algumas restrições, pois, se tratando da sua utilização do transporte para o interior, é preciso levar em consideração a existência de mares, rios, lagos e canais que sejam navegáveis. Está associado à expansão do uso de contêiner, que foi um grande evento ocorrido na Logística nos últimos anos. Faria (2011, p. 95).

Conforme Ballou (2004), o serviço de transporte aquaviário também depende das condições climáticas para a confiabilidade e disponibilidade do modal. Em especial,

em períodos de seca, como nos rios da bacia amazônica, ou de inverno, como nos países de região fria, a navegação pode se tornar inviável por este tipo de meio.

Bowersox (2008) acrescenta que o transporte aquaviário apresenta custos fixos intermediários entre o rodoviário e o ferroviário, e que as principais desvantagens do meio são sua limitação e velocidade. O autor afirma que ele é usado quando se deseja obter baixos custos de frete quando o fator tempo não é relevante.

O transporte aquaviário está situado entre as transportadoras rodoviárias e as ferroviárias em termos de custo fixo. Embora as transportadoras marítimas e fluviais devam desenvolver e manter seus próprios terminais, o direito de acesso é mantido pelo governo e resulta em custos fixos moderados quando comparados com os custos da ferrovia e da rodovia. As principais desvantagens do transporte aquaviário são a rapidez e o alcance de operação limitado. A menos que a origem e o destino da carga sejam adjacentes a uma via navegável, é necessário um transporte suplementar por via férrea ou caminhão. A capacidade que as vias marítimas e fluviais têm de transportar grandes volumes/tonelagem a um custo variável baixo faz com que esse modal de transporte seja requisitado quando se deseja obter baixas taxas de frete e quando a rapidez é questão secundária. Bowersox (2008, p. 288).

Esse tipo de limitação faz com que muitos setores industriais procurem se instalar anexos a regiões portuárias, de modo a facilitar a movimentação de carga entre os equipamentos de transporte marítimos, ou fluviais, e a fábrica, como por exemplo, os moinhos de trigo e as instalações de armazenamento e distribuição de combustível. Também comum é a instalação de polos petroquímicos e da indústria naval, com seus próprios portos e estrutura de carregamento, descarregamento e movimentação de carga.

2.3.4 – Transporte Aéreo

O transporte aéreo é o mais recente dos cinco modais, pouco mais de 100 anos de existência, e também o com o custo mais elevado. É um meio de transporte extremamente rápido, em algumas horas é possível percorrer distâncias elevadíssimas. É indicado para a movimentação de carga de alto valor agregado, principalmente pelo peso do custo do frete. Segundo Bowersox (2004) o uso desse tipo de transporte se dá quando a situação justifica o alto custo, normalmente para produtos de grande valor ou altamente perecíveis.

Ele também é utilizado quando a urgência é mais importante que o custo, como, por exemplo, o transporte de revistas ou jornais para regiões distantes onde a obsolescência é muito rápida. Na verdade, sua grande vantagem é a rapidez, todavia, é necessário avaliar também os tempos de coleta e entrega.

...Essa velocidade, porém, não é diretamente comparável com a dos outros modais, pois os tempos de coleta e entrega, e também de manobras em terra, não estão inclusos. Todos esses elementos precisam ser combinados para representar o tempo porta-a-porta do transporte aéreo. Como o manuseio e movimento terrestre são os elementos mais lentos do tempo de entrega total porta-a-porta, é possível reduzir a tal ponto o tempo de geral de entrega que uma efficientíssima operação rodoviária ou ferroviária chegue a equiparar-se ao tempo do transporte aéreo. Claro que tudo isso varia caso a caso. Ballou (2004, p. 155).

Em função de suas características operacionais o transporte aéreo é restritivo para cargas com alto grau de perigo, como explosivos, material radioativo ou mesmo alguns produtos químicos. Todavia, segundo Ballou (2004) o modal leva vantagem quanto a perdas e roubos, menores no transporte aéreo, também necessita menor proteção em termos de embalagem.

Segundo Bowersox (2008) o modal aéreo, em função do custo elevado, pode ser restritivo para muitas cargas, todavia esse custo pode ser compensado pela rapidez e

confiabilidade, na medida em que esses fatores permitem reduzir outros elementos do custo logístico, como por exemplo, os de armazenagem ou de estoque.

Esse tipo de transporte possui custos fixos baixos e variáveis altos, conforme descrito por Bowersox (2004, p. 289).

O custo fixo do transporte aéreo é baixo se comparado ao dos transportes ferroviário, aquaviário e dutoviário. Na verdade, o transporte aéreo ocupa segundo lugar no que diz respeito a baixo custo fixo, perdendo apenas para o transporte rodoviário. Por outro lado, o custo variável do frete aéreo é extremamente alto em decorrência dos custos de combustível, manutenção e mão-de-obra intensa, representada pelo pessoal de bordo e terra. Bowersox (2004, p. 289).

Para o seu funcionamento é necessário toda uma estrutura de aeroporto, pista, pátio de manobra e armazéns o que pode ser impeditivo para algumas regiões. Também existe um impeditivo em relação ao tamanho da carga, que deve ser adequada às dimensões do equipamento, e do volume de transporte, relativamente pequeno, quando comparado com os modais ferroviário ou aquaviário.

O transporte aéreo é um meio de transporte de mercadorias que tenham natureza sensível ao tempo ou alto valor associado. Devido ao elevado custo deste modo e a capacidade relativamente limitada por veículo (quando comparados com as opções de transporte ferroviário ou aquaviário). É utilizada quando se tem volumes baixos em comparação com outras opções de transporte, embora possua a confiabilidade mais elevada entre os modos de transporte. Taylor (2009, p.10-6). Tradução nossa.

A partir de um estudo financiado pelo BNDES/FEP, McKinsey (2010, p. 17) apresenta os principais desafios do setor aéreo nos próximos anos:

Quadro 3- Principais desafios do modal aéreo para os próximos 20 anos no Brasil

Dimensão	Principais desafios
Infraestrutura	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resolver gargalos críticos de curto prazo (13 dos 20 principais aeroportos) ▪ Construir capacidade para atender demanda natural até2014/16 (desafio superior ao de Copa e Olimpíadas) ▪ Possibilitar crescimento do setor até2030 (~3xdemanda atual) ▪ Garantir requisitos mínimos de conveniência para passageiro
Administração aeroportuária	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Viabilizar execução de obras, superando dificuldades experimentadas pela Infraero ▪ Aumentar utilização dos aeroportos como ativos e sua eficiência operacional
Serviços aéreos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Evitar possível aumento de preços nos próximos anos dado a limitação de capacidade ▪ Atender regiões remotas do País (economicamente inviáveis)
Governança	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aviação civil não deveria ser foco do Ministério da Defesa ▪ Não existe órgão planejador do sistema ▪ Controle de tráfego aéreo e aviação civil não operam de forma otimizada

Fonte: adaptado de McKinsey (2010, p. 17)

2.3.5 – Transporte Dutoviário

O transporte por meio de dutos é bastante diferente dos outros quatro modais. Neste caso o que se move não é equipamento, no caso os dutos, e sim o produto a ser transportado. Ele pode funcionar durante as 24 horas do dia durante todos os dias do ano. A rede de abastecimento de água, ou a rede de esgoto, das cidades, são exemplos de transporte dutoviário.

Bowersox (2004) comenta que esse tipo de transporte é o que apresenta o maior custo fixo e o menor custo variável. O custo fixo elevado se deve ao direito de acesso, ao investimento na construção dos dutos e estrutura de bombeamento. Segundo o autor os custos variáveis baixos ocorrem por conta da baixa necessidade de mão-de-obra. Ballou (2004), por sua vez, acrescenta que para ser competitivo o modal dutoviário deve trabalhar com altos volumes transportados de forma que os custos fixos elevados sejam rateados por uma maior quantidade, diminuindo assim os custos unitários de transporte.

Normalmente a movimentação se dá pela diferença de cota (altura), ou energia potencial, de forma que o transporte ocorra por gravidade. Em alguns pontos,

dependendo da distância a serem movidas, é necessário elevar novamente a carga para que possa percorrer mais alguma distância. Esses pontos são chamados de estações elevatórias. Também é possível, em alguns casos, que o transporte ocorra por diferença de pressão, ou mesmo com a utilização de fusos, como no caso do transporte de grãos.

O transporte dutoviário é limitado principalmente a produtos a granel, como combustíveis, líquidos de uma maneira geral, gases e até mesmo alguns produtos minerais. Ele é bastante utilizado na indústria do petróleo para o transporte de combustíveis, gases e petróleo bruto.

Uma desvantagem óbvia é que os dutos não são flexíveis e são limitados quanto aos produtos que podem transportar: transportam somente produtos na forma de gás, líquida ou de mistura semifluida. Bowersox (2004, p. 289).

Avaliando todos os modais de transporte quanto às características de Velocidade, Disponibilidade, Confiabilidade, Capacidade e Frequência, conforme metodologia de Bowersox (2004, p. 291), tem-se o seguinte quadro.

Quadro 4 - Classificação das características operacionais relativas por modal de transporte *

Características operacionais	Ferroviário	Rodoviário	Aquaviário	Dutoviário	Aéreo
Velocidade	3	2	4	5	1
Disponibilidade	2	1	4	5	3
Confiabilidade	3	2	4	1	5
Capacidade	2	3	1	5	4
Frequência	4	2	5	1	3

* A menor pontuação indica a melhor classificação

Fonte: adaptado de Bowersox (2004, p. 291)

No que se refere a velocidade de deslocamento o melhor modal, sem dúvida alguma, é o aéreo. Em termos de disponibilidade a melhor indicação é rodoviária, sendo o segundo melhor o modal ferroviário. Quanto à confiança o modal dutoviário é o mais estável de todos, é o que também apresenta melhor desempenho em termos de

frequência de embarques, que nesse caso é contínuo. Em termos de capacidade de carga o modo aquaviário, em especial o marítimo, com seus navios de grande porte, é o que obteve melhor desempenho.

Apesar da análise de acima ser bastante lógica, percebe-se que em alguns casos não possível avaliar de maneira correta a pontuação atribuída. Como por exemplo, a pior nota de confiabilidade para o modal aéreo (nota cinco), não é possível que o modal aéreo seja menos confiável que os modais rodoviário, aquaviário ou ferroviário. Conseqüentemente, é possível questionar esta classificação dada para a confiabilidade do transporte aéreo.

2.3.6 – Escolha do modal de suprimentos

Para Baker (2006, p. 362) quatro fatores devem ser avaliados para a escolha de um modal de transporte: fatores operacionais, de característica do modal, de rota e de custo e serviço.

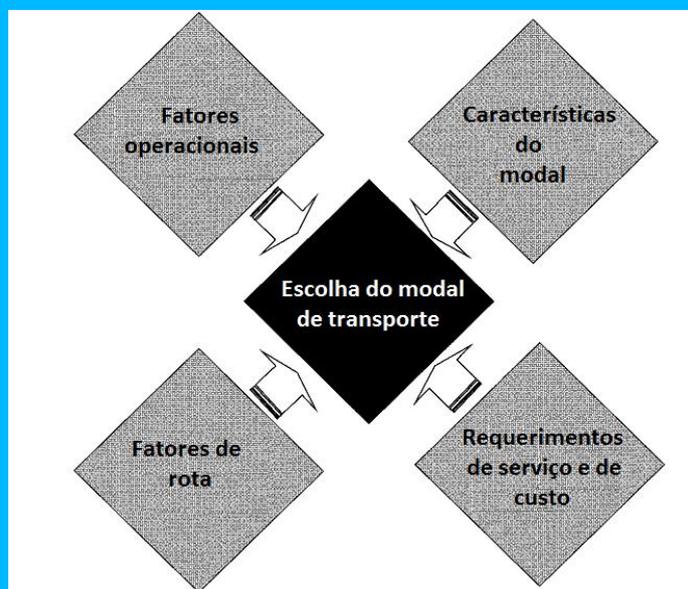


Figura 2 – Fatores para escolha do modal de transporte
Fonte: adaptado de Baker (2006, p/ 362). Tradução nossa.

Alguns tipos de insumos precisam ser movimentados mais rapidamente que outros. Produtos perecíveis vindos de longa distância precisam ser movimentados com *lead-time* menor, em virtude da diminuição do tempo de vida e da deterioração.

Alguns tipos de transporte são adequados para transportar certos produtos. A importação de automóveis e de commodities, por exemplo, não é adequada para ser feita por via aérea em virtude do custo e da característica do modal.

Redes dutoviárias, por sua vez, são montadas para o transporte de líquidos e gases, sendo projetada especificamente para o produto transportado, a rede de água não pode transportar esgoto, gases ou mesmo combustíveis.

Baker (2006) também fornece outro indicativo quando descreve as características do modal aéreo e elenca como uma das vantagens do uso deste tipo de transporte a economia de *lead-time*.

Uma vantagem particular é conhecida como economias de *lead-time*. A capacidade de mover bens muito rapidamente por longas distâncias significa que é desnecessário manter estoque destes itens nos países em questão (peças de reposição, etc.) O prazo de *lead-time* curto, entre a ordenação e recebimento de mercadorias, e a economia resultante em manter estoques menores, dá a este benefício seu nome economias de *lead-time*. Baker (2006, p. 370). Tradução nossa.

O modal aéreo, apesar de possuir custos de transportes maiores, pode se tornar mais competitivo caso a economia e vantagem competitiva gerada por um menor tempo de chegada dos insumos, chamada de economia de *lead-time*, suplantem seus custos totais. Neste caso é possível confrontar o senso comum de que o custo de transporte mais barato deverá ser priorizado.

O autor também argumenta que as economias de custo são um importante fator para a escolha do modal. Ele comenta que o transporte aquaviário, em função dessas economias, é bastante competitivo para produtos a granel e grandes volumes de movimentação. Segundo ele “Quando a velocidade do serviço é completamente sem

importância, então o barateamento pelo frete marítimo o torna muito competitivo” (Baker, 2006, p. 367) tradução nossa.

Notam-se aí vários dos aspectos, e custos, que deve ser levados em conta, não somente os custos de transporte, quando da escolha de um canal de suprimento. É possível citar como relevantes o tempo de deslocamento, o custos de transporte, a capacidade do modal, a perecibilidade do produto, a urgência no recebimento, os custos de manutenção de estoque, o tamanho do lote de compras e os custos relativos ao pedido.

2.4 – Gestão da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Management*)

A entrega de produtos para o mercado necessariamente passa por atividades, e processos, que são desenvolvidos em muitos casos em mais de uma operação produtiva. Para que os consumidores sejam abastecidos com combustíveis, por exemplo, é necessária pelo menos uma operação de extração, duas de transporte, uma de refino e uma de comercialização. A visão individual de cada etapa do processo não proporcional uma real identificação dos problemas e possíveis melhorias de qualidade, custo e segurança.

A partir desse ponto de vista surge o conceito de cadeia de suprimentos, do termo em inglês *Supply Chain*. A ideia é que por intermédio da cooperação e coordenação integrada das diversas etapas do processo de suprimentos todos os elos da cadeia saiam beneficiados. Bertaglia (2006, p.4) define cadeia de suprimentos da seguinte forma:

A cadeia de abastecimento corresponde ao conjunto de processos requeridos para obter materiais, agregar-lhes valor de acordo com a concepção dos clientes e consumidores e disponibilizar os produtos para o lugar (onde) e para a data (quando) que os clientes e consumidores os desejarem. Bertaglia (2006, p.4).

Martins (2006), bem como Borwersox (2004), chama o gerenciamento da cadeia de suprimentos de logística integrada. Martins a define como:

O gerenciamento da cadeia de suprimentos, ou *supply chain management*, nada mais é do que administrar o sistema de logística integrada da empresa, ou seja, o uso de tecnologias avançadas, entre elas gerenciamento de informação e pesquisa operacional, para planejar e controlar uma rede complexa de fatores visando produzir e distribuir produtos e serviços para satisfazer o cliente. Martins (2006, p. 378).

Slack (2002) comenta que a gestão da cadeia de suprimentos visa dois objetivos-chaves: a satisfação do consumidor e a eficiência. O autor também comenta que os ganhos podem ser obtidos na administração da cadeia de operações de forma integrada. Ele a define da seguinte forma:

A gestão da cadeia de suprimentos é a gestão da interconexão das empresas que se relacionam por meio de ligações à montante à justante entre os diferentes processos, que produzem valor na forma de produtos e serviços para o consumidor. É uma abordagem holística de gestão através das fronteiras das empresas. Mais especificamente, está sendo reconhecido que existem benefícios substanciais a serem ganhos ao administrar-se toda a cadeia de operações de modo que satisfaçam ao consumidor final. Esses benefícios centram-se em dois objetivos-chaves da gestão da cadeia de suprimentos: satisfazer efetivamente os consumidores e fazer isso de forma eficiente. Slack (2002, p. 415).

Arnold (1999, p.23) complementa Slack (2002), Martins (2006) e Borwersox (2004), elencando cinco fatores importantes da cadeia de suprimentos:

1. A cadeia de suprimento inclui todas as atividades e processos necessários para fornecer um produto ou serviço a um consumidor final;
2. Qualquer número de empresas pode ser ligado em uma cadeia de suprimentos;
3. Um cliente pode ser um fornecedor de outro cliente de modo que a cadeia total possua muitas relações do tipo fornecedor-cliente;
4. Embora o sistema de distribuição possa dar-se diretamente do fornecedor para o cliente, dependendo do produto e dos mercados, poderá também conter diversos intermediários (distribuidores), como atacadistas, depósitos e varejistas; e.
5. Produtos ou serviços geralmente fluem de um fornecedor para o consumidor, enquanto demanda e projeto geralmente flui de um cliente para o fornecedor. Raramente isso não acontece.

Bowersox (2008, p. 36) também concorda que a integração das operações logísticas proporciona melhores resultados que redes não integradas, o que pode vir a ser, inclusive, uma fonte de vantagem competitiva.

Quando as operações logísticas estão fortemente integradas e é considerada uma competência-chave, elas podem servir como base para obtenção de vantagens estratégicas. A convicção de que um desempenho integrado produz melhores resultados que funções gerenciadas individualmente entre si, constitui o paradigma fundamental da logística. Bowersox (2008, p. 36).

A ideia, segundo o autor, é obter a melhor coordenação em relação às seguintes dimensões:

1. Projeto de rede;
2. Informações;
3. Transporte;
4. Estoque; e
5. Armazenagem.

Martins (2006, p. 378) apresenta os seguintes objetivos das cadeias de suprimentos:

- Satisfazer rapidamente o consumidor, criando um diferencial com a concorrência; e
- Minimizar os custos financeiros, pelo uso de menos capital de giro e custos operacionais, diminuindo desperdício e evitando ao máximo atividades que não agregam valor ao produto, tais como esperas, armazenamento, transportes e controles.

Uma avaliação entre da relação entre as dimensões de tempo, planejamento e operações da cadeia de suprimentos é feita também por Martins (2006) conforme figura 3 abaixo:

	comprar	Fazer	Mover	Armazenar	Vender	
Estratégico	Análise das decisões sobre a cadeia de suprimentos					Anos
Tático	Planejamento da produção, demanda e	Otimização	Planejamento do transporte entre	Otimização dos transportes	Intinerário da rota	Semanas / meses
Operacional	ERP (sistema de gestão operacional)		Gerenciamento da distribuição		Gerenciamento do sistema de transporte	Dias/ semanas
Transacional						Minutos / horas

Figura 3- dimensões de planejamento da Cadeia de Suprimentos

Fonte: adaptado de Martins (2006, p. 378)

2.5 - Os Custos Logísticos

Como elemento central na tomada de decisão logística, os custos relativos às atividades de transporte, movimentação, armazenagem, inventário e processamento em uma cadeia de suprimentos devem possuir tratamento diferenciado de forma a manter e desenvolver vantagens competitivas.

Para o perfeito entendimento do que seja custo é necessário diferenciá-lo das despesas. Tanto as despesas quanto os custos são ditos gastos, também chamados de “sacrifícios financeiros”, ou seja, são recursos financeiros desembolsados pela organização para algum fim específico.

Os custos são gastos relativos às atividades produtivas, são tudo que possa ser associado diretamente com a área produtiva ou de prestação de serviço. As despesas, por sua vez, são desembolsos feitos para se obter receitas, são todos os gastos não relacionados diretamente com o processo produtivo. Como por exemplo, as despesas administrativas ou de marketing. Mais detalhadamente Faria (2011, p. 70) apresenta a seguinte classificação dos custos logísticos quanto à finalidade da informação:

Quadro 5 - Classificação dos custos logísticos quanto à finalidade da informação

Finalidade da Informação	Classificação dos custos logísticos
Quanto ao relacionamento com o objeto	Diretos e indiretos
Quanto ao comportamento diante do volume de atividade	Variáveis e fixos
Quanto ao relacionamento com o processo	Controláveis e Não controláveis

de gestão	Custos de oportunidade Custos relevantes Custos irrecuperáveis Custos incrementais ou diferenciais Custos ocultos (<i>Hidden Costs</i>) Custo-padrão Custo-meta Custo Kaizen Custo do ciclo de vida
-----------	---

Fonte: Faria (2011, p. 70)

2.5.1 - Custos diretos e indiretos

Os custos diretos são aqueles onde é possível encontrar e alocar diretamente a cada produto produzido ou processo realizado. No caso de uma indústria, por exemplo, os custos de matérias-primas e embalagens são custos diretos. Em uma operação de transporte rodoviário, por sua vez, os custos de combustível e motorista são custos diretos. Bowersox define custos diretos da seguinte forma:

Custos diretos são aqueles especificamente incorridos no desempenho do trabalho logístico. Não são custos difíceis de identificar. Os custos diretos de transporte, armazenagem, manuseio de materiais e de alguns aspectos de estoque e do processamento de pedidos podem ser obtidos por meio de contas de custo tradicionais. Bowersox (2008, p. 542).

Já os custos indiretos são aqueles que para sua alocação aos produtos ou serviços é necessário um processo de rateio, no caso do sistema de custeio por absorção, ou de direcionadores de custo, no caso de um sistema ABC de custeio.

Os custos de armazenagem, por exemplo, são custos indiretos, que precisam de critérios de rateio para encontrar sua participação nos produtos. Faria(2011) define custo indireto da seguinte forma: “Custos indiretos são aqueles que não se podem apropriar diretamente a cada tipo de objeto, no momento de sua ocorrência, por não estar em diretamente relacionados ao mesmo” (FARIA, 2011, p.71). Em virtude da necessidade

de rateios, este tipo de custo é mais difícil de alocar, além de ser menos preciso em sua análise.

2.5.2 - Custos fixos e variáveis

A separação dos custos fixos e variáveis é de grande importância para a logística, pois permite avaliar os efeitos dos custos logísticos nas atividades operacionais. “Essa é a separação de custo mais útil para identificar as implicações dos custos logísticos nas alternativas práticas operacionais” (BOWERSOX, 2008, p. 542).

Os custos que variam diretamente com o volume de serviços logísticos são considerados variáveis e os que não variam proporcionalmente com o volume devem ser considerados como custos fixos. Os custos de combustíveis em uma operação de transporte, por exemplo, são considerados custos variáveis, pois variam com a quantidade de serviços logísticos de maneira direta.

Bowersox (2008) apresenta como exemplo de custos fixos e variáveis os custos de um caminhão para entregas. Segundo o autor, o custo de aquisição do caminhão é custo fixo, pois independente de fazer mil entregas ou nenhuma entrega a empresa vai incorrer nesse custo. Já o combustível usado para operar o caminhão é variável, pois se ele não fizer nenhuma entrega esse custo vai ser zero. Por outro lado, se ele fizer mil entregas o gasto com combustível será proporcional ao número de entregas, sendo, portanto, custo variável.

Faria (2011, p. 71) define da seguinte forma os custos fixos e variáveis:

Custos Fixos: são os custos estruturais que ocorrem período após período, sem alteração, ou cujas alterações não se verificam como consequência da variação no volume de atividade em iguais períodos.

Custos Variáveis: são custos que variam em função do volume de atividade.

Também é possível identificar alguns custos como tendo uma parcela variável e outra parcela fixa. São os chamados custos semivariáveis ou semifixos, que segundo Faria “são custos que tem uma parcela variável e outra fixa. Por exemplo, um vendedor que recebe um salário fixo e mais comissão sobre vendas, que é variável” (FARIA, 2011, p. 72).

2.5.3 - Custos relacionamento com o processo de gestão

Faria (2011, p. 72) apresenta os seguintes custos relevantes para o processo decisivo em uma operação logística.

Quadro 6 - Custos relacionamento com o processo de gestão

Custo	Definição
Controláveis e Não controláveis	O custo controlável é aquele que é influenciável pela decisão e ação de gestor e pode ser identificado ao objeto ou rastreado em determinado processo/atividade. O custo não controlável não pode ser influenciado pela decisão de um gestor.
Custos de oportunidade	É um tipo de custo imputado, um custo de capital, que não é registrado contabilmente (nos livros contábeis tradicionais) e não implica em desembolso de caixa, pois tem natureza econômica, mas deve ser contemplado em relatórios gerenciais.
Custos relevantes	São custos futuros, que diferem entre as diversas alternativas. Para ser relevante um custo não deve ser apenas um custo futuro, mas, também, precisa ser diferente de uma alternativa para outra.
Custos irrecuperáveis	São custos incorridos no passado e que não são relevantes para decisões no presente, pois não se alteram em função das decisões.
Custos incrementais ou diferenciais	Custo extra, associado a uma unidade adicional.
Custos ocultos (<i>Hidden Costs</i>)	São custos que não são visíveis aos gestores, mas que afetam o resultado econômico da empresa, pois ocorrem em condições anormais de operação, associados ao conceito de perdas, tais como falhas e desperdícios no processo logístico.
Custo-padrão	Custo “elaborado”, que contempla aspectos físicos, e monetários, em que são considerados, dentro da normalidade, os materiais, mão-de-obra, equipamentos e outros custos, aplicados ao produto/serviço ou à atividade. É o custo que se deseja alcançar, em termos físicos e monetários, se tudo correr de acordo com o normal da atividade.
Custo-meta ou alvo (<i>target cost</i>)	É aquele em que, a partir do preço de mercado do produto/serviço e tendo definida a margem de lucro desejada, a diferença é o custo-meta.
Custo Kaizen	Está relacionado à melhoria contínua dos processos, visando à redução constante dos custos em todas as fases do ciclo de vida de uma produto/serviço. O custo Kaizen é similar ao custo-meta em sua missão de reduzir custo, exceto que enfoca a redução dos custos durante as outras fases do ciclo de vida, além do desenvolvimento.
Custo do ciclo de vida	O custeio do ciclo de vida é um sistema que fornece informação para que sejam entendidos e gerenciados os custos existentes nos vários estágios ou ciclos de projetos, desenvolvimento, fabricação,

	comercialização, distribuição, manutenção, serviços, até a entrega do produto.
--	--

Fonte: adaptado de Faria (2011, p. 72)

Outra maneira de diferenciar os tipos de custo é quanto a sua relação com a quantidade comprada, e, portanto, ao estoque médio, ou quanto ao número de pedidos. Este tipo de abordagem, ou diferenciação, é utilizado no modelo do Lote Econômico de Compras, que será detalhado mais a frente do presente trabalho.

2.6 – Os estoques

2.6.1 – Importância

Os estoques são essenciais para a maioria das operações, em atividades produtivas são elementos chave para a vantagem competitiva. Em fábricas, por exemplo, a falta ou excesso de estoque pode comprometer toda a programação de produção e aumentar os custos totais incorridos no processo.

Martins (2006) comenta que todas as empresas procuram obter vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes e que a gestão de estoques pode facilitar isso com o atendimento dos clientes com produtos, e estoques, na quantidade desejada e no tempo correto. Bowersox (2008, p. 223), por sua vez, detalha da seguinte forma a importância e o efeito dos estoques em excesso ou em falta:

Sem um estoque adequado, a atividade de marketing poderá detectar perdas de vendas e declínio da satisfação dos clientes. Por outro lado, o planejamento de estoque também tem papel crítico para a produção. Falta de matérias-primas podem parar linhas de produção ou alterar programações da produção o que, por sua vez, aumenta os custos e a possibilidade de falta de produto acabado. Além da falta, que pode prejudicar tanto o planejamento de marketing quanto as operações de produção, o estoque excessivo também gera problemas: aumenta custos e reduz a lucratividade, em razão de armazenagem mais longa, imobilização de capital de giro, deterioração, custos de seguro e obsolescência. Bowersox (2008, p. 223)

Segundo Ballou (2004) os custos de manutenção dos estoques podem representar entre 20 a 40% do seu valor por ano e que, apesar dos avanços nas técnicas de gestão de estoque, o investimento anual em estoques nos Estados Unidos da América (EUA) representou cerca de 10% do Produto Interno Bruto no ano de 2001. O autor acrescenta ainda que “administrar cuidadosamente o nível dos estoques é economicamente sensato” (BALLOU, 2004, p.271).

O investimento em estoque deve ser, portanto, avaliado de forma a minimizar os custos totais relativos a esses ativos, bem como, minimizar as perdas com paradas de produções ou ao não atendimento dos clientes da empresa no que se refere à quantidade encomendada e prazo de entrega combinado.

Outro fator relevante para manutenção de estoques menores é a obsolescência, em especial para produtos onde o ciclo de vida é curto. O setor de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), por exemplo, é um dos mais dinâmicos da economia, com muitos lançamentos ao longo de um exercício financeiro. Muitos produtos desse setor possuem nível de obsolescência muito rápido, como os telefones celulares. Uma empresa que produza, distribua ou revenda esse tipo de produto deve avaliar muito detalhadamente o nível de estoque de componentes e produtos acabados, de forma que a substituição tecnológica do setor não afete seus custos com itens obsoletos.

Na prática, o preço de venda desse tipo de produto, apesar da inflação, costuma tender a diminuir, na medida em que os ganhos de escala ocorrem e são repassados para os consumidores. Configurando-se desse modo em mais um agravante na manutenção de estoques elevados.

O nível de estocagem adequado depende, por conseguinte, da avaliação de uma série de fatores, entre os quais é possível citar os custos e o nível de serviço, que serão detalhados mais a frente na tese, a obsolescência, a característica do produto e dos canais de suprimentos, os espaços para armazenagem, a periculosidade e deteriorabilidade, entre tantos. Ballou (2004) elenca da seguinte forma as razões a favor e contra os estoques:

Quadro 7- Razões a favor e contra os estoques

Razões a favor dos estoques	Razões contra dos estoques
<ul style="list-style-type: none"> Melhorar o serviço aos clientes: a disponibilidade de estoques melhora a satisfação das expectativas dos clientes quanto à dimensão disponibilidade e de produtos 	<ul style="list-style-type: none"> Os críticos consideram os estoques como desperdício, pois absorvem capitais que poderiam ser aplicados em aumento da produtividade e competitividade.
<ul style="list-style-type: none"> Redução de custos de produção: Mantendo-se estoques mais elevados o nível de parada de produção. 	<ul style="list-style-type: none"> Os estoques não com qualquer valor direto para os produtos da empresa.
<ul style="list-style-type: none"> É possível obter vantagens da economia de escala, tanto em termos de produção como o transporte. Preços de compras e de transporte mais baixos em função de compras em maior volume. 	<ul style="list-style-type: none"> Os estoques às vezes acabam desviando a atenção da existência de problemas de qualidade.
<ul style="list-style-type: none"> Redução das inconstâncias nos prazos necessários à produção e transporte de mercadorias ao longo do canal de suprimentos. Minimizando os efeitos de choques não planejados, tais como: greves, desastres naturais, aumentos imprevistos na demanda, atrasos no abastecimento, ou qualquer outro evento inesperado que venha a afetar a demanda, os prazos ou o fornecimento. 	<ul style="list-style-type: none"> A utilização dos estoques promove um isolamento sobre a gestão global do canal de suprimento.

Fonte: adaptado de Ballou (2004, p. 272)

Os estoques podem ser avaliados, planejados e controlados a partir do ponto de vista restrito da organização, com seus componentes, matérias-primas, produtos em processo e produtos acabados, como também a partir de uma visão mais global da cadeia de suprimentos desde as fontes de matérias-primas (atividade primária), passando por todas as etapas da cadeia produtiva até o cliente final, conforme pode ser observado na figura 4 abaixo.

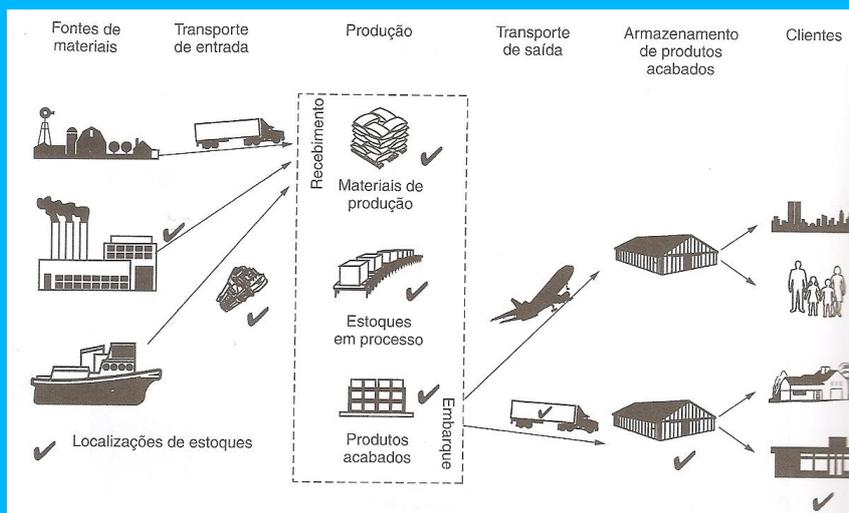


Figura 4 - Localização dos estoques na cadeia de suprimentos
 Fonte: Ballou (2004, p. 272)

2.6.2 – Objetivos

De tudo que foi visto até o momento é possível concluir que a administração dos estoques é muito importante para as empresas, e que seu processo envolve o equilíbrio entre fatores, ou variáveis, com comportamento inversamente proporcional.

Se a empresa opta por manter estoques elevados ela tende a aumentar os custos de manutenção dos estoques, também chamado de custos de carregamento, e tende, por sua vez, a diminuir os custos com vendas perdidas, aumentando o nível de atendimento dos pedidos.

Gerenciar estoques é também equilibrar a disponibilidade dos produtos, ou serviços ao consumidor, por um lado, com custos de abastecimentos que, por outro lado, são necessários para um determinado grau de disponibilidade. Ballou (2004, p. 277)

Assim sendo, serão detalhados abaixo os dois principais objetivos dos estoques: o custo e o nível de atendimento, também chamado de nível de serviço.

2.6.2.1 Objetivo Custo

Os dois principais custos associados aos estoques são o custo de pedir e o de manter os estoques, que somados constituem o custo total. Os custos de armazenagem são aqueles relacionados à quantidade estocada e ao tempo médio que os itens permanecem no estoque. Já o custo de pedir está relacionado ao número de ordens de suprimentos feito ao longo do ano. Dias (1993) apresenta os seguintes componentes dos custos de armazenagem:

Quadro 8 - principais custos de armazenagem

Modalidade	Custo
Custo de capital	Juros e depreciação
Custo com pessoal	Salários e encargos sociais
Custo com edificação	Aluguel, impostos, luz, conservação, etc..
Custo de manutenção	Deterioração, obsolescência e equipamento

Fonte: adaptado de Dias (1993, p. 45)

Os custos de armazenagem são diretamente proporcionais à quantidade de produtos estocados. Logo, quanto maior forem os estoques maiores serão também os custos de estocagem. Mais detalhadamente, a partir de Dias (1993, p. 46), é possível afirmar que os custos de armazenagem são proporcionais aos seguintes elementos:

- Quantidade de material em estoque no tempo considerado;
- Preço unitário do material;
- Taxa de armazenagem (geralmente expressa como percentual do custo dos produtos); e
- Custos de armazenagem.

As taxas de armazenagem, conforme Dias (1993), são proporcionais às seguintes taxas:

Quadro 9 - componentes da taxa de armazenagem

Taxa	Variável
Taxa de retorno de capital	Lucro e valor dos estoques
Taxa de armazenamento físico	Área ocupada pelo estoque, Custo anual do m ² de armazenamento, consumo anual e preço unitário.
Taxa de seguro	Custo anual do seguro, valor dos estoques e edifício
Taxa de transporte, manuseio e distribuição	Depreciação anual do equipamento e valor do estoque
Taxa de obsolescência	Perdas anuais por obsolescência e valor do estoque
Outras taxas	Água, luz, etc...

Fonte: Dias (1993, p. 48)

Arnold (1999, p. 274), por sua vez, apresenta como componentes do custo de estocagem os seguintes elementos:

- Custo de capital: custo associado ao dinheiro investido nos estoques, seja o custo de oportunidade, juros perdidos ou aplicação em atividade rentável, como os juros pagos pela empresa para manter o estoque;
- Custos de armazenagem: à medida que os estoques crescem os custos de armazenagem aumentam;
- Custos de risco:
 - Obsolescência: perda de valor ou uso do modelo;
 - Danos: seja no manuseio ou na estocagem;
 - Furtos e desvios: todos os estoques estão sujeitos a este tipo de custo; e
 - Deterioração: desgaste natural dos itens estocados.

Ballou (2004) acrescenta como elemento importante o custo relacionado à falta do estoque. “Os custos da falta dos estoques ocorrem quando um pedido não pode ser atendido a partir do estoque ao qual é normalmente encaminhado” (BALLOU, 2004, p. 280). O autor apresenta como custos da falta do estoque os seguintes elementos:

- Custo das vendas perdidas: ocorre quando o cliente opta, tendo em vista a falta de estoque, por cancelar o pedido. Este tipo de custo é mais relevante quando o consumidor, ou cliente, possui alternativas viáveis aos produtos da empresa; e
- Custo de pedidos atrasados: Os pedidos atrasados podem criar custos adicionais de armazenagem, manuseio e de transporte.

Dias (1993, p. 52), assim como Ballou (2004), também elenca como componentes dos custos de estoque, o custo da falta de estoque. O autor comenta quatro formas de identificar o custo da falta, também chamada ruptura de estoque:

1. Lucros cessantes, perda de lucros por cancelamento de pedidos;
2. Custo adicional, devido à necessidade de incorrem em custos em função de ter que substituir com materiais de terceiros;
3. Custos por não cumprir os prazos contratuais; e
4. Perdas por “quebra da imagem” da empresa, em benefício dos concorrentes.

Faria (2011) acrescenta que além do custo da falta a empresa também precisa avaliar o custo do excesso de estoque, e comenta que o ideal é que ocorra o equilíbrio. “O ideal é que ocorra o equilíbrio e, para isso, as empresas necessitam estabelecer um estoque de segurança (mínimo), para que não ocorram faltas, bem como coordenem seus planejamentos de vendas, produção e compras, para que não ocorram excessos” (FARIA, 2011, p 136).

O custo de pedir, ou custo de aquisição, outro elemento importante dos custos associados aos estoques, é aquele diretamente proporcional ao esforço realizado pela organização para o suprimento dos estoques. Ele está relacionado ao número de pedidos

realizados e a dificuldade para realizar cada um deles. Segundo Ballou (2004, p. 279) os elementos que podem fazer parte desse custo de aquisição são:

- O preço ou custo de fabricação segundo as quantidades pedidas;
- O custo da preparação do processo de produção;
- O custo do processamento de um pedido pelos departamentos de contabilidade e compras;
- O custo de transmissão do pedido;
- Custo do transporte do pedido; e
- O custo de qualquer manuseio ou processamento dos produtos no ponto de recepção.

Importante avaliar também que alguns dos custos de pedir variam de acordo com o tamanho do pedido e outros não, pois são fixos por pedido.

Alguns desses custos de aquisição são fixos por pedido e não variam de acordo com o tamanho do pedido. Outros, como transporte, produção e manuseio dos materiais variam de acordo com o tamanho dos pedidos. Cada um deles exige tratamento analítico ligeiramente diferente. Ballou (2004, p.279)

Slack (2002, p. 388), por sua vez, considera somente os custos de colocação de pedido, o autor inclui também o transporte dos itens e os custos de descontos no preço como custo de pedir.

2.6.2.2 Nível de Serviço

O nível de serviço, segundo objetivo dos estoques, é essencial para a sobrevivência das empresas. É mediante o atendimento das demandas dos clientes que elas conseguem se manter e crescer. Ballou (2003, p. 76) comenta que o nível de serviço pode ser um elemento promocional tão importante quanto os tradicionais fatores mercadológicos preço, propaganda, vendas personalizadas e termos de venda favorável.

O nível de serviço pode ser calculado recorrendo a divisão do número de requisições atendidas pelos pedidos pelo total de requisições efetuadas em um determinado pedido de tempo (MARTINS, 2006).

Nível de serviço ou nível de atendimento é o indicador de quão eficaz foi o estoque para atender às solicitações dos usuários. Assim, quanto mais requisições forem atendidas, nas quantidades e especificações solicitadas, tanto maior será nível de serviço. Martins (2006, p. 202)

Além disso, Ballou (2004, p. 94), acrescenta outros elementos do serviço associados com o momento em que aconteceu a concretização da transação. Segundo o autor existem fatores de qualidade, ou de nível de serviço, antes de se ocorrer a transação, durante e pós-transação, conforme detalhado abaixo:

1. Elementos antes da transação são aqueles que proporcionam um bom ambiente para prestação do serviço logístico:
 - a. Compromisso formal sobre as modalidades do serviço (tempo máximo, procedimentos quanto a devoluções, etc.);
 - b. Planos de contingência, como para greves ou desastres naturais;
 - c. Cria estruturas organizacionais para programar a política de serviço aos clientes; e
 - d. Proporcionar treinamento técnico e manuais de serviço aos compradores.

2. Elementos de transação são que resultam da entrega do produto ao cliente:
 - a. Estabelecer níveis de estoque;
 - b. Selecionar as modalidades de transporte;
 - c. Determinar os métodos de processamento de pedidos;
3. Elementos de pós-transação dão suporte ao atendimento dos pedidos:
 - a. Assegurar aos clientes a reposição de mercadorias danificadas;
 - b. Providenciar devolução de embalagens, como garrafas retornáveis ou palletes;
 - c. Gerenciar queixas e reivindicações;

Ademais, Ballou apud Lalonde (1976) apresenta como as maiores preocupações dos clientes no que se refere aos serviços logísticos a disponibilidade de produtos (preenchimento do pedido, acurácia do pedido e níveis de estocagem) e o tempo de ciclo (tempo de trânsito do pedido e tempo para composição e embarque).

Não obstante ser nítida a importância do objetivo nível de serviço na gestão de estoques, o custo para obter melhorias no indicador pode se tornar excessivo comprometendo a rentabilidade da operação. Na prática, quanto maior o nível de serviço, maiores são os custos associados aos estoques. Dessa maneira, é possível avaliar essa relação da seguinte forma:

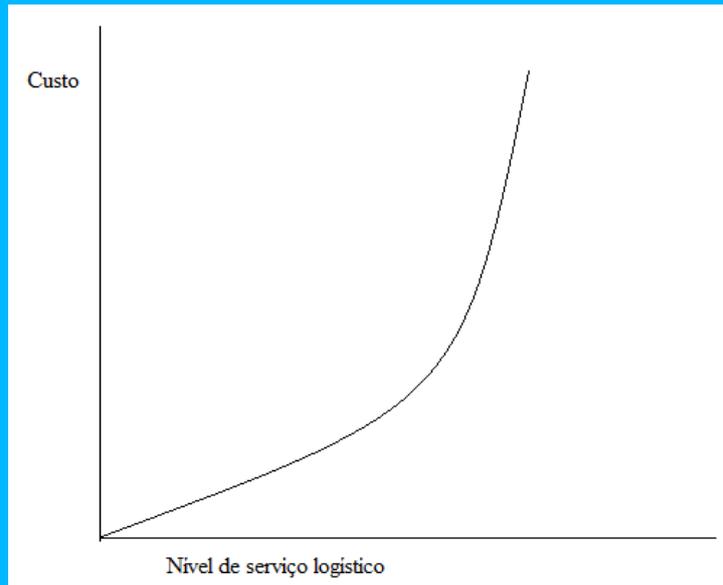


Figura 5- Relação entre nível de serviço e custo
 Fonte: elaboração própria

Por conseguinte, avaliando a relação custos logísticos x receitas x nível de serviço, conforme figura 6, é possível encontrar um ponto onde ocorre a maximização do lucro. Nem sempre esse ponto ocorre quando o nível de serviço se aproxima de 100%.

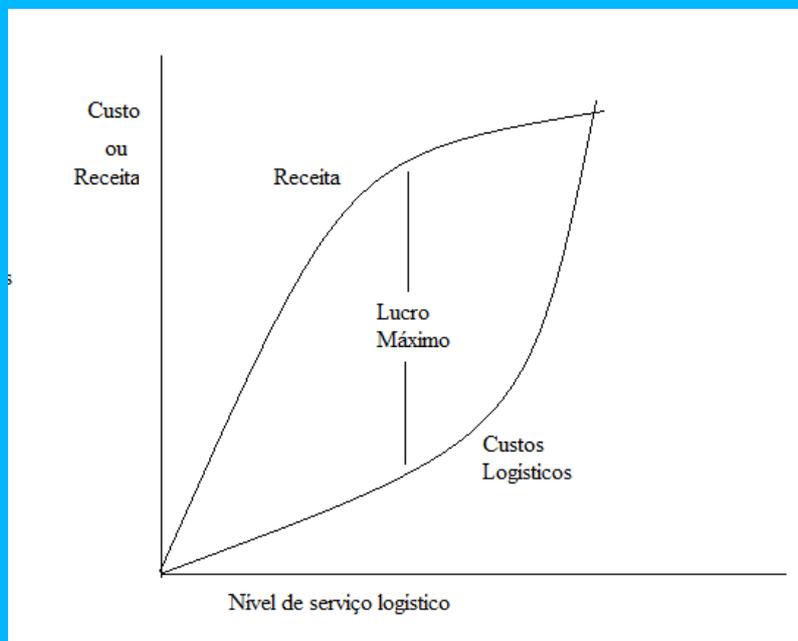


Figura 6 - Compensações gerais nos custos x receitas x nível de serviço
 Fonte: Adaptado de Ballou (2004, p. 106)

Dessa maneira, existe um nível ótimo de serviço que vai maximizar os resultados dos investimentos logísticos:

Porque há um ponto na curva de contribuição dos lucros em que o lucro é maximizado, há um nível ideal de serviço buscado no planejamento do sistema logístico. Esse ponto máximo do lucro ocorre normalmente entre os extremos dos níveis de serviço baixo e alto. Ballou (2004, p. 106).

2.6.3 Modelos de Estoque

Na medida em que os estoques são essenciais ao funcionamento dos processos, a administração das operações deve suprir as demandas de insumos e produtos acabados de forma a atingir os objetivos custo e nível de serviço. A programação da produção deve ser planejada, portanto, para equilibrar esses dois objetivos de forma a contribuir com o posicionamento estratégico da organização nos mercados onde ela atua.

Os sistemas de reposição de estoques são projetados para minimizar os efeitos negativos das altas e baixas nos níveis dos estoques, identificando a quantidade mais adequada de inventário que deve ser realizada para os diferentes produtos estocados. Baker (2006, p. 205).
Tradução nossa

Para tanto, a configuração do sistema de gerenciamento de estoque deve ser apropriada aos produtos, demandas, e estrutura do sistema logístico. Os sistemas de previsão e de planejamento, por sua vez, são essenciais para se atingir a coordenação necessária entre demanda e produção. “Todo início de estudo dos estoques está pautado na previsão do consumo do material. A previsão de consumo ou da demanda estabelece estas estimativas futuras dos produtos acabados comercializados pela empresa” (DIAS, 1993, p.32). Segundo o autor as informações básicas para as previsões de estoque são classificadas em quantitativas e qualitativas, conforme quadro abaixo:

Quadro 10 - Informações básicas para previsão de estoque

Quantitativas	Qualitativas
Evolução das vendas passadas	Opinião dos gerentes
Variáveis cuja evolução e explicação estão ligadas diretamente as vendas	Opinião dos vendedores
Variáveis de fácil previsão, relativamente ligadas às vendas (populações, renda, PNB)	Opinião dos compradores
Influência da propaganda	Pesquisa de mercado

Fonte: adaptado de Dias (1993, p. 32)

De posse das previsões de estoque o engenheiro de produção deve planejar e administrar a chegada e saída de material e produtos acabados. Para tanto, ele dispõe dos principais modelos de gerenciamento de estoque, vistos a seguir.

2.6.3.1 – O Ponto de Pedido

Na medida em que os estoques vão sendo consumidos, seja para fabricação de produtos, prestação de serviço ou atendimento de clientes, seu nível de estocagem vai diminuindo, até que em um determinado momento, se não acontecer a chegada de mais itens, ocorre a chamada “ruptura do estoque”. Ou seja, quando o estoque finaliza, quando a última unidade em estoque é consumida. Se o item em questão foi imprescindível para o funcionamento da operação, então toda a produção pode parar por falta de apenas um item.

Logo, o ideal é que não ocorra a ruptura de estoque. O engenheiro responsável pela logística da operação deve encaminhar solicitação de reposição de estoque ao setor de compras antes que ocorra a falta dos itens em estoque, atenção especial deve ser dada àqueles considerados críticos para o funcionamento da produção.

Graficamente é possível visualizar melhor os níveis de estoque através do chamado “dente de serra”, conforme figura abaixo:

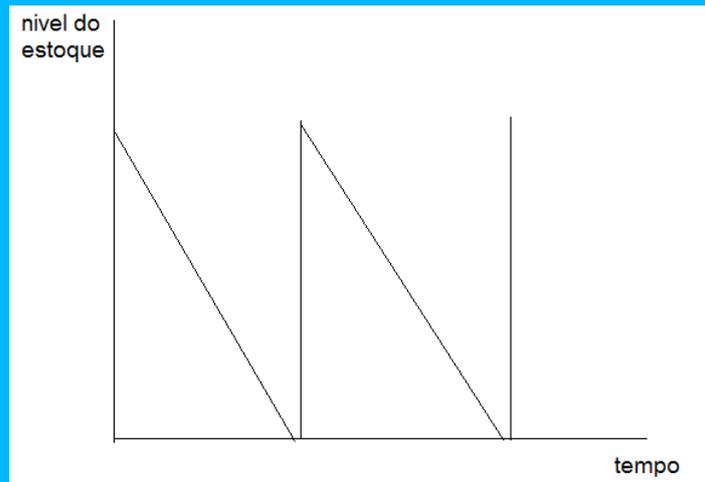


Figura 7 - Gráfico Dente de Serra
 Fonte: elaboração própria

Conforme figura abaixo é possível identificar os pontos de reposição de estoque e o nível de estoque máximo, médio e mínimo.

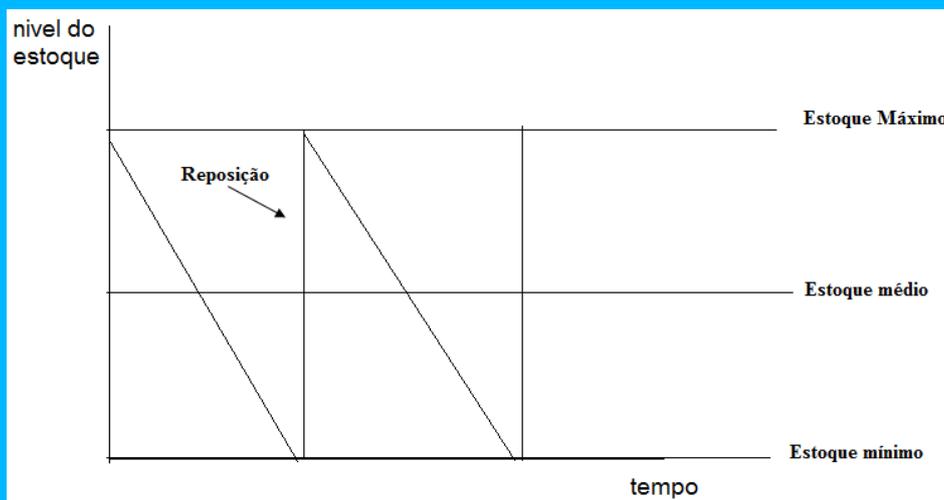


Figura 8 - Níveis de estocagem
 Fonte: elaboração própria

Para esse caso, caso não exista o estoque de segurança, se Q for a quantidade comprada, então:

$$Q = E_{\max} - E_{\min} \quad (1)$$

Onde:

E_{\max} = Estoque máximo

E_{\min} = Estoque mínimo

O estoque médio será igual à média do estoque máximo e o estoque mínimo.

$$E_{med} = \frac{E_{\max} + E_{\min}}{2} \quad (2)$$

Na medida em que nesse modelo sem estoque de segurança o estoque mínimo (E_{\min}) é igual a zero, então:

$$E_{med} = \frac{E_{\max}}{2} \quad (3)$$

Como $E_{\max} = Q$, estão:

$$E_{med} = \frac{Q}{2} \quad (4)$$

O ponto de pedido parte da premissa que a solicitação de compras deve ocorrer em um determinado nível de estocagem, de forma que a quantidade em estoque naquele momento seja suficiente para suportar a demanda durante o período necessário para o ressuprimento do item.

No sistema de ponto de pedido fixo, um nível de estoque específico é determinado, momento em que uma ordem de reposição deverá ser colocada. A mesma quantidade de produto é reordenada quando esse nível de estoque é atingido. Assim, para este sistema o momento em que a ordem é colocada é que varia. Baker (2006, p. 206). Tradução nossa.

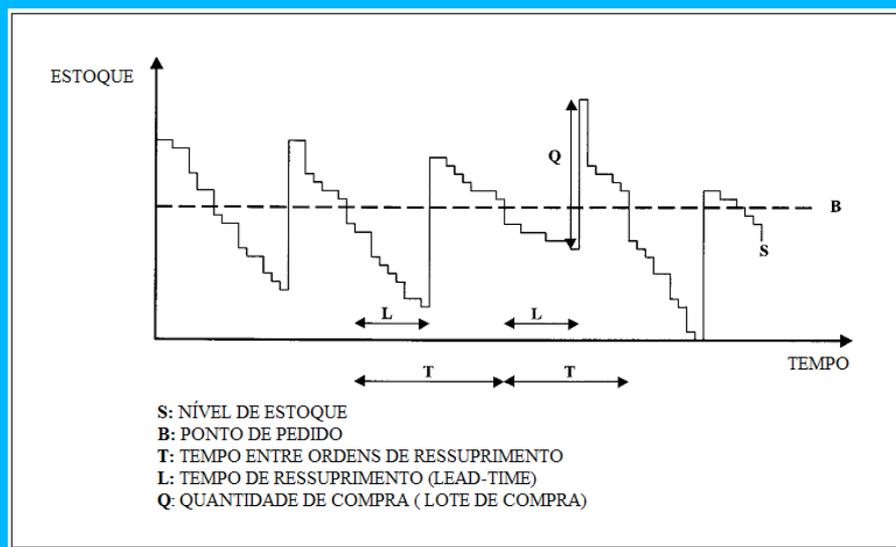


Figura 9 - Gráfico do modelo Ponto de Pedido
Fonte: adaptado de Baker (2006, p. 206). Tradução nossa.

No gráfico acima é possível avaliar os principais elementos do sistema ponto de pedido. Percebe-se que quando o estoque atinge o nível **B** de estocagem um novo processo de ressurgimento é iniciado e que leva-se o tempo **L** para ocorrer a chegada do item, esse tempo é conhecido como tempo de *lead-time*.

O modelo de revisão contínua dos estoques é encontrado sob vários nomes na literatura internacional: *continuous review model*, *reorder point policy*, $(Q, r)^1$ *model*, *fixed order quantity system*, *two-bin system*, entre outros. Esse modelo consiste em estabelecer um nível fixo de reposição (r) que, ao ser atingido, dispara a emissão de um novo pedido de tamanho (Q) pré-definido. Esse nível r também é conhecido como Ponto de Pedido (PP). ROSA et al. (2010, p. 628)

O sistema do ponto de pedido, também chamado de método de revisão contínua ou de sistema de pedidos com quantidade fixa, é um dos mais utilizados e conhecidos modelos de estoque, e está baseado na avaliação da quantidade de estoque sempre que ocorrer uma saída ou entrada no estoque com o objetivo de identificar o momento para se fazer a reposição do item (BERTAGLIA, 2006).

Numericamente o ponto de encomenda, ou ponto de pedido, deve ser aquele onde o estoque atinge a quantidade da demanda média durante o tempo de ressurgimento somado ao estoque de segurança, se for o caso.

Também devem ser avaliadas as solicitações de compra já encaminhadas anteriormente para o item em estudo, se for o caso. Em suprimentos para regiões mais isoladas, em especial quando o *lead-time* de suprimento for grande é comum ter mais de um procedimento de suprimento ocorrendo ao mesmo tempo. Nesse caso o responsável teria que somar também ao ponto de pedido a quantidade em trânsito.

Um erro bastante comum é não considerar as programações de entrega ou atrasos na determinação da posição de estoque. Portanto, a comparação com o ponto de pedido não é o estoque disponível e sim a posição do estoque, que considera as programações de entrega e os estoques em trânsito. (BERTAGLIA, 2006, P.335).

Uma das informações mais importantes para encontrar o nível de pedido é o tempo necessário para o ressurgimento, que irá influenciar diretamente quantidade consumida durante esse período. Na verdade esse tempo é o composto de vários elementos, segundo Dias (1993, p.58), ele pode ser dividido nos seguintes tempos:

Quadro 11- Elementos do tempo de ressurgimento

Tempo	Descrição
1) Emissão do pedido	Tempo que leva desde a emissão do pedido de compra pela empresa até ele chegar ao fornecedor
2) Preparação do pedido	Tempo que leva o fornecedor para fabricar os produtos, separar os produtos, emitir faturamento e deixá-los em condições de serem transportados.
3) Transporte	Tempo que leva da saída do fornecedor até o

Uma observação importante sobre esse tempo é que ele não é uma certeza absoluta, na maioria das vezes vão ocorrer variabilidades em todos os tempos acima descritos, afetando dessa maneira o ponto de pedido. Na verdade é possível desenvolver modelos de ponto de pedido mais próximos da realidade com a utilização de estatísticas inferenciais, e de métodos de pesquisa operacional.

Garcia (2009) apresenta uma abordagem nova para lidar com o modelo de ponto de pedido. O Autor considera que os erros de previsão e os tempos de ressuprimento como variáveis aleatórias e calcula o ponto de pedido por intermédio da disposição composta desses parâmetros. Para tanto o autor utiliza a técnica de simulação para avaliar a adequação do modelo.

Erros de previsão e tempos de ressuprimento são as variáveis aleatórias consideradas, sendo o ponto de pedido calculado com base na distribuição composta desses parâmetros. Simulações são realizadas para avaliar a adequação do modelo proposto, sob condições tais como: diferentes distribuições do lead-time, da demanda e diferentes níveis de erro de previsão. Garcia (2009, p. 606).

2.6.3.2 – Revisão Periódica

No sistema de revisão contínua a reposição dos estoques é feita em intervalos de tempo variáveis. O pedido só é emitido quando o estoque atingir um determinado nível, que isso depende da demanda do item. A quantidade pedida, normalmente aquela obtida por um método do Lote Econômico de Compras (LEC) é fixa. No sistema de revisão periódica, por outro lado, a emissão das ordens de ressuprimento ocorrem em intervalos de tempos fixos e a quantidade a ser pedida é variável.

Esse tipo de modelo é bastante utilizado, principalmente em função da facilidade de uso. A revisão na quantidade em estoque é exercida sobre cada item a intervalos regulares, semanais por exemplo. Na medida em a avaliação do nível do estoque é realizada a ordem de compra podem ser programada. “No controle periódico ou mensal o ponto básico de ressurgimento deve ser ajustado para considerar a extensão dos intervalos entre as previsões de controle” (BOWERSOX, 2008, p. 256).

O modelo também facilita quando se tem um conjunto de itens a ser comprado de cada fornecedor, caso bastante comum. Ele proporciona uma melhor consolidação de carga por fornecedor, o que pode inclusive diminuir custos de transporte e procedimentos administrativos.

O modelo de revisão periódica também pode ser encontrado com vários nomes na literatura: *periodic review model*, *periodic order model*, $(R, T)^2$ *model*, *fixed reorder cycle system*, entre outros. Em suma, esse modelo consiste em definir um intervalo ótimo (I_p) entre cada solicitação. ROSA et al. (2010, p. 629).

Bertaglia (2006) comenta que no modelo de revisão periódica a periodicidade pode ser determinada de acordo com a criticidade do item. Os itens prioritários podem ser revisados com maior frequência que itens menos importantes. O autor acrescenta que se deve ter cuidado na aplicação desse modelo no que se refere à periodicidade de avaliação, na medida em que, se ela for longa, podem ocorrer rupturas de estoque. As revisões e frequências, portanto, devem estar de acordo com as estratégias de estoque adotadas pela organização.

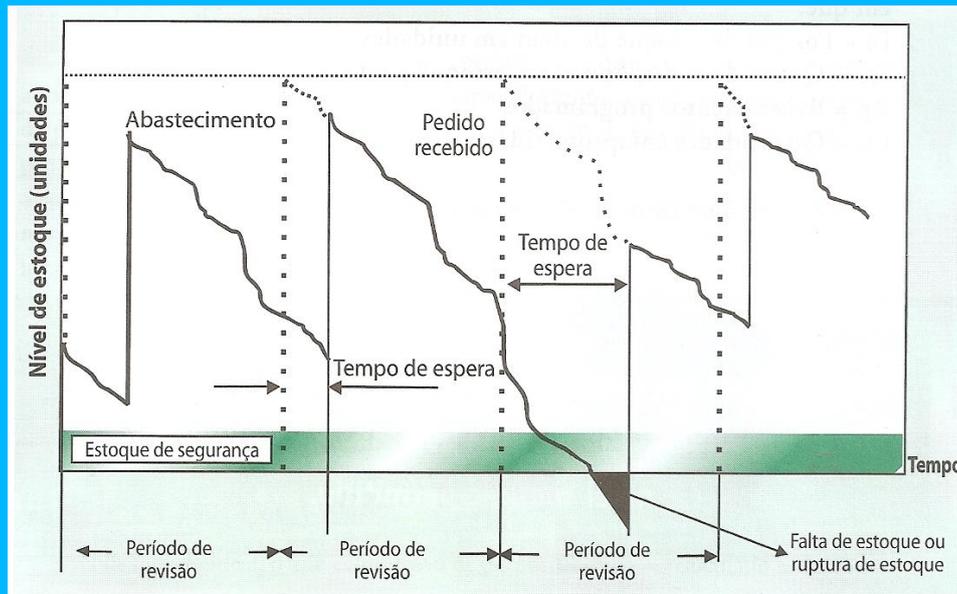


Figura 10 - Modelo de Revisão Periódica
 Fonte: Bertaglia (2006, p. 333)

Como pode ser visto na figura 10 acima, a periodicidade entre os pedidos é fixa e a quantidade a ser solicitada nas ordens de suprimentos varia de conformidade com o estoque no momento da avaliação. O problema está em ocorrer a falta do estoque antes de um novo abastecimento, como no caso da ruptura ocorrida antes da chegada do terceiro abastecimento do gráfico.

De forma a minimizar esse efeito, Bowersox (2008) recomenda que se adote como premissa para o modelo a suposição, produto a produto, de que o estoque atingirá a quantidade abaixo do ponto de ressurgimento antes da contagem periódica seguinte em aproximadamente metade das vezes em que ocorrem tais contagens. O autor também acrescenta que esse tipo de sistema, até em função disso, apresenta estoques médios maiores que nos sistemas de ponto de pedido.

O cálculo do ponto de pedido e do estoque médio para esse modelo pode ser efetuado a partir das equações abaixo (Bowersox, 2008, p.266).

$$PR = D \times (T + P/2) + ES \quad (5)$$

Onde:

PR = ponto de ressuprimento
D = demanda diária média
T = tempo médio de ressuprimento
P = período entre duas contagens sucessivas
ES = estoque de segurança

$$E_{med} = Q/2 + (P \times D) / 2 + ES \quad (6)$$

Onde:

E_{med} = quantidade média em estoque
Q = quantidade do pedido
P = período entre duas contagens sucessivas em dias
D = demanda diária média
ES = estoque de segurança

ROSA *et al.* (2010) Apresenta um estudo comparativo, do ponto de vista de estoque médio e custo total, quando da utilização do Lote Econômico de Compras, dos dois sistemas de estoques vistos anteriormente, revisão periódica e ponto de pedido. Os dois modelos são comparados para níveis distintos de dispersão do tempo médio de ressuprimento do fornecedor.

Os autores chegam à conclusão, recorrendo às abordagens de simulação e de testes de hipótese, que para tempos de ressuprimento inferiores ou próximos ao intervalo ótimo de pedido a sistemática do ponto de pedido é melhor. Por outro lado, quanto os tempos são maiores as duas sistemáticas são praticamente iguais.

2.6.3.3 – *Just-In-Time* (JIT)

O método do *Just-In-Time* (JIT) surgiu no Japão após a segunda guerra mundial como alternativa aos métodos clássicos para se lidar com a produção e estoques. O Japão, após a segunda guerra mundial havia perdido muito da sua capacidade de produção e os recursos existentes eram muito escassos. De forma a melhor gerenciar as essas restrições os engenheiros da fábrica da Toyota desenvolveram uma nova forma de lidar com o planejamento de produção e com o gerenciamento de estoques. O método do *Just-In-Time*, desenvolvidos por eles, foi revolucionário e acabou se disseminando para outros setores e empresas do mundo inteiro.

Conforme Bataglia (2006), o objetivo central do JIT é fabricar altos volumes de produção usando um estoque mínimo de matéria-prima, material de embalagem, estoques intermediários e produtos acabados. A ideia central é receber, produzir e atender a demanda somente quando necessário.

Para tanto o modelo trabalha com a chamada produção “puxada”, ao contrário da visão clássica de produção “empurrada”. “Fundamentalmente, o JIT se baseia no conceito de “puxar”, ou seja, produzir contra uma demanda” (BERTAGLIA, 2006, p. 366).

Na manufatura tradicional os estoques funcionam como amortecedores na proteção dos sistemas produtivos contra eventos que possam causar a interrupção do processo, como na falta de matéria-prima ou componentes. Já na manufatura JIT os estoques são considerados como nocivos, por ocuparem espaço, representarem altos investimentos de capital e por mascarar problemas de produção como baixa qualidade e baixa produtividade (CORRÊA, 1996). Corrêa detalha o papel dos estoques no sistema JIT da seguinte maneira:

A presença de estoques tira a atenção da gerência para problemas sérios de qualidade e falta de confiabilidade de equipamentos e fornecedores, problemas estes que a filosofia JIT procura eliminar. Ainda que, apesar do “conforto” dado pelos estoques, a gerência procure manter a atenção na eliminação dos problemas do processo, a presença de estoques dificulta a identificação desses problemas. Corrêa (1996, p. 59).

De acordo com Baker (2006) o objetivo principal desse sistema é a eliminação dos desperdícios, chamados de “muda” em japonês. Segundo ele, desperdício no contexto do JIT não é somente de material ou de retrabalho. Na verdade envolve a avaliação das perdas em todas as suas possíveis manifestações. O autor apresenta os “sete desperdícios”.

1. Superprodução;

2. Espera;
3. Transporte;
4. Processamento inadequado;
5. Inventário desnecessário;
6. Movimentos desnecessários;
7. Defeitos.

Avaliando mais detalhadamente esse sistema, a ferramenta de movimentação de material do *Kanban* está associada diretamente ao desenvolvimento do sistema JIT. Segundo Xavier (1998), o sistema *kanban* é um sistema de comunicação que utiliza sinais na forma de cartões para gerenciar o fluxo de materiais no chão de fábrica.

Para o autor a ideia central do *Kanban* é a transferência do controle de movimentação de material para o chão de fábrica, permitindo a avaliação e decisão mais rápida. Xavier (1998) faz uma avaliação do JIT e do gerenciamento da cadeia de suprimento a partir da perspectiva do gerenciamento da informação e admite duas conclusões da relação entre esses dois conceitos.

A primeira é que a gestão da cadeia de suprimentos pode ser interpretada como um complemento das estratégias de fabricação JIT em empresas que têm sistemas de produção e distribuição muito complexos. A segunda é que, embora ambos tenham objetivos econômicos semelhantes, os mecanismos utilizados para lidar com a incerteza são muito diferentes.

Enquanto o JIT reduz a incerteza, diminuindo a necessidade de processamento de informações em todo o processo de fabricação, a gestão da cadeia de suprimentos lida com a incerteza aumentando a capacidade de processamento de informação, mediante a criação e melhoria dos sistemas de informação (XAVIER, 1998).

Os princípios dos sistemas JIT também contribuem para a melhoria da qualidade dos produtos e serviços da empresa. A fabricação de lotes pequenos, característica do JIT, contribui para que possíveis defeitos que apareçam na linha sejam identificados e eliminados mais facilmente. A redução dos tempos de *lead-time* e de *setup*, outra

característica do JIT, contribui para que as entregas sejam feitas nos prazos estipulados, e conseqüentemente melhora a qualidade dos serviços prestados aos clientes. Além disso o trabalho com *layout* celular, geralmente adotado em instalações com JIT, auxilia os trabalhadores a se tornarem polivalentes e qualificados, o que contribui para o desenvolvimento dos recursos humanos que os modelos de qualidade total preconiza CERRA (2000). Da mesma forma Corrêa (1996, p. 58) acrescenta:

O JIT visa fazer com que o sistema produtivo alcance melhor índice de qualidade, maior confiabilidade de seus equipamentos e fornecedores e maior flexibilidade da resposta, principalmente através da redução dos tempos de preparação de máquinas, permitindo a produção em lotes menores e mais adequados à demanda do mercado.

Como pré-requisito necessário para o funcionamento adequado dos modelos JIT, Slack (2002) afirma que esse tipo de sistema requer alto desempenho dos objetivos da produção, conforme quadro abaixo.

Quadro 12 - JIT e Objetivos de desempenho da Produção

Objetivo de desempenho da produção	Motivo
Qualidade	Distúrbios da produção devido a erros de qualidade podem interferir no fluxo de materiais, dificultando assim o funcionamento do JIT.
Velocidade	É um objetivo central caso queira atender os clientes diretamente da produção, ao invés dos estoques, característica importante do JIT.
Confiabilidade	Sem equipamentos e sistemas confiáveis a produção pode ser afetada diminuindo a velocidade e o fluxo.
Flexibilidade	É importante quando se trabalha lotes pequenos, exigindo, assim, necessidade de trocas de ferramentas mais frequentemente.
Custo	Todas as outras medidas anteriores deverão afetar os custos.

Fonte: adaptado de Slack (2002, p. 484)

2.6.3.4 – Planejamento das Necessidades de Materiais (MRP)

O Planejamento das necessidades de materiais, do Inglês *Material Requirement Planning* (MRP), surge a partir da necessidade de se planejar a chegada de materiais em indústrias que trabalham com programação da produção. A ideia desse sistema é programar todas as aquisições de forma que os itens cheguem no momento correto, de conformidade com o planejamento de produção. De acordo com Baker (2006) o princípio de programação de produção do MRP baseia-se na premissa de que em sabendo o que deve ser produzido também se sabe as suas partes componentes de forma a produzir o produto.

O sistema se originou nos anos 1960 e permite que as empresas calculem quanto de material de cada tipo é preciso em que momento. O MRP verifica as previsões de demanda, os pedidos em carteira e todos os ingredientes e componentes necessários para atender aos pedidos assegurando que eles estejam disponíveis no momento certo (SLACK, 2002).

Diferentemente dos sistemas JIT, o MRP trabalha com programação de produção dita “empurrada”, os recursos são acionados de acordo com o planejamento e não a partir dos pedidos. No MRP a produção é planejada conforme previsão de demanda e os pedidos em carteira, enquanto o JIT, que trabalha com produção dita “puxada”, só aciona a produção quando a partir de pedidos certos.

Até os anos 1980 os cálculos eram feitos manualmente, ou em grandes computadores. Com o desenvolvimento do poder de processamento e do barateamento dos computadores houve um aumento do seu uso nas empresas associada a uma maior facilidade e rapidez nos cálculos. Também ocorreu uma ampliação nesse tipo de sistema, agregando outras atividades de planejamento, que hoje é chamado de MRP II (*Manufacturing Resource Planning II*).

A lógica do cálculo de necessidades é bastante simples e conhecida há muito tempo. Entretanto, sua utilização em processos de manufatura complexos foi impossível ou inviável até meados dos anos 60. Isto se explica pelo fato de não haver disponível, até então, capacidade suficiente de armazenagem e processamento de dados para tratar o

volume de dados que o cálculo de necessidades requer em uma situação real. Com o barateamento e o simultâneo aumento da capacidade de processamento de dados dos computadores, o cálculo de necessidades passou a ser considerada alternativa viável em situações práticas. Corrêa (1996, p. 106).

O MRP trabalha como principais elementos de *input* a carteira de pedidos e a previsão de vendas, que servem de base para elaboração do plano mestre de produção, a lista de materiais, também chamada de BOM (*Bill Of Materials*) e os registros em estoques. Também são necessários para a programação de materiais os tempos de suprimento e de produção.

Após “rodar” o MRP ele vai gerar relatórios e planejamentos de produção, compras e de materiais na forma de ordens de compras e produção e plano de materiais. O esquema todo pode ser resumido na figura 11 abaixo:

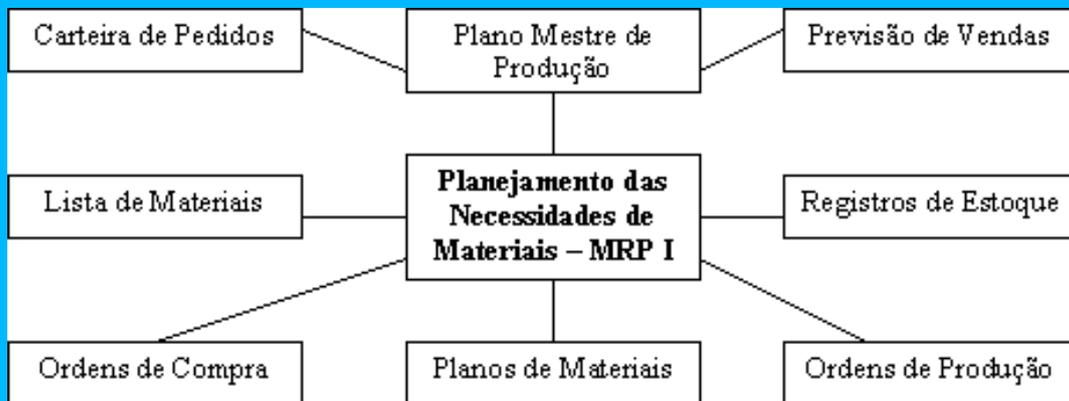


Figura 11 - Esquema do funcionamento do MRP I
Fonte: SLACK, 2002, p.451

Mais detalhadamente Bertaglia (2006) apresenta as seguintes informações requisitadas e geradas pelo MRP:

Quadro 13 - Informações requisitadas e geradas pelo MRP

Informações requisitadas pelo MRP	Informações geradas pelo MRP
Demanda de todos os produtos	Ordens planejadas
Tempo de entrega ou de produção para produtos finais e componentes	Aviso de ordens liberadas
Política de tamanho de lote para todos os itens	Aviso de ação: mudanças de quantidade por datas, cancelamentos, etc.
Níveis de estoque	Relatório de prioridades
Estoque de segurança	Informações sobre estoques
Ordens em trânsito ou pendentes de entrega	Relatório de desempenho, como itens inativos, tempos de entrega e produção reais, ordens em atraso, etc.

Fonte: Bertaglia (2006, p. 455)

Pela lógica do MRP as necessidades dos itens de demanda dependente, aqueles que dependem de outras demanda para serem estimados, como as matérias-primas e componentes, devem ser calculadas e não estimadas. Deseja-se com o sistema planejar todas as necessidades de cada componente do produto acabado a partir da chamada “explosão” dos itens de um produto e do cálculo das suas necessidades.

Na lógica MRP, os produtos finais, que incluem produtos acabados e peças de reposição, são denominados produtos com demanda independente, uma vez que a demanda é definida externamente ao sistema de produção, conforme as necessidades dos clientes (mercado). Em contrapartida, a demanda por matérias-primas e componentes está ligada à programação da produção e, por isso, são denominadas demanda dependente. Neste caso, esta demanda interna, apesar de bastante irregular em função da intermitência das operações, é bastante previsível. Pelo novo modelo, a demanda dependente deveria ser calculada (antecipada) e não estimada a partir de técnicas estatísticas. Uma vez definido o programa mestre de produção dos diferentes produtos, o próximo passo consiste na explosão ou cálculo de necessidades de materiais. Laurindo (2000, p. 323)

Segundo Corrêa (1996) os sistemas MRP apresentam como vantagens:

- Sua natureza dinâmica, ou seja, que ele consegue reagir bem às mudanças;
- Permite que trate melhor que os modelos de ponto de pedido os itens de demanda dependente; e
- Por se tratar de um sistema integrado, garante o acesso a informação para um maior número de usuários interessados.

Corrêa (1996) também acrescenta algumas limitações do sistema:

- Sistema complexo e muitas vezes caro;
- Dificuldade de parametrização, adaptação, aos sistemas e necessidades das empresas;
- Necessidade de disciplina na entrada dos dados, pois esses vão ser considerados como corretos pelo sistema;
- É um sistema dito “passivo”, aceita sem questionar os dados que entram no sistema, como os tempos de suprimentos ou de preparação de máquina; e
- O sistema privilegia o cumprimento dos prazos e redução de estoque, muitas vezes a custa de outros parâmetros.

2.6.3.5 – Lote Econômico de Compras (LEC)

A base de toda a metodologia do Lote econômico de compras está no equilíbrio entre dois custos: os custos de manutenção de estoque, também chamado de custo de carregamento, e o custo de aquisição. Busca-se encontrar uma quantidade ideal de forma a minimizar o somatório desses dois custos.

Conforme visto, o custo de manutenção de estoque cresce na medida em que o estoque médio aumenta. Já os custos relacionados ao processo de aquisição crescem na medida em que se registra um número maior de suprimentos. O número de pedidos aumenta diretamente quando se diminui os lotes de compras.

Quanto maior for a quantidade do pedido de compras, maior será o estoque médio e, conseqüentemente, maior o custo anual de manutenção de estoque. Todavia, quanto maior for a quantidade de pedidos de compras, menos pedidos serão necessários no período planejado e, conseqüentemente, menores serão os custos totais de emissão e colocação de pedidos. Bowersox (2008, p.236).

A quantidade ideal que irá minimizar esses dois custos conflitantes é dada pela fórmula abaixo (Slack, 2002):

$$LEC = \sqrt{\frac{2 \cdot C_p \cdot D}{C_M}} \quad (7)$$

Onde:

LEC= Lote econômico de Compras

C_p = Custo de fazer um pedido

D = Demanda anual

C_M = custo de manter uma unidade por ano no estoque

Uma grande vantagem da utilização do Lote Econômico de Compras é sua robustez aos erros na identificação nos custos de manutenção e de pedir e na variação da quantidade comprada. Dito de outra forma, variações na quantidade pedida não vão aumentar substancialmente o custo total.

Qualquer desvio relativamente pequeno no LEC não vai acrescer os custos totais significativamente. Em outras palavras, os custos estarão próximos do ótimo, desde que o valor de Q seja razoavelmente próximo do LEC. Pondo de outra forma, pequenos erros na estimação, ou dos custos de manutenção de estoque ou dos custos de pedido, não resultarão em desvio significativo de LEC. Esse fenômeno é particularmente conveniente porque, na prática, tanto os custos de manutenção como os de pedido não são fáceis de estimar com precisão. Slack (2002, p. 390).

Algumas premissas são necessárias para utilização desse modelo. Segundo Bertaglia (2006, p. 331) o uso do LEC baseia-se nas seguintes premissas:

- O consumo do item não deve apresentar muitas distorções;
- O item é produzido e comprado em lotes;
- Os custos incidentes são de manutenção e de pedido;
- Não deve existir incerteza quanto à demanda, tempo de entrega ou suprimento; e
- Faltas não são permitidas.

O autor também acrescenta que esse método é bastante razoável para obter uma aproximação do tamanho do lote, e, bem como Slack (2002), complementa que pequenas variações não afetarão o resultado final, reafirmando também a robustez do modelo.

2.6.4 – Os estoques de segurança

A variabilidade da demanda e dos tempos de ressuprimento podem em conjunto afetar o atendimento das necessidades dos materiais em uma estrutura produtiva. Caso a demanda aumente mais que o planejado, pode ocasionar uma ruptura do estoque e suas consequências, como paradas de produção, não atendimento dos clientes, atrasos para os clientes e possíveis aumentos de custo.

Da mesma forma, um período de suprimentos maior que o estimado também pode ocasionar a falta do item, e seus possíveis efeitos negativos quanto à fidelização de clientes, instabilidade na produção e custos mais elevados.

Além disso, eventos imprevistos podem acontecer, tais como greves, eventos naturais, como cheias, geadas ou furacões, quebra de equipamentos de transporte, acidentes, entre tantos. Eventos esses que podem afetar tanto a demanda como o tempo de chegada dos pedidos.

Há dois tipos de incertezas que têm influência direta na política de estoque. O primeiro diz respeito às incertezas na demanda, as quais dão origem a flutuações nas quantidades de vendas durante o ciclo de atividades. O segundo tipo abrange incertezas relacionadas com a duração do ciclo de atividades, as quais dão origem a variações no ciclo de ressuprimento de estoque. Bowersox (2008, p. 242).

De forma a minimizar esses efeitos, é possível planejar estoques de segurança de maneira a proteger as operações contra as variabilidades dos tempos de suprimentos e/ou do aumento na demanda, além de eventos imprevistos.

O estoque é necessário porque permite compatibilizar o fornecimento com a demanda. É o caso de indústrias com cadeias de suprimentos muito internacionalizadas, nas quais os longos ciclos logísticos que separam o fabricante dos seus fornecedores geram uma incerteza que força o uso do estoques de segurança. Assim, salvo aquelas situações em que a empresa mantém estoques por motivos especulativos, o que determina a necessidade dos estoques de segurança é o conjunto de

variáveis que influenciam o cenário atual da empresa, e não o seu modelo de gestão. Guerra (2009, p. 424).

Graficamente os estoques de segurança podem ser apresentados da seguinte forma:

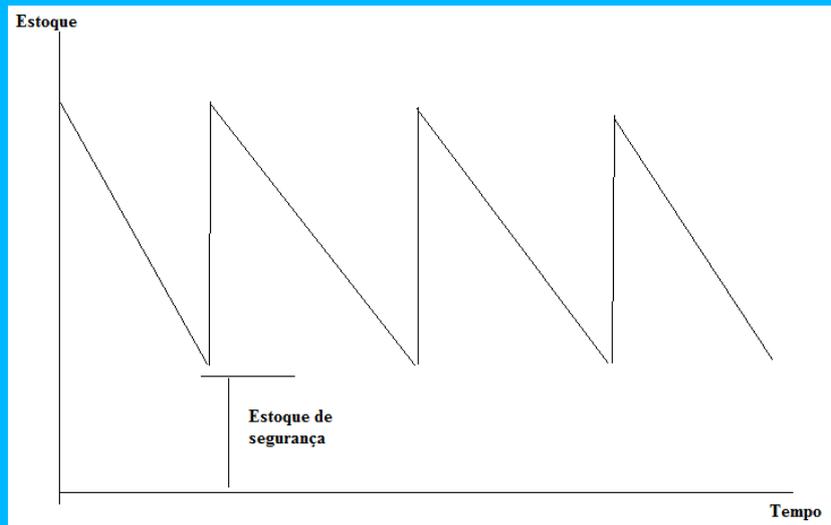


Figura 12 - Gráfico dente de serra com estoque de segurança
Fonte: elaboração própria

Mais detalhadamente, os estoques máximos, médios e mínimos podem ser verificados na figura abaixo:

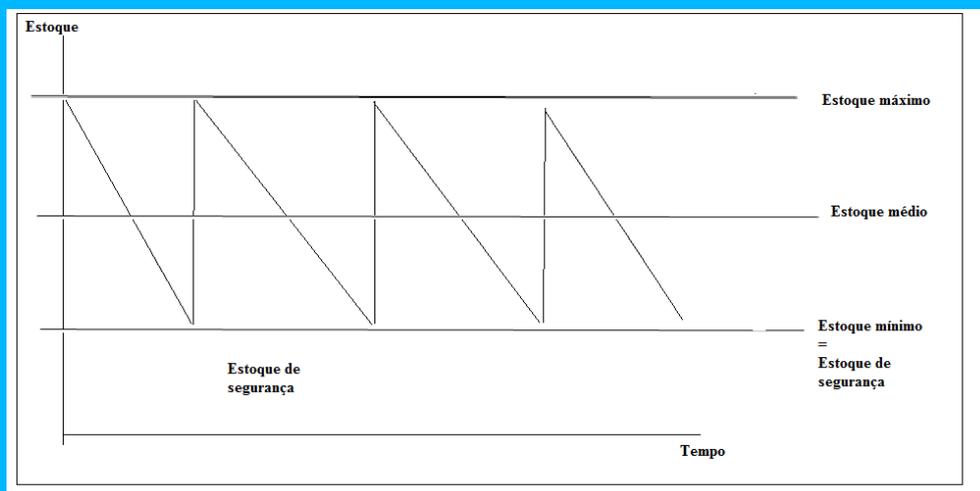


Figura 13 - Estoque máximo, médio e mínimo com estoque de segurança
Fonte: elaboração própria

Como nesse modelo o lote de compras é:

$$Q = E_{\max} - E_{\min} \quad (8)$$

Então:

$$E_{\max} = Q + E_{\min} \quad (9)$$

Como o estoque médio é igual à média do estoque máximo e o estoque mínimo, então:

$$E_{med} = \frac{E_{\max} + E_{\min}}{2} \quad (10)$$

$$E_{med} = \frac{(Q + E_{\min}) + E_{\min}}{2} \quad (11)$$

$$E_{med} = \frac{Q + 2.E_{\min}}{2} \quad (12)$$

$$E_{med} = \frac{Q}{2} + \frac{2.E_{\min}}{2} \quad (13)$$

$$E_{med} = \frac{Q}{2} + E_{\min} \quad (14)$$

Como $E_{\min} = E_{seg}$, então o estoque médio quando se está usando um modelo de estoque com estoques de segurança será de:

$$E_{Med} = \frac{Q}{2} + E_{seg} \quad (15)$$

3 - Metodologia da Pesquisa

3.1 – Modelo desenvolvido em relação aos outros modelos alternativos

O desenvolvimento do presente trabalho envolveu a montagem e teste de modelos de custo logísticos que conseguissem avaliar não somente os aspectos relativos aos custos de transporte, mas também, e principalmente, os *trade-offs* entre esses custos e os envolvidos nos processos de armazenagem e aquisição através de uma rede de suprimentos até instalações produtivas distantes dos centros de fornecimento. Para tanto, buscou-se trabalhos e modelos que pudessem satisfazer e auxiliar na decisão dos canais de suprimentos.

Uma inspeção mais detalhada nos marcos da área detectou vários modelos que servem para avaliar somente uma variável de custo ou de capacidade. Como, por exemplo, os modelos de otimização.

Nesse tipo de abordagem o uso de algoritmo é muito utilizado para solucionar os problemas. Normalmente busca-se minimizar os custos de transporte ou as distâncias, ou mesmo maximizar o volume total. Frazelle (2002), apresenta a seguinte estrutura para a otimização de custos de transporte:

À medida que se aborda cada aspecto individual do transporte, o objetivo será a seleção ideal, desenvolvimento e utilização de recursos de transporte: otimização do transporte. A equação de otimização do transporte pode ser expressa da seguinte forma:

- Minimizar: custo total de transporte (TTC)
- Sujeito a: requerimentos da política de Atendimento ao Cliente. Frazelle (2002, p. 173). Tradução nossa.

O autor elenca os seguintes elementos como elementos do custo de transporte:

- Frete;
- Combustível
- Manutenção
- Mão-de-obra;
- Seguro;
- Carregamento e descarregamento;e
- Taxas e impostos.

Ainda segundo Frazelle (2002), deve-se encontrar uma função objetivo de custos de transporte, que irá ser minimizada a partir do atendimento de certas restrições de disponibilidade. Esse tipo de solução é parcial para o que se pretende na presente pesquisa, pois não contempla a avaliação dos custos indiretos associados ao *lead-time* de transporte, tais como os de estocagem ou mesmo os dos processos internos necessários para o suprimento.

Silva (1998) também apresenta outro modelo de otimização, além de algoritmo para solucionar problemas de transporte. No modelo linear de transporte tem-se as localizações (i, j) de origem e destino, e seus respectivos custos unitários de transporte

de cada uma das localizações para todas as outras. Sabem-se também as respectivas quantidades a serem transportadas entre os pontos de origem e destino.

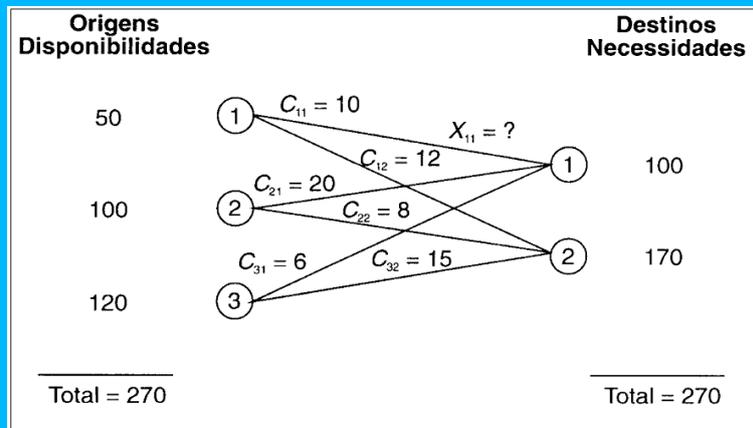


Figura 14 - Exemplo de restrições
Fonte: Silva (1998, p. 96)

As restrições acima estão relacionadas às quantidades requeridas nos pontos de destino e as quantidades disponíveis para movimentação nos pontos de produção, ou de origem. O autor também apresenta um modelo onde há um desequilíbrio entre a capacidade e a demanda, as quantidades requeridas são menores que as quantidades disponíveis.

Deve-se então minimizar os custos de transporte a partir da função objetivo:

Objetivo: Minimizar o custo de transporte

$$\text{Min. } C = 10X_{11} + 12X_{12} + 20X_{21} + 8X_{22} + 6X_{31} + 15X_{32}$$

Sujeito a:

$$X_{11} + X_{12} = 50$$

$$X_{21} + X_{22} = 100$$

$$X_{31} + X_{32} = 120$$

$$X_{11} + X_{12} = 50$$

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} = 100$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{33} = 170$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ para } i = 1, 2, 3 \text{ e } j = 1, 2$$

Silva (1998, p. 98)

Os problemas acima apresentados são normalmente resolvidos pelo algoritmo simplex, ou por métodos simplificados como o método Vogel (ou das penalidades). Todavia, a maneira mais prática para se solucionar este tipo de problema é recorrendo a utilização de software de programação linear.

Apesar do disseminado uso desse tipo solução para situações de otimização, e de usar as restrições na busca da solução otimizada, o mesmo não leva em conta fatores relacionados ao tempo de chegada e seus respectivos impactos nos estoques e nos custos associados aos estoques elevados. Não considera, portanto, os elementos de custo de estocagem e de aquisição.

Outro modelo para a análise de custos de transporte é o apresentado por Banomyong (2001, p.2), ele é aplicável quando se trata de transporte multimodal:

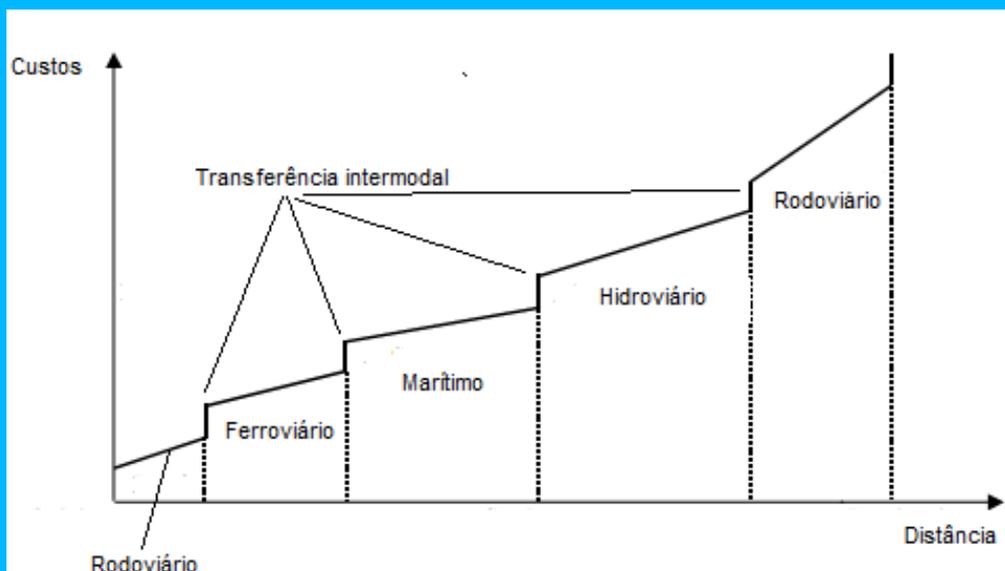


Figura 15 - Custos do transporte multimodal
Fonte: adaptado de Banomyong (2001, p.2)

No modelo, os custos são acumulados ao longo das rotas de transporte. Tanto custos de transporte como também os demais custos associados, como transbordos e desembarços. Também aqui o autor não avalia o *trade-off* dos custos de transporte com os custos associados ao pedido e manutenção de estoque.

Muitos problemas de transporte são resolvidos mediante o uso de algoritmos modelados a partir de diagramas de rede na forma de grafos (Lisboa, 2002). A montagem de um grafo passa pela identificação dos pontos, ou nós, e os arcos que ligam os nós, tal como na figura 16 abaixo:

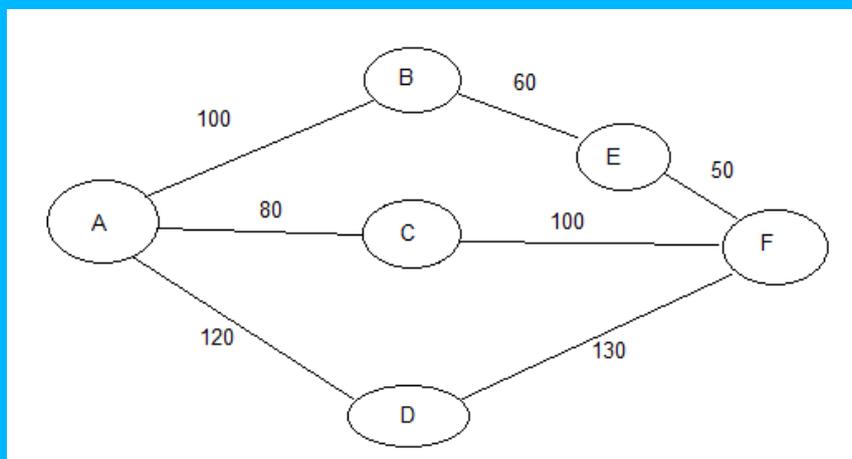


Figura 16 - Exemplo de grafo de transporte
Fonte: Elaboração própria

Este tipo de abordagem, todavia, bem como as anteriores, também não leva em conta as economias de *lead-time*. Dessa maneira, todos os métodos anteriores não levam em consideração os custos de carregamento, fundamentais para qualquer decisão logística de longo curso.

Considerando as limitações de transporte, a distância, o *lead-time* e os custos das operações logísticas para localidades distantes, os custos de carregamento devem necessariamente ser avaliados na medida em que eles aumentam o custo total associado às opções de transporte. Bowersox (2002, p.289) apresenta os custos de carregamento, como sendo:

O custo de carregamento do estoque é o custo associado à manutenção de estoques. O custo do inventário é calculado multiplicando o custo percentual do inventário anual pelo valor médio do estoque. A Prática contábil padrão é calcular o inventário pelo valor da aquisição ou pelo custo de fabricação padrão, e não pelo preço de venda. Bowersox (2002, p.289). Tradução nossa.

O autor elenca como componentes do custo de carregamento os seguintes fatores:

- Custo do dinheiro
- Taxas
- Seguros
- Obsolescência
- Armazenagem

Tabela 5- Componentes do custo de carregamento

Elemento	Média percentual	Variação
Custo do dinheiro	15,00%	8 - 40%
Taxas	1,00%	0,5 - 2 %
Seguro	0,05%	0 - 2 %
Obsolescência	1,20%	0,5 - 2 %
Armazenagem	2,00%	0 - 4 %
Total	19,25%	9 - 50%

Fonte: Bowersox (2002, p.291). Tradução nossa

Uma das formas de se levar em conta os custos totais nas decisões logísticas é a partir da abordagem do Lote Econômico de Compras (LEC), ou *Economic Order Quantity* (EOQ), já introduzido anteriormente na revisão de literatura. No modelo os custos de carregamento e de compras e principalmente os de transporte são somados de forma a encontrar a quantidade de compra que irá minimizar os custos totais.

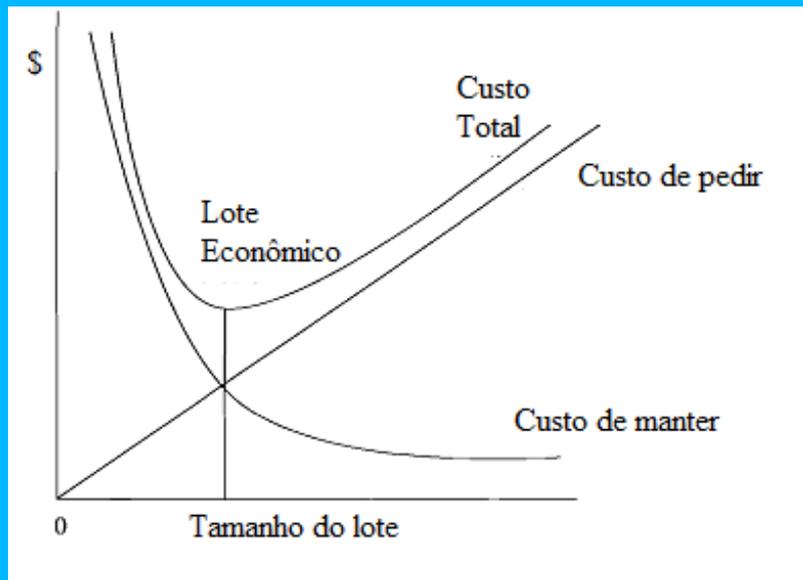


Figura 17 - Lote Econômico de Compra (LEC)
 Fonte: Adaptado de Bowersox (2002, p.293)

O custo total seria então o somatório dos custos de carregamento, ou manutenção de estoque, com o custo de pedir. Ou seja:

$$C_t = C_c + C_p \quad (16)$$

Onde:

C_c = custo de carregamento

C_p = custo de pedir

Detalhando melhor esses custos, tem-se que os custos de carregamento (de manter) são diretamente proporcionais a quantidade estocada e é influenciado principalmente pelo estoque médio, que por sua vez está atrelado a quantidade pedida. Ou seja, se é feita uma quantidade maior a cada pedido maior será o estoque médio e, portanto, maior será o custo total de manter o estoque médio.

No modelo do lote econômico a relação entre o a quantidade pedida e o custo de carregamento é dada por:

$$C_c = C_{cu} \times E_{med} \quad (17)$$

Onde:

C_{cu} = custode manutenção de estoque unitário

E_{med} = estoque médio

O estoque médio, por sua vez, é dado por:

$$E_{med} = Q/2 \quad (18)$$

Desta forma, a relação entre custo de carregamento e a quantidade comprada será de:

$$C_c = C_{cu} \cdot Q/2 \quad (19)$$

Os custos de pedir, por sua vez, são aqueles relacionados ao número de pedidos feitos, portanto inversamente proporcional à quantidade pedida. Ou seja, quanto maior a quantidade pedida menor será o número de pedidos e, portanto, menores também serão os custos totais de pedir. Percebe-se dessa maneira uma relação inversamente proporcional entre esses dois custos.

O custo de pedir total está relacionado com a quantidade pedida (lote de compras) pelo número de pedidos da seguinte forma:

$$C_p = C_{pu} \times n \quad (20)$$

Onde:

C_p = custo de pedir

C_{pu} = custo de pedir unitário

n = número de pedidos

O número de pedidos, por sua vez, é dado pela relação:

$$n = D / Q \quad (21)$$

Onde:

D = demanda anual

Q = lote de compras

Logo:

$$C_p = C_p \cdot D / Q \quad (22)$$

Ou:

$$C_p = C_p \cdot D \cdot Q^{-1} \quad (23)$$

A equação do custo total será então:

$$C_t = C_{cu} \cdot Q/2 + C_p \cdot D / Q \quad (24)$$

Percebe-se a relação inversa entre os dois custos (custo de carregamento e de pedir) em relação a variável quantidade encomendada (Q). Alterando-se o lote de compra (Q) os custos de carregamento variam de forma inversa aos custos de pedir.

Conforme pode ser observado anteriormente na figura 17, a curva de custo total possui um ponto de mínimo. Para resolver esse tipo de problema é necessário a partir da equação de custo total, igualar a primeira derivada a zero, derivada essa em relação à quantidade pedida da seguinte forma:

$$\frac{dC_T}{dQ} = C_{cu} / 2 - C_p \cdot D \cdot Q^{-2}$$

Fazendo,

$$\frac{dC_T}{dQ} = 0$$

Tem-se:

$$0 = C_{cu} / 2 - C_p \cdot D \cdot Q^{-2}$$

$$C_p \cdot D \cdot Q^{-2} = C_{cu} / 2$$

$$Q^2 = 2 \cdot C_p \cdot D / C_{cu}$$

A equação resultante é a seguinte:

$$Q^* = \sqrt{2 \cdot C_p \cdot D / C_{cu}} \quad (25)$$

Q^* = Lote Econômico de Compra (LEC)

EOQ = $\sqrt{\frac{2 \cdot C_o \cdot D}{C_i}}$

onde:
EOQ = Quantidade econômica do pedido
Co = Custo de pedir unitário
D = Demanda anual
Ci = Custo de carregamento unitário

Figura 18 - Equação do Lote Econômico de Compra
Fonte: Adaptado de Bowersox (2002, p.293)

Na abordagem clássica do Lote Econômico de Compras, descrita na expressão 25, Bowersox (2002) se utiliza das variáveis do custo de cada ordem (C_o), o custo de pedir, o custo de carregamento anual (C_i), ou custo de manter e a demanda anual de compra do item (D).

Esse tipo de abordagem é explorado na maioria dos livros de logística, de administração de materiais e engenharia de produção, como em SLACK (2002), POZO (2007), MOREIRA (1993), DIAS (1993), BERTAGLIA (2006), BALLOU (2006), ARNOLD (1999).

O objetivo principal da abordagem do Lote Econômico de Compra é encontrar a quantidade ideal para as encomendas de determinado item em estoque, quantidade essa que irá minimizar os custos totais. No presente estudo, entretanto, essa técnica não será utilizada especificamente para encontrar a quantidade ideal de compras, mas sim para estimar os custos totais mínimo de cada alternativa de transporte de longo curso a partir das equações descritas acima. Além disso, serão adicionados ao modelo os custos de transporte e financeiro, como também os custos relativos aos estoques de segurança.

A ideia é tratar os custos de transportes em conjunto com os custos de pedir e de manter, de forma a melhor identificar o peso desses custos, como também avaliar sua sensibilidade quanto à quantidade pedida ou ao número de pedidos.

3.2 - Princípios Norteadores do Modelo Proposto

Pretende-se com o presente modelo avaliar mais detalhadamente os custos associados ao ressurgimento, desmembrando os custos de aquisição do modelo do Lote Econômico em custos de pedir propriamente ditos, aqueles associados às atividades administrativas de aquisição, dos custos de transporte.

Isso se deve em função da necessidade de se avaliar o peso e a influência dos custos de transporte e de manutenção de estoques para processos de aquisição de longo curso. Sabe-se que a relação inversa entre custos de manter e custos de transporte e de pedir pode viabilizar meios de transporte com custo maior em função de representarem menor peso nos custos de carregamento.

Outra premissa do presente modelo é a de que é possível avaliar e fazer a escolha do transporte a partir dos custos totais associados a cada rota de suprimentos. A ideia é encontrar a equação de custo total para cada rota, fazer a avaliação individual de

cada uma delas recorrendo a uma análise de sensibilidade. Pretende-se assim avaliar a quantidade requerida conjuntamente com as alternativas em termos de custos mínimos.

Mais detalhadamente, deseja-se a partir das equações de custo total montar curvas em um gráfico onde nas abscissas (x) a variável é a quantidade a ser comprada (lote de compras) e no eixo das ordenada (y) os custos totais da cada alternativa de rota ou de transporte associados às quantidades. Serão traçadas nesse gráfico as curvas de custo total para compras feitas por cada uma das rotas alternativas em um processo de suprimentos.

Pretende-se também adicionar ao modelo o custo de transporte proporcional à quantidade transportada (C_{p1}), e a parcela do custo de transporte (C_{p2}) relativo ao número de pedidos, cujos pesos relativos podem ser elevados para o transporte de longo curso.

$$C_t = C_p + C_c \quad (26)$$

$$C_p = C_{p1} + C_{p2} \quad (27)$$

Onde:

C_{p1} = custo de pedir sem o custo de transporte

C_{p2} = custo de transporte

Substituindo tem-se:

$$C_t = (C_{p1} + C_{p2}) + C_c \quad (28)$$

Nota-se também que os custos totais de transporte podem ser desmembrados em duas parcelas: uma proporcional à quantidade transportada (C_{p2a}), variando proporcionalmente com a quantidade total transportada e outra variando com o número de pedidos (C_{p2b}), ou seja, variando inversamente com o lote de compras. Os custos de transporte serão avaliados da seguinte forma:

$$C_{p2} = C_{p2a} + C_{p2b} \quad (29)$$

As curvas serão resultados dos seguintes elementos do custo total:

$$C_t = C_{p1} + C_{p2a} + C_{p2b} + C_c \quad (30)$$

Associado aos custos de pedir, de manter e de transportar, o custo total também terá influência do custo financeiro (C_{ft}) relativo ao investimento no estoque médio que será acrescentado ao modelo.

Dessa maneira os elementos de custo total do modelo proposto serão:

C_t = Custo Total

C_{p1} = Custo total de pedir

C_{p2a} = custo total de transportar₁

C_{p2b} = custo total de transportar₂

C_c = custo total de carregamento (de manter)

C_{ft} = custo total financeiro do investimento no estoque médio

O custo total é o somatório dos custos acima mencionados, ou seja:

$$C_t = C_{p1} + C_{p2a} + C_{p2b} + C_c + C_{ft} \quad (31)$$

Também será avaliada a situação com a utilização de estoques de segurança, que irão se incorporar ao custo de manter, na medida em que aumentam o estoque médio.

Sem estoque de segurança:

$$C_c = \frac{y \cdot h}{2} \quad (32)$$

Com estoque de segurança:

$$C_c = h \cdot \left(\frac{y}{2} + E_{seg} \right) \quad (33)$$

Espera-se assim ter como resultado um conjunto de curvas que podem apresentar pontos de cruzamento, semelhantes às apresentadas na figura 19:

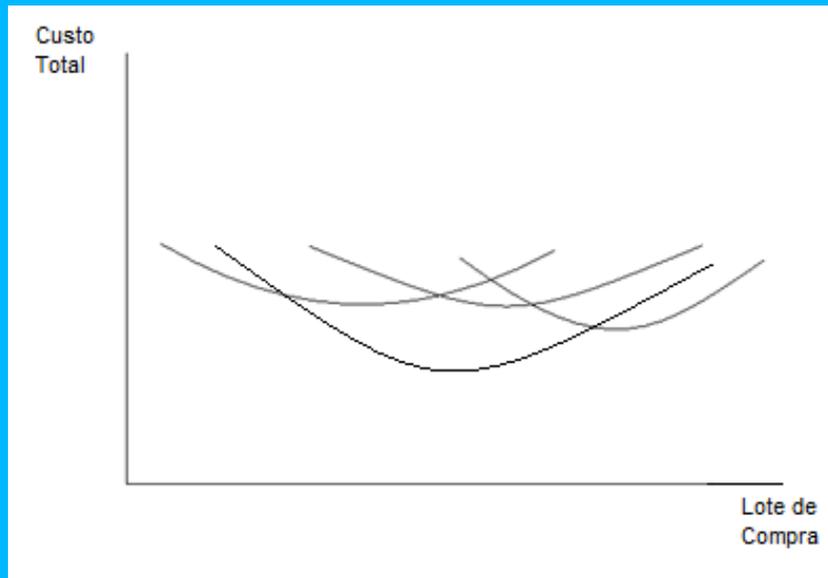


Figura 19 - Curvas de custo total
 Fonte: elaboração própria

Deseja-se avaliar, desse modo, os custos logísticos totais de cada curva para diferentes quantidades transportadas e encontrar os pontos mínimos de custo para cada curva (canal logísticos) e depois fazer uma comparação entre esses pontos mínimos, conforme figura 20.

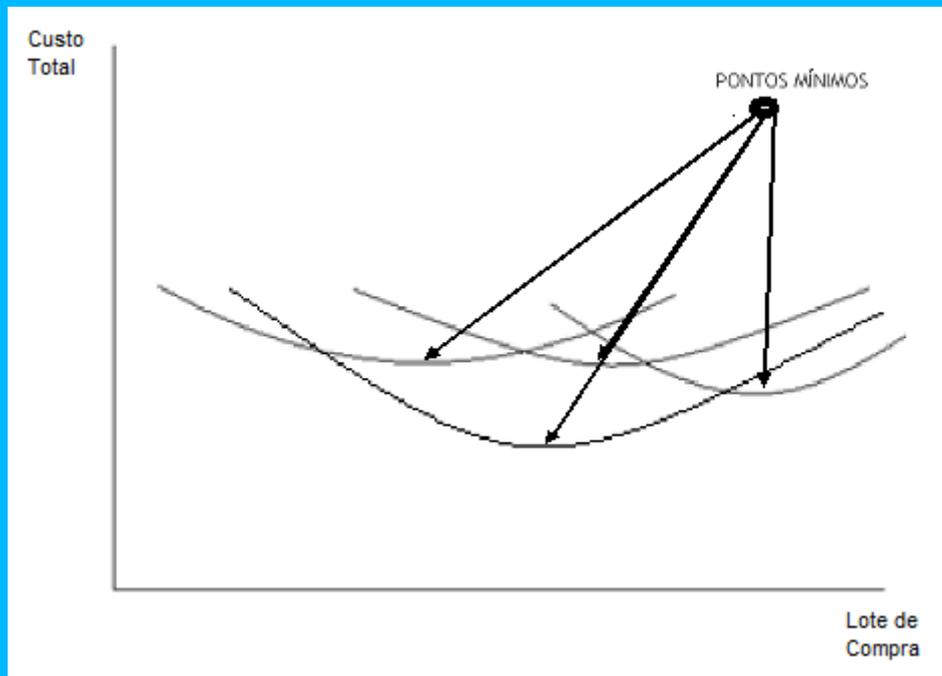


Figura 20- Custos mínimos das alternativas de transporte
 Fonte: elaboração própria

Posteriormente também será feita uma análise de sensibilidades desses custos mínimos em relação à quantidade (eixo x) para cada rota de modo a identificar os possíveis pontos em que as curvas de custo total se encontram.

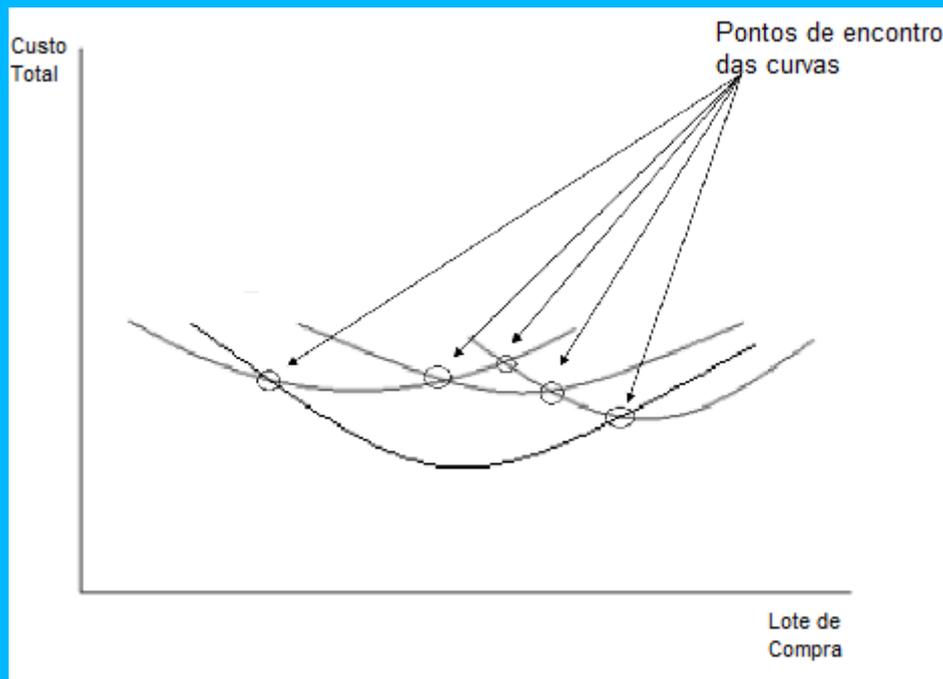


Figura 21 - Análise de sensibilidade aos custos mínimos
Fonte: elaboração própria

A ideia é avaliar as alternativas a partir dos custos totais mínimos em função da quantidade transportada. Ou seja, uma avaliação da sensibilidade das alternativas de transporte existente em função dos custos totais envolvidos e do lote de compras. As alternativas com custos mínimos estão ressaltadas na figura 22 abaixo.

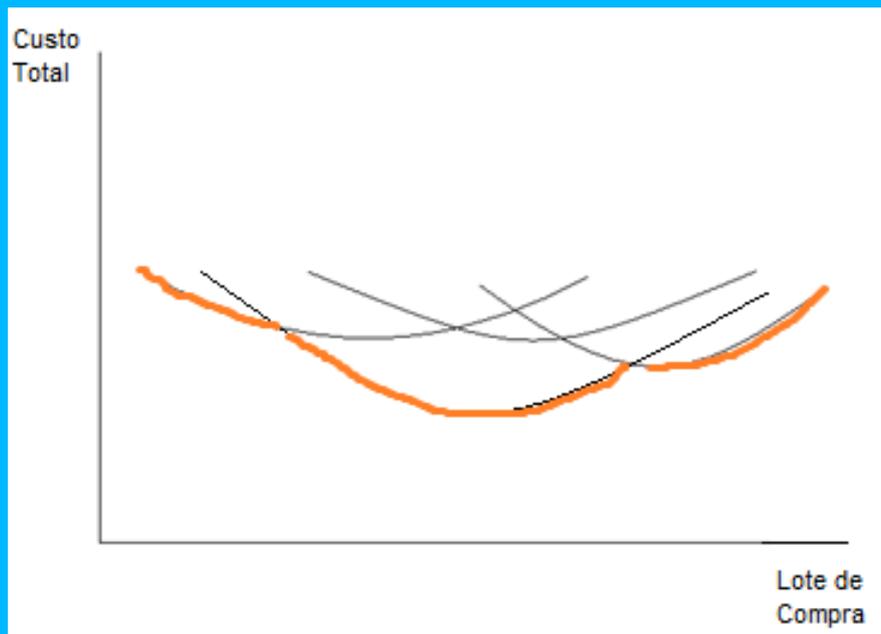


Figura 22 – Análise de sensibilidade das curvas de custo total
 Fonte: elaboração própria

Portanto, se pretende realizar uma abordagem diferenciada para solucionar situações semelhantes às enfrentadas por organizações onde a distância e a dificuldade de acesso faz com que os custos de carregamento elevados, gerado pelo *lead-time* alto e pela variabilidade nos tempo de suprimento, além de custos de transporte também elevados, influenciando diretamente as escolhas os fluxos de chegada de insumos de produção. O modelo deve explorar a relação existente entre os custos de transporte, de pedido e de estocagem.

O modelo proposto também será avaliado para o caso de se possuir estoques de segurança, situação bastante comum em instalações que necessitam de transporte de longo curso. Para tanto será montada uma nova equação de custo total, dessa vez com os estoques de segurança, e será feita a análise de sensibilidade. Serão consideradas duas metodologias de cálculo dos estoques de segurança: uma proporcional ao consumo mensal e outra proporcional ao consumo no tempo de reposição.

4- Resultados

4.1 - Exposição do Modelo

4.1.1 – Modelo sem estoque de segurança

Para apresentação das equações e gráficos do modelo proposto será usada uma nomenclatura baseada na utilizada por Taha (2007, p.430):

y = quantidade comprada (lote de compra)

D = demanda anual

K = custo de pedir (por pedido)

h = custo de manter (custo de carregamento, por unidade ao ano)

Na abordagem tradicional do lote econômico a equação de custo total (C_t) é composta pela soma do custo de pedir, também chamado de custo de aquisição, como o custo de se manter o estoque ao longo de um ano de operação, também chamado de custo de carregamento.

$$C_t = C_p + C_c \quad (34)$$

O custo de pedir total é o produto do custo médio de se fazer um pedido (K) pelo número de pedidos feitos por ano.

$$C_p = K \cdot n \quad (35)$$

O custo de manter é aquele diretamente relacionado ao estoque médio. Dessa forma, quanto maior for o estoque médio maior será o custo total de manter os estoques.

A multiplicação do estoque médio mantido ao longo de um ano de operação pelo custo de se manter uma unidade em estoque por ano (h) vai resultar no custo total de estocagem, também chamado de custo de carregamento (C_c).

$$C_c = h \cdot E_{med} \quad (36)$$

O número de pedidos (n) será igual à demanda anual (D) dividida pela quantidade comprada (y):

$$n = D/y \quad (37)$$

Como:

$$C_p = K \cdot n \quad (38)$$

Então:

$$C_p = K \cdot D/y \quad (39)$$

O estoque médio, quando não se leva em conta os estoques de segurança, será igual ao lote de compra (y) dividido por dois.

$$E_{\text{med}} = y/2 \quad (40)$$

$$C_c = h \cdot E_{\text{med}} \quad (41)$$

$$C_c = h \cdot y/2 \quad (42)$$

Então:

$$C_t = C_p + C_c$$

$$C_t = K \cdot D/y + h \cdot y/2$$

Para encontrar o ponto mínimo, iguala-se a primeira derivada à zero:

$$\frac{dC_t}{dy} = -K \cdot D/y^2 + h/2$$

$$\frac{dC_t}{dy} = 0$$

$$0 = -K \cdot D/y^2 + h/2$$

$$y^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}} \quad (43)$$

y^* = Lote econômico de compras.

De forma incorporar os custos de transporte, conforme a proposta do modelo em estudo, o custo total será analisado em cinco elementos:

1. Custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte (C_{p1});
2. Custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (C_{p2a});
3. Custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (C_{p2b});
4. Custo relativo à manutenção anual do estoque (C_c); e
5. Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (C_{ft}).

Serão convencionados os elementos do modelo da seguinte forma:

K_1 = Custo por pedido

K_2 = Custo relativo ao transporte (por unidade transportada)

K_3 = Custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (D/y)

h = custo de manutenção de estoque (por unidade ano)

P = preço de custo do item

i = taxa de desconto

C_{ft} = custo financeiro total do investimento no estoque médio

C_f = custo financeiro do investimento em uma unidade por ano

Y = lote de aquisição

$C_t =$ Custo total

Assim sendo, a equação de custo total será:

$$C_t = C_{p1} + C_{p2a} + C_{p2b} + C_c + C_{ft} \quad (44)$$

O custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte (C_{p1}) é calculado de modo semelhante ao custo de pedir do LEC, pois ele é proporcional à quantidade de pedidos e ao esforço administrativo para realizar os processos de aquisição. Todavia o custo unitário de pedido do LEC será substituído pelo K_1 .

$$C_p = K \cdot D/y \quad (45)$$

$$C_{p1} = K_1 \cdot D/y \quad (46)$$

O custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (C_{p2a}) é diretamente proporcional à quantidade transportada e ao custo de movimentação de uma unidade (K_2):

$$C_{p2a} = K_2 \cdot D \quad (47)$$

O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (C_{p2b}) por ter influência direta do K_3 e ao número de pedidos por ano será calculado da seguinte forma:

$$n = D/y \quad (48)$$

$$C_{p2b} = K_3 \cdot D/y \quad (49)$$

O Custo relativo à manutenção anual do estoque (C_c), neste caso sem a incorporação de estoques de segurança, é calculado da mesma maneira que o Custo de carregamento do LEC. Ele é proporcional ao estoque médio e ao custo de carregamento anual unitário.

$$E_{med} = y/2 \quad (50)$$

$$C_c = h \cdot E_{med} \quad (51)$$

$$C_c = h \cdot y/2 \quad (52)$$

Por fim, o **custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (C_{ft})** é diretamente proporcional ao estoque médio e ao custo financeiro de se manter uma unidade no estoque ao ano.

$$C_{ft} = C_f \cdot E_{med} \quad (53)$$

$$C_{ft} = C_f \cdot y/2 \quad (54)$$

O custo financeiro do investimento em uma unidade por ano (C_f), por sua vez, é resultado do produto do custo percentual do dinheiro ao ano (i), taxa de juros ou taxa de oportunidade, e o preço de custo do item (p).

$$C_f = p.i \quad (55)$$

$$C_{ft} = p.i \cdot y/2 \quad (56)$$

Desse modo, de posse de todos os elementos necessários, o custo total associado à cada alternativa de suprimento, sem considerar o estoque de segurança, será dado pela seguinte equação:

$$C_t = C_{p1} + C_{p2a} + C_{p2b} + C_c + C_{ft} \quad (57)$$

$$C_t = \frac{K_1 \cdot D}{y} + K_2 D + \frac{K_3 \cdot D}{y} + \frac{h \cdot y}{2} + \frac{p.i.y}{2} \quad (58)$$

Reorganizando a equação tem-se:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + p.i) y}{2} + K_2 D \quad (59)$$

Simplificando:

$$C_t = (K_1 + K_3) \cdot D \cdot y^{-1} + \frac{(h + p.i) y}{2} + K_2 D \quad (60)$$

A função de custo total acima apresentada pode ser mostrada também de forma gráfica, em relação à variação do lote de compra (y), da seguinte forma:

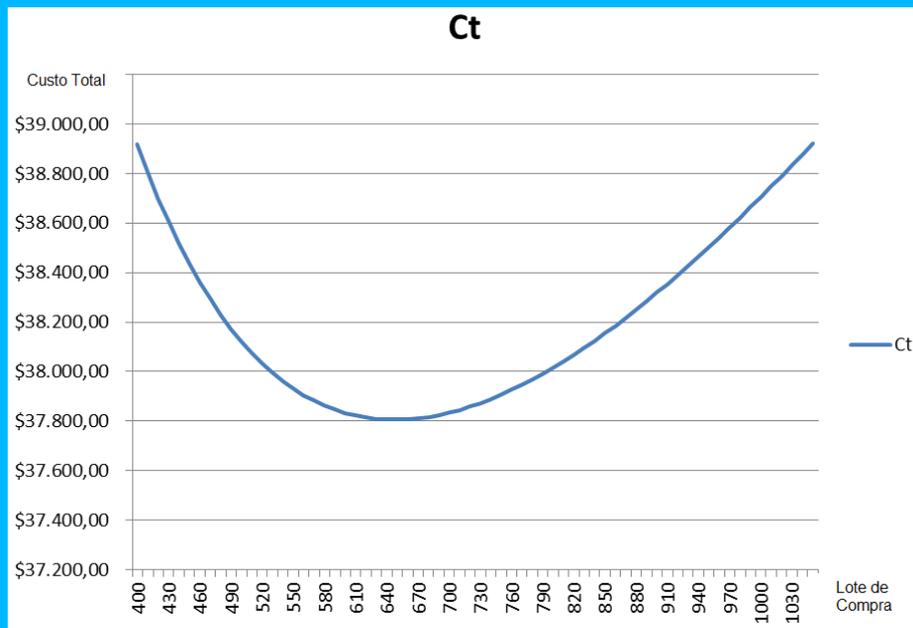


Figura 23- função custo total
 Fonte: elaboração própria

Nota-se que o custo total diminui até atingir um valor mínimo, quando então aumenta novamente. Então é possível identificar a quantidade de compra que vai minimizar esses custos associados ao processo de suprimentos. Para encontrar esse ponto mínimo da função acima, é necessário derivar à equação em relação a variável y e igualar a zero.

A primeira derivada:

$$\frac{dC_t}{dy} = -(K_1 + K_3) \cdot D \cdot y^{-2} + \frac{h+pi}{2}$$

Então, iguala-se a primeira derivada a zero:

$$\frac{dC_t}{dy} = 0$$

$$0 = -(K_1 + K_3) \cdot D \cdot y^{-2} + \frac{h+p.i}{2}$$

$$(K_1 + K_3) \cdot D = \left(\frac{h+p.i}{2} \right) y^2$$

$$y^2 = \frac{2(K_1 + K_3) \cdot D}{h+p.i} \quad (61)$$

Consequentente o lote econômico será de:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(K_1 + K_3) \cdot D}{h+p.i}} \quad (62)$$

Como $p.i = C_f$:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(K_1 + K_3) \cdot D}{h+C_f}} \quad (63)$$

y^* = Quantidade de aquisição que irá minimizar os custos totais

Pretende-se então encontrar esse marcador para cada alternativa de transporte ou de rota. A partir dele deve-se avaliar o que obtiver menor valor de custo total, que

deverá ser a alternativa a ser escolhida dentro dos parâmetros iniciais estabelecidos pelo modelo proposto.

Além disso, serão realizadas, a partir da equação do custo total desenvolvida anteriormente, análises de sensibilidade em relação à quantidade comprada (y):

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + p \cdot i) y}{2} + K_2 D \quad (64)$$

Ou:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_2 D \quad (65)$$

Supondo que existam duas alternativas de rota, alternativa α e alternativa β , então é possível encontrar os pontos de encontro das curvas de custo total, avaliação importante para escolha do modal e para análise de sensibilidade.

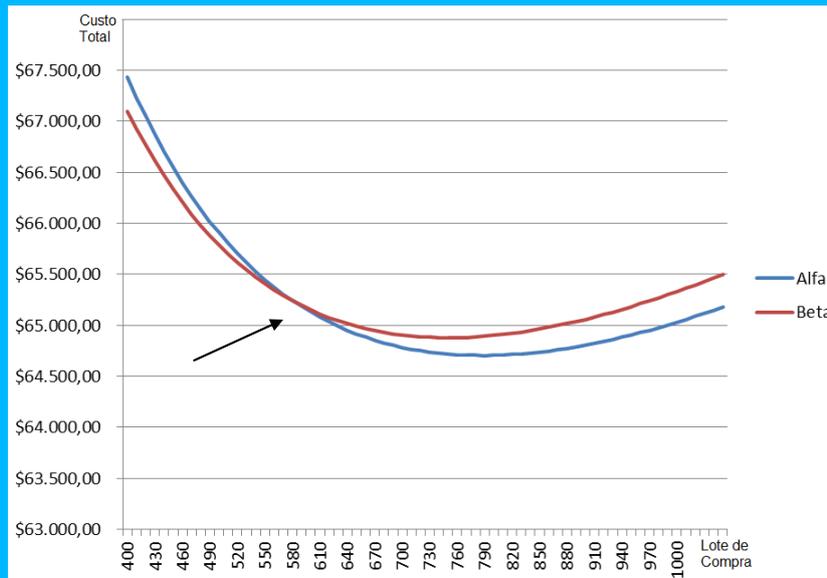


Figura 24- Ponto de itercepção dos custos totais
 Fonte: elaboração própria

Para encontrar a quantidade encomendada em que os custos totais das alternativas serão iguais, conforme observado na figura acima, é necessário fazer so cálculos dos custos para cada uma das alternativas até que eles sejam iguais. De forma mais direta, é possível encontrar de forma algébrica esse ponto da seguinte forma.

Supondo os seguintes dados para duas alternativas (α : e β):

Alternativa α :

$K_{\alpha 1}$ = custo de pedir da alternativa α ;

$K_{\alpha 2}$ = custo de pedir relativo ao transporte proporcional à quantidade transportada da alternativa α ;

$K_{\alpha 3}$ = custo de transporte proporcional ao número de pedidos (D/y) da alternativa α ;

Alternativa β :

$K_{\beta 1}$ = custo de pedir da alternativa β ;

$K_{\beta 2}$ = custo de pedir relativo ao transporte proporcional à quantidade transportada da alternativa β ;

$K_{\beta 3}$ = custo de transporte proporcional ao número de pedidos (D/y) da alternativa β ;

As alternativas serão indiferentes, tanto faz escolher uma ou outra, considerando os parâmetros de custo utilizados, quando:

$$C_{t\beta} = C_{t\alpha}$$

Assim sendo, o custo total da alternativa α será dado pela equação:

$$C_{t\alpha} = \frac{(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_{2\alpha} D \quad (66)$$

E o custo total da alternativa β será dado pela equação:

$$C_{t\beta} = \frac{(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_{2\beta} D \quad (67)$$

Igualando os custos totais:

$$C_{t\alpha} = C_{t\beta} \quad (68)$$

$$\frac{(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) \cdot D}{y} + \frac{(h+C_f) y}{2} + K_{2\alpha} D = \frac{(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot D}{y} + \frac{(h+C_f) y}{2} + K_{2\beta} D \quad (69)$$

Racionalizando a expressão acima:

$$\frac{2(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) \cdot D}{\cancel{2y}} + \frac{(h+C_f) y^2}{\cancel{2y}} + \frac{2y \cdot K_{2\alpha} D}{\cancel{2y}} = \frac{2(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot D}{\cancel{2y}} + \frac{(h+C_f) y^2}{\cancel{2y}} + \frac{2y \cdot K_{2\beta} D}{\cancel{2y}}$$

$$2(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) \cdot D + (h+C_f) y^2 + 2y \cdot K_{2\alpha} D = 2(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot D + (h+C_f) y^2 + 2y \cdot K_{2\beta} D$$

$$\cancel{(h+C_f) y^2} - \cancel{(h+C_f) y^2} + 2y \cdot K_{2\alpha} D - 2y \cdot K_{2\beta} D = 2(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot D - 2(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) \cdot D$$

$$2y \cdot K_{2\alpha} D - 2y \cdot K_{2\beta} D = 2(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot D - 2(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) \cdot D$$

$$\cancel{2} y (K_{2\alpha} - K_{2\beta}) = \cancel{2} [(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot - (K_{1\alpha} + K_{3\alpha})]$$

$$y (K_{2\alpha} - K_{2\beta}) = [(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot - (K_{1\alpha} + K_{3\alpha})]$$

$$y = \frac{[(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot - (K_{1\alpha} + K_{3\alpha})]}{(K_{2\alpha} - K_{2\beta})}$$

Conseqüentemente, a quantidade de suprimento que irá igualar os dois custos das alternativas α e β será dada pela expressão:

$$y = \frac{[(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot - (K_{1\alpha} + K_{3\alpha})]}{(K_{2\alpha} - K_{2\beta})} \quad (70)$$

4.1.2 – Modelo com estoque de segurança

Na medida em que os suprimentos de longo curso estão sujeitos a maiores variabilidades em termos de *lead-time*, é comum o uso de estoques de segurança de forma a dar proteção aos processos produtivos. Todavia essa proteção tem um custo, que deve ser levado em conta na análise mediante o modelo descrito até o momento.

Existem vários métodos para a determinação do estoque mínimo, desde os mais simples como a utilização de um percentual da demanda, ou uma média simples, até os mais elaborados que utilizam técnicas da estatística inferencial para o estabelecimento dos estoques de segurança e a probabilidade deles serem usado.

Bowersox (2008, p. 249) apresenta um modelo que consegue combinar os desvios-padrões das distribuições de frequência de demanda e do ciclo de atividades, conforme fórmula abaixo:

$$\sigma_c = \sqrt{TS_s^2 + S_t^2} \quad (71)$$

Onde,

σ_c = desvio-padrão da combinação de probabilidades

T = duração média do ciclo de atividades

S_s = desvio-padrão do ciclo de atividades

S_t = desvio-padrão das vendas diárias

Segundo o autor a fórmula estabelece uma proteção de 68,27 % de todos os ciclos de atividade. Caso queira uma proteção de 97,72 % é necessário multiplicar o resultado encontrado por dois.

Dias (1993), por sua vez, apresenta um método que relaciona a demanda mensal com o chamado fator de segurança, a ser definido de forma a proteger conta uma elevação inesperada da demanda, conforme equação 72 abaixo:

$$E_{\min} = C \cdot K \quad (72)$$

Onde:

E_{\min} = estoque de segurança ou estoque mínimo

C = consumo mensal

K = fator de segurança.

Outro modelo também proposto por dias (1993) é o chamado método da raiz quadrada. Neste método as variáveis serão o consumo mensal e o tempo de reposição, conforme equação 73 abaixo:

$$E_{seg} = \sqrt{C \cdot T_r} \quad (73)$$

Onde,

E_{seg} = estoque de segurança ou estoque mínimo

C = consumo mensal

T_r = tempo de reposição

De forma a incorporar os estoques de segurança no modelo desenvolvido anteriormente, serão desenvolvidos dois modelos com a inclusão do estoque de segurança: um proporcional à quantidade demandada por mês e outro proporcional ao tempo de reposição.

4.1.2.1 – Modelo com estoque de segurança proporcional a demanda mensal

Como comentado anteriormente, é interessante incorporar ao modelo o uso de estoques de segurança. Para tanto serão desenvolvidas as equações de custo total e da quantidade ideal de aquisição considerando inicialmente o modelo de estoque de segurança proporcional à taxa de consumo mensal do item.

Nesse modelo o estoque de segurança deverá ser proporcional ao consumo mensal, de forma a proteger contra uma eventual variação na entrega ou falta. Na medida em que o consumo mensal pode variar será estabelecido um fator de segurança como proteção do estoque de segurança, conforme equação 74 abaixo:

$$E_{seg} = \frac{F_{seg} \cdot D}{12} \quad (74)$$

Onde:

E_{seg} = estoque de segurança ou estoque mínimo

$D/12$ = consumo mensal

F_{seg} = Fator de segurança

O Fator de segurança visa aplicar uma margem para imprevistos no consumo mensal. Quanto maior esse fator maior será também o estoque de segurança. Se ele for igual a zero então não existirá estoque de segurança. Caso seja igual a um, então o estoque tem uma margem de itens proporcional a um mês de consumo do item.

Esse fator pode ser definido tanto de forma gerencial, a partir da experiência por parte dos responsáveis pelas compras com os itens a serem gerenciados, como através de análise estatísticas relativas ao comportamento do consumo do item em estudo.

Itens com maior variabilidade no consumo, maior desvio padrão da demanda, devem ter fatores de segurança maiores. Da mesma forma, para itens com consumo mais previsíveis, com menor variabilidade no consumo, indicado por menores desvios padrões na demanda, devem possuir fatores de segurança menores.

O custo de manter o estoque incluindo o estoque de segurança será:

$$C_c = h \cdot E_{Med} \quad (75)$$

Como:

$$E_{Med} = \frac{y}{2} + E_{seg} \quad (76)$$

Quando se leva em conta os estoques de segurança, então:

$$C_c = h \cdot \left(\frac{y}{2} + E_{seg} \right) \quad (77)$$

O E_{seg} pelo modelo apresentado será então:

$$E_{Med} = \frac{y}{2} + \frac{F_{seg} \cdot D}{12} \quad (78)$$

Quando se leva em conta os estoques de segurança, o custo de manutenção de estoques será de:

$$C_c = h \cdot \left(\frac{y}{2} + E_{seg} \right) \quad (79)$$

$$C_c = h \cdot \left(\frac{y}{2} + \frac{F_{seg} \cdot D}{12} \right) \quad (80)$$

Portanto, a equação de custo total será a composição dos seguintes custos:

Quadro 14- Composição do custo total para o método com estoque de segurança proporcional a demanda

Custo	Equação
O custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte (C_{p1})	$C_{p1} = K_1 \cdot D/y$
O custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (C_{p2a})	$C_{p2a} = K_2 \cdot D$

O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (C_{p2b})	$C_{p2b} = K_3 \cdot D/y$
O Custo relativo à manutenção anual do estoque (C_c),	$C_c = h \cdot \left(\frac{y}{2} + \frac{F_{seg} \cdot D}{12} \right)$
Por fim, o custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (C_{ft})	$C_f \left(\frac{y}{2} + \frac{F_{seg} \cdot D}{12} \right)$

Tomando com base a equação de custo total:

$$C_t = C_{p1} + C_{p2a} + C_{p2b} + C_c + C_{ft}$$

Substituindo na equação:

$$C_t = \frac{K_1 \cdot D}{y} + K_2 D + \frac{K_3 \cdot D}{y} + h \cdot \left(\frac{y}{2} + \frac{F_{seg} \cdot D}{12} \right) + C_f \left(\frac{y}{2} + \frac{F_{seg} \cdot D}{12} \right) \quad (81)$$

Racionalizando a equação acima:

$$C_t = \frac{D(K_1 + K_3)}{y} + \left(\frac{h + C_f}{2} \right) y + K_2 D + \frac{(h + C_f) \cdot F_{seg} \cdot D}{12} \quad (82)$$

$$C_t = \frac{D(K_1 + K_3)}{y} + \left(\frac{h + C_f}{2} \right) y + \left(\frac{12K_2 + (h + C_f) \cdot F_{seg}}{12} \right) D \quad (83)$$

Percebe-se, a partir da equação de custo total acima que os custos serão mais altos em função do elemento de custo relativo aos estoques de segurança:

$$\frac{h.F_{seg}.D}{12} \quad (84)$$

Todavia, como esse fator não é diretamente relacionado com a quantidade comprada, pois a primeira derivada de C_t em relação à y ($\frac{dC_t}{dy}$) o fator relativo aos estoques de segurança será zerado. Dessa forma, a quantidade que minimizará os custos totais continua a mesma, conforme desenvolvimento abaixo.

$$C_t = \frac{D(K_1 + K_3)}{y} + \left(\frac{h + C_f}{2} \right) y + \left(\frac{12K_2 + (h + C_f).F_{seg}}{12} \right) D$$

A primeira derivada:

$$\frac{dC_t}{dy} = -\frac{D(K_1 + K_3)}{y^2} + \left(\frac{h + C_f}{2} \right)$$

Para encontrar o ponto mínimo, iguala-se a primeira derivada a zero:

$$\frac{dC_t}{dy} = 0$$

$$\frac{D(K_1 + K_3)}{y^2} = \frac{h + C_f}{2}$$

$$y^2 = \frac{2D(K_1 + K_3)}{h + C_f}$$

Consequentemente o lote econômico será de:

$$y^* = \sqrt{\frac{2D(K_1 + K_3)}{h + C_f}} \quad (85)$$

y^* = Quantidade ideal de compra para a alternativa de transporte de longo curso

Importante perceber que nesse modelo o estoque de segurança vai contribuir com o aumento dos custos totais, mas não afetará a quantidade que minimizará C_t . Todavia, como na presente pesquisa deseja-se essencialmente avaliar os custos totais para diferentes situações de transporte esse passa a ser relevante, pois irá afetar diretamente os custos associados às rotas disponíveis.

Do mesmo modo como no modelo sem estoque de segurança, serão realizadas, a partir da equação do custo total desenvolvida anteriormente, análises de sensibilidade em relação à quantidade comprada (y) tomando como referência as equações desenvolvidas.

Da mesma forma que modelo sem estoque de segurança, mostrado anteriormente, e supondo que existam duas alternativas de rota, alternativa α e alternativa β , então é possível encontrar os pontos de encontro das curvas de custo total, agora acrescentando o estoque de segurança, avaliação importante para escolha do modal e para análise de sensibilidade.

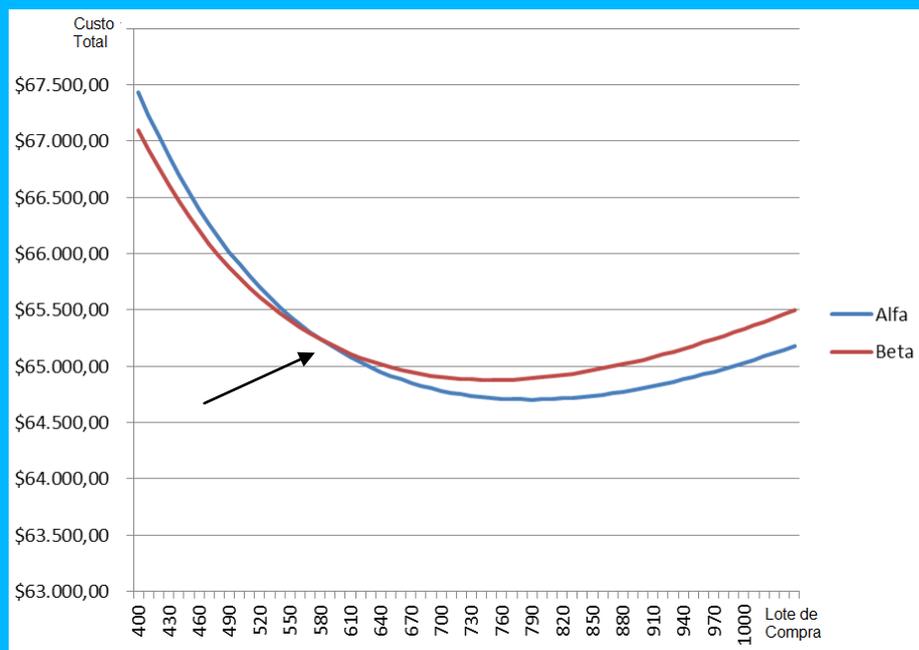


Figura 25- encontro dos custos totais, com estoques de segurança.
 Fonte: elaboração própria

Supondo os seguintes dados:

Alternativa α :

$K_{\alpha 1}$ = custo de pedir da alternativa α ;

$K_{\alpha 2}$ = custo de pedir relativo ao transporte proporcional à quantidade transportada da alternativa α ;

$K_{\alpha 3}$ = custo de transporte proporcional ao número de pedidos (D/y) da alternativa α ;

$F_{seg \alpha}$ = Fator de segurança da alternativa α

Alternativa β :

$K_{\beta 1}$ = custo de pedir da alternativa β ;

$K_{\beta 2}$ = custo de pedir relativo ao transporte proporcional à quantidade transportada da alternativa β ;

$K_{\beta 3}$ = custo de transporte proporcional ao número de pedidos (D/y) da alternativa β ;

$F_{seg \beta}$ = Fator de segurança da alternativa β

As alternativas serão indiferentes, tanto faz escolher uma ou outra, considerando os parâmetros de custo utilizados, quando:

$$C_{t\beta} = C_{t\alpha}$$

Assim sendo, o custo total da alternativa α será dado pela equação 86.

$$C_{t\alpha} = \frac{(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + \left(\frac{12K_{2\alpha} + (h + C_f) \cdot F_{seg \alpha}}{12} \right) D \quad (86)$$

E o custo total da alternativa β será dado pela equação 87.

$$C_{t\beta} = \frac{(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + \left(\frac{12K_{2\beta} + (h + C_f) \cdot F_{seg \beta}}{12} \right) D \quad (87)$$

Igualando os custos totais:

$$C_{1\alpha} = C_{1\beta}$$

$$\frac{(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) \cdot D}{y} + \frac{(h+C_f)y}{2} + \left(\frac{12K_2\alpha + (h+C_f) \cdot F_{seg} \alpha}{12} \right) D =$$

$$\frac{(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot D}{y} + \frac{(h+C_f)y}{2} + \left(\frac{12K_2\beta + (h+C_f) \cdot F_{seg} \beta}{12} \right) D$$

Racionalizando a expressão acima:

$$\frac{(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) \cdot D}{y} - \frac{(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot D}{y} = \left(\frac{12K_2\beta + (h+C_f) \cdot F_{seg} \beta}{12} \right) D - \left(\frac{12K_2\alpha + (h+C_f) \cdot F_{seg} \alpha}{12} \right) D$$

$$\frac{[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})] \cancel{D}}{y} = \left[\frac{(12K_2\beta + (h+C_f) \cdot F_{seg} \beta) - (12K_2\alpha + (h+C_f) \cdot F_{seg} \alpha)}{12} \right] \cancel{D}$$

$$y = \frac{12[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{(12K_2\beta + (h+C_f) \cdot F_{seg} \beta) - (12K_2\alpha + (h+C_f) \cdot F_{seg} \alpha)}$$

A quantidade de suprimento que irá igualar os dois custos todas das alternativas α e β será dada pela expressão:

$$y = \frac{12[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{(12K_{2\beta} + (h + C_f) \cdot F_{seg\beta}) - (12K_{2\alpha} + (h + C_f) \cdot F_{seg\alpha})} \quad (88)$$

4.1.2.2 – Modelo com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição

Nesse outro modelo serão desenvolvidas as equações de custo total e da quantidade ideal de compras considerando o método de estoque de segurança da raiz quadrada, desenvolvido por Dias (1993), conforme visto anteriormente.

$$E_{seg} = \sqrt{CT_r} \quad (89)$$

Onde,

E_{seg} = estoque de segurança ou estoque mínimo

C = consumo mensal = $D/12$

T_r = tempo de reposição

Mais dois elementos serão adicionados ao modelo, o estoque de segurança (E_{seg}), que é comum a todas as rotas avaliadas, e o Tempo de Reposição (T_r), fator relevante para se avaliar transporte de longo curso, em virtude dos evidentes aspectos financeiros e operacionais das alternativas de transporte disponíveis.

O custo de manter o estoque incluindo o estoque de segurança será:

Custo de manter = $h \cdot E_{Med}$

Como:

$$E_{Med} = \frac{y}{2} + E_{seg}$$

Quando se leva em conta os estoques de segurança, então:

$$\text{Custo de manter} = h \cdot \left(\frac{y}{2} + E_{seg} \right)$$

Substituindo o E_{seg} , tem-se:

$$\text{Custo de manter} = h \cdot \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \right)$$

O custo total será então a composição dos seguintes custos:

Quadro 15- Composição do custo total para o método com estoque de segurança proporcional ao tempo de suprimento

Custo	Equação
O custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte (Cp1)	$Cp1 = K1 \cdot D/y$
O custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (Cp2a)	$Cp2a = K2 \cdot D$

O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (C_{p2b})	$C_{p2b} = K_3 \cdot D/y$
O Custo relativo à manutenção anual do estoque (C_c),	$h \cdot \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \right)$
Por fim, o custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (C_{ft})	$C_f \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \right)$

$$C_t = C_{p1} + C_{p2a} + C_{p2b} + C_c + C_{ft}$$

$$C_t = \frac{K_1 \cdot D}{y} + K_2 D + \frac{K_3 \cdot D}{y} + h \cdot \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \right) + C_f \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \right) \quad (90)$$

Racionalizando a expressão acima:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) D}{y} + \frac{h \cdot y}{2} + \frac{C_f \cdot y}{2} + K_2 D + h \cdot \sqrt{\frac{DT_r}{12}} + C_f \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \quad (91)$$

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + (h + C_f) \sqrt{\frac{DT_r}{12}} + K_2 D \quad (92)$$

Percebe-se, a partir da equação de custo total acima que os custos serão mais altos em função do elemento de custo relativo aos estoques de segurança:

$$\sqrt{\frac{DT_r}{12}}$$

Todavia, como esse fator não é diretamente relacionado com a quantidade comprada (y), pois na primeira derivada de C_t em relação à y ($\frac{dC_t}{dy}$) o fator relativo aos estoques de segurança será zerado. A quantidade que minimizará os custos totais será:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3)D}{y} + \frac{(h + C_f)y}{2} + (h + C_f)\sqrt{\frac{DT_r}{12}} + K_2 D \quad (93)$$

A primeira derivada:

$$\frac{dC_t}{dy} = -\frac{D(K_1 + K_3)}{y^2} + \left(\frac{h + C_f}{2}\right)$$

Para encontrar o ponto mínimo, iguala-se a primeira derivada à zero:

$$\frac{dC_t}{dy} = 0$$

$$\frac{D(K_1 + K_3)}{y^2} = \frac{h + C_f}{2}$$

$$y^2 = \frac{2D(K_1 + K_3)}{h + C_f}$$

Consequentemente o lote econômico será de:

$$y^* = \sqrt{\frac{2D(K_1 + K_3)}{h + C_f}} \quad (94)$$

y^* = Quantidade ideal de compra para a alternativa de transporte

Da mesma maneira que o modelo anterior, é importante perceber que nesse o estoque de segurança vai contribuir com o aumento dos custos totais, mas não afetará a quantidade que minimizará C_t . Todavia, como na presente pesquisa deseja-se essencialmente avaliar os custos totais para diferentes situações esse passa a ser relevante, pois irá afetar diretamente os custos associados às rotas disponíveis.

Do mesmo modo como no modelo sem estoque de segurança, serão realizadas, a partir da equação do custo total desenvolvida anteriormente, análises de sensibilidade em relação à quantidade comprada (y) a partir das equações desenvolvidas.

Da mesma forma que modelo sem estoque de segurança e supondo que existam duas alternativas de rota, alternativa α e alternativa β , então é possível encontrar os pontos de encontro das curvas de custo total, agora acrescentando o estoque de segurança.

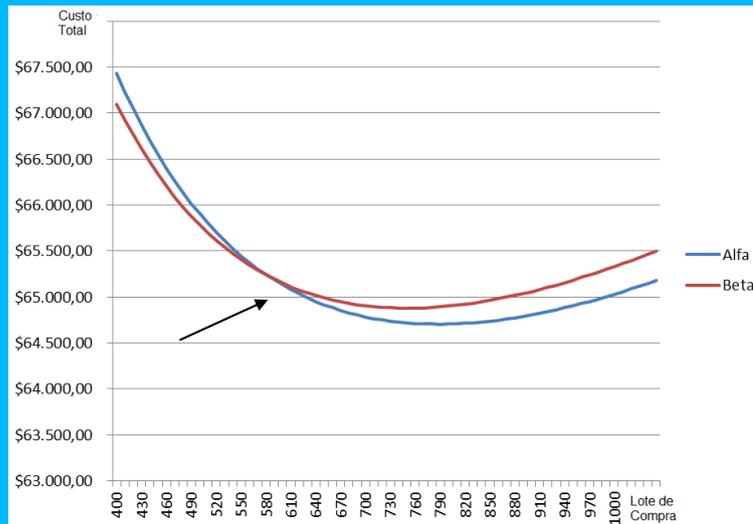


Figura 26- encontro dos custos totais, com estoques de segurança pelo método da raiz quadrada.
 Fonte: elaboração própria

Supondo os seguintes dados:

Alternativa α :

$K_{\alpha 1}$ = custo de pedir da alternativa α ;

$K_{\alpha 2}$ = custo de pedir relativo ao transporte proporcional à quantidade transportada da alternativa α ;

$K_{\alpha 3}$ = custo de transporte proporcional ao número de pedidos (D/y) da alternativa α ;

T_{ra} = Tempo de reposição da alternativa α

Alternativa β :

$K_{\beta 1}$ = custo de pedir da alternativa β ;

$K_{\beta 2}$ = custo de pedir relativo ao transporte proporcional à quantidade transportada da alternativa β ;

$K_{\beta 3}$ = custo de transporte proporcional ao número de pedidos (D/y) da alternativa β ;

$T_{r\beta}$ = Tempo de reposição da alternativa β

As alternativas serão indiferentes, tanto faz escolher uma ou outra, considerando os parâmetros de custo utilizados, quando:

$$C_{t\beta} = C_{t\alpha}$$

Logo, o custo total da alternativa α será dado pela equação 95.

$$C_{t\alpha} = \frac{(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) \cdot D}{y} + \frac{(h+C_f) y}{2} + K_{2\alpha} D + (h+C_f) \cdot \sqrt{\frac{D \cdot T_{r\alpha}}{12}} \quad (95)$$

E o custo total da alternativa β será dado pela equação:

$$C_{t\beta} = \frac{(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot D}{y} + \frac{(h+C_f) y}{2} + K_{2\beta} D + (h+C_f) \cdot \sqrt{\frac{D \cdot T_{r\beta}}{12}} \quad (96)$$

Igualando os custos totais:

$$C_{1\alpha} = C_{1\beta}$$

$$\frac{(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) \cdot D}{y} + \frac{(h+C_f)y}{2} + K_{2\alpha} D + (h+C_f) \cdot \sqrt{\frac{D \cdot T_{r\alpha}}{12}} =$$

$$\frac{(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot D}{y} + \frac{(h+C_f)y}{2} + K_{2\beta} D + (h+C_f) \cdot \sqrt{\frac{D \cdot T_{r\beta}}{12}}$$

Racionalizando a expressão acima:

$$\frac{(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) \cdot D}{y} - \frac{(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot D}{y} = \left(K_{2\beta} D + (h+C_f) \cdot \sqrt{\frac{D \cdot T_{r\beta}}{12}} \right) - \left(K_{2\alpha} D + (h+C_f) \cdot \sqrt{\frac{D \cdot T_{r\alpha}}{12}} \right)$$

$$\frac{[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})] D}{y} = D(K_{2\beta} - K_{2\alpha}) + (h+C_f) \left(\sqrt{\frac{D \cdot T_{r\beta}}{12}} - \sqrt{\frac{D \cdot T_{r\alpha}}{12}} \right)$$

$$y = \frac{D[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{D(K_{2\beta} - K_{2\alpha}) + (h+C_f) \left(\sqrt{\frac{D \cdot T_{r\beta}}{12}} - \sqrt{\frac{D \cdot T_{r\alpha}}{12}} \right)}$$

Dessa forma, a quantidade de suprimento que irá igualar os dois custos todas das alternativas α e β será dada pela expressão:

$$y = \frac{D[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{D(K_{2\beta} - K_{2\alpha}) + (h+C_f) \left(\sqrt{\frac{D \cdot T_{r\beta}}{12}} - \sqrt{\frac{D \cdot T_{r\alpha}}{12}} \right)} \quad (97)$$

5- Resultados Numéricos e Teste de Sensibilidade

De forma a testar os modelos descritos na tese serão apresentadas abaixo aplicação com dados presumidos para as situações sem e com estoque de segurança. A ideia é avaliar inicialmente uma situação presumida de decisão entre duas rotas com seus respectivos custos associados.

5.1.1 - Resultados Numéricos sem estoque de segurança

Supondo que uma empresa esteja interessada em avaliar duas alternativas de transporte: rota A e Rota B. Para tanto foram presumidas informações sobre a demanda anual (D), o custo de carregamento de estoque (h), custo de pedir (K_1) e custos de transporte (K_2 e K_3) sintetizados no quadro 16 abaixo:

Quadro 16- Dados para a aplicação teórica do modelo proposto

	Rota A	Rota B
D (demanda anual)	5000	5000
k1 (custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte, em custo por pedido)	\$600,00	\$530,00
k2 (custo de pedir relativo ao transporte proporcional à quantidade comprada(y) em custo por quantidade transportada)	\$8,88	\$9,00
k3 (custo de pedir relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (D/y) em custo por transporte realizado)	\$150,00	\$150,00
h (custo de carregamento de estoque)	\$8,00	\$8,00
P (preço de custo do item)	\$32,50	\$32,50
i = taxa de juros	20,00%	20,00%
C_f (custo financeiro de manutenção de estoque por unidade ao ano) $C_f = p.i$	$C_f = 32,5*20/100 = 6,50$	$C_f = 32,5*20/100 = 6,50$

Nota-se que ambas as rotas devem satisfazer a demanda de 5000 unidades por ano. Um primeiro passo na aplicação do modelo é encontrar os pontos de custo mínimo a partir da equação desenvolvida anteriormente:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(K_1 + K_2) \cdot D}{h_1 + C_f}} \quad (98)$$

Aplicando a equação 98 e usando as informações, tem-se:

Cálculos para a Rota A:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(600+150) \cdot 5000}{8+6,5}} = 719,19$$

A quantidade econômica da rota A seria então 719,19 unidades o que dariam 6,95 ressuprimentos por ano:

$$\text{Número de ressuprimentos por ano} = 5000 / 719,19 = 6,95$$

O intervalo entre ressuprimentos seria de 51,78 dias (para o ano comercial de 360 dias)

$$\text{Intervalo entre ressuprimentos} = 360 / 6,95 = 51,78 \text{ dias}$$

E o custo total mínimo para rota A, encontrado a partir da quantidade y^* será de:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_2 D \quad (99)$$

$$C_t = \frac{(600 + 150) \cdot 5000}{719,19} + \frac{(8 + 6,5) \cdot 719,19}{2} + 8,88 \cdot 5000$$

$$C_{t(\text{mínimo})} = \$ 54.828,33$$

Cálculos para a Rota B:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(530 + 150) \cdot 5000}{8 + 6,5}} = 684,81$$

A quantidade econômica da rota B seria então 684,81 unidades o que dariam 7,30 ressuprimentos por ano:

$$\text{Número de ressuprimentos por ano} = 5000 / 684,81 = 7,30$$

O intervalo entre ressuprimentos seria de 49,31 dias (para o ano comercial de 360 dias)

$$\text{Intervalo entre ressuprimentos} = 360 / 7,30 = 49,31 \text{ dias}$$

E o custo total mínimo para rota B, encontrado a partir da quantidade y^* será de:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_2 D \quad (100)$$

$$C_t = \frac{(530 + 150) \cdot 5000}{684,81} + \frac{(8 + 6,5) \cdot 684,81}{2} + 9,0 \cdot 5000$$

$$C_{t(\text{mínimo})} = \$ 54.929,75$$

Resumindo os resultados para as duas rotas:

Quadro 17 - resumo dos resultados do modelo para as duas rotas

	Rota A	Rota B
Y* (Quantidade econômica em unidades)	719,19	684,81
Número de pedidos (ressuprimentos por ano)	6,95	7,30
Intervalo entre pedidos (em dias)	51,78	49,31
C _{tmínimo}	\$54.828,33	\$54.929,75

A partir dos resultados do quadro 17 acima é possível concluir que a rota A apresenta o menor custo mínimo e, portanto, deve ser a escolhida.

5.1.2 – Teste de sensibilidade sem estoque de segurança

Em termos práticos é possível que a quantidade econômica de 719,19 unidades, encontrada para a rota A, pode não ser possível. Restrições nos equipamentos de transporte e armazenagem podem limitar esta quantidade encontrada.

Para tanto, em uma avaliação mais real, é interessante verificar a sensibilidade do custo total em relação a essa variação na quantidade do lote de compra. Logo seria importante avaliar o comportamento dos custos totais em função das variações nas

quantidades encomendadas, pois pode acontecer que para outra quantidade a rota B seja melhor que a rota A, em uma análise de sensibilidade.

Para tanto foram levantados todos os custos totais das duas rotas para uma variação no lote de compras. Note-se que estão ressaltadas as quantidades e custos econômicos totais para as duas alternativas. Os resultados encontram-se resumidos no quadro 18 abaixo:

Quadro 18- análise de sensibilidade dos custos totais para as duas rotas

y	Cta	Ctb
540	\$55.259,44	\$55.211,30
550	\$55.205,68	\$55.169,32
560	\$55.156,43	\$55.131,43
570	\$55.111,45	\$55.097,41
580	\$55.070,52	\$55.067,07
590	\$55.033,43	\$55.040,21
600	\$55.000,00	\$55.016,67
610	\$54.970,04	\$54.996,27
620	\$54.943,39	\$54.978,87
630	\$54.919,88	\$54.964,33
640	\$54.899,38	\$54.952,50
650	\$54.881,73	\$54.943,27
660	\$54.866,82	\$54.936,52
670	\$54.854,51	\$54.932,13
680	\$54.844,71	\$54.930,00
684,81 (Y*b)	\$54.840,84	\$54.929,75
690	\$54.837,28	\$54.930,04
700	\$54.832,14	\$54.932,14
710	\$54.829,19	\$54.936,23
719,19(Y*a)	\$54.828,33	\$54.941,67
720	\$54.828,33	\$54.942,22
730	\$54.829,49	\$54.950,03
740	\$54.832,57	\$54.959,59

Também é possível concluir, a partir dos resultados do quadro 18 acima, que existem quantidades em que o custo total da alternativa B é menor que a da Rota A. Para $y = 540$, por exemplo, o custo total de B(\$55.211,30) é menor que o da rota A

(\$55.259,44). Gráficamente existe um ponto de encontro entre as duas curvas de custo totais.

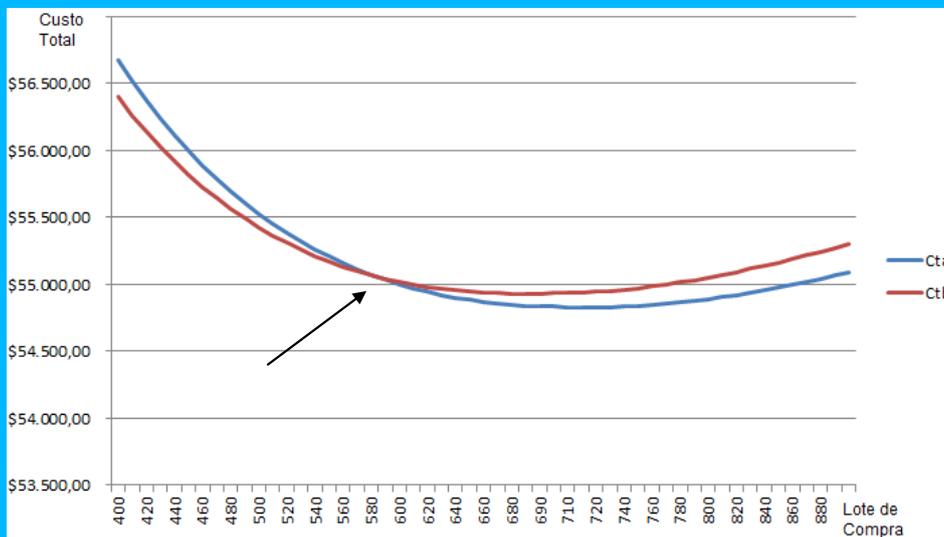


Figura 27 - curvas de custo total para as duas Rotas
Fonte: elaboração própria

Vai existir, portanto, uma quantidade, em que os dois custos totais serão iguais. É possível encontrar este ponto avaliando as diferenças entre os custos totais das duas rotas ($C_{ta} - C_{tb}$), conforme quadro 19 abaixo:

Quadro 19 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas

y	Cta	Ctb	Menor custo
500	\$ 55.525,00	\$ 55.425,00	b
510	\$ 55.450,44	\$ 55.364,17	b
520	\$ 55.381,54	\$ 55.308,46	b
530	\$ 55.317,97	\$ 55.257,59	b
540	\$ 55.259,44	\$ 55.211,30	b
550	\$ 55.205,68	\$ 55.169,32	b
560	\$ 55.156,43	\$ 55.131,43	b
570	\$ 55.111,45	\$ 55.097,41	b
580	\$ 55.070,52	\$ 55.067,07	b
590	\$ 55.033,43	\$ 55.040,21	a
600	\$ 55.000,00	\$ 55.016,67	a

610	\$	54.970,04	\$	54.996,27	a
620	\$	54.943,39	\$	54.978,87	a
630	\$	54.919,88	\$	54.964,33	a
640	\$	54.899,38	\$	54.952,50	a
650	\$	54.881,73	\$	54.943,27	a
660	\$	54.866,82	\$	54.936,52	a
670	\$	54.854,51	\$	54.932,13	a
680	\$	54.844,71	\$	54.930,00	a
684,81	\$	54.840,84	\$	54.929,75	a
690	\$	54.837,28	\$	54.930,04	a
700	\$	54.832,14	\$	54.932,14	a
710	\$	54.829,19	\$	54.936,23	a
719,19	\$	54.828,33	\$	54.941,67	a
720	\$	54.828,33	\$	54.942,22	a
730	\$	54.829,49	\$	54.950,03	a
740	\$	54.832,57	\$	54.959,59	a

Percebe-se que o ponto de encontro das duas curvas vai ocorrer entre 580 e 590 unidades, quando a diferença entre os dois custos inverte de sinal. Para encontrar essa quantidade variou-se a quantidade até que essa diferença se aproximasse de zero. Este ponto de encontro das duas curvas será de 583,33 unidades e este apresentado de forma gráfica abaixo.

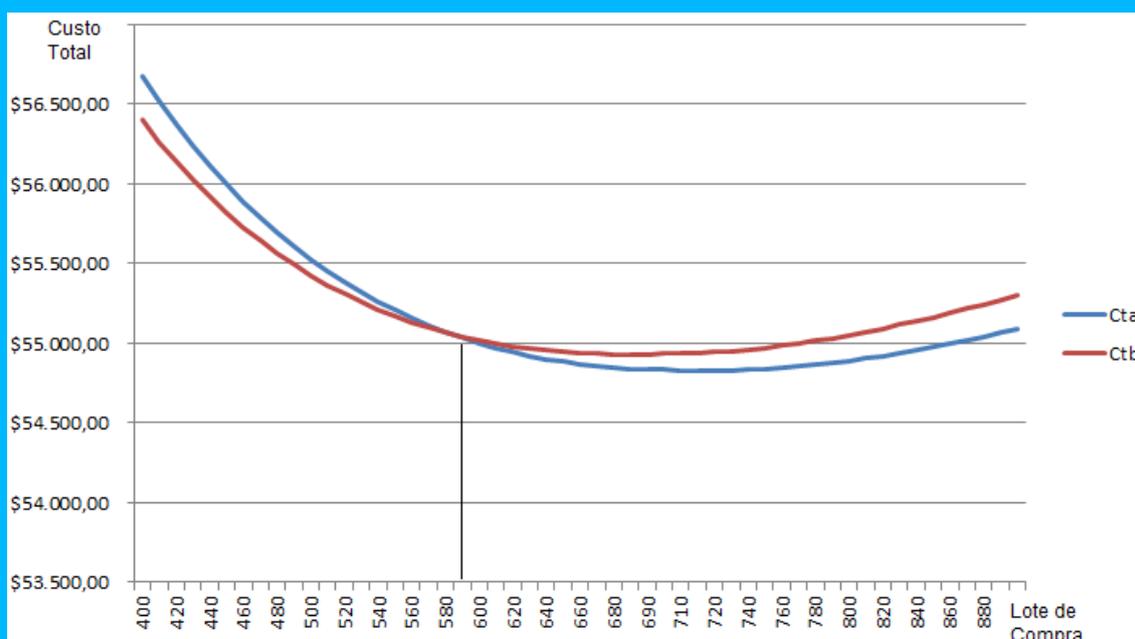


Figura 28 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas

Fonte: elaboração própria

Também é possível encontrar diretamente esse ponto utilizando a equação desenvolvida anteriormente:

$$y = \frac{[(K_{1\beta} + K_{3\beta}) \cdot -(K_{1\alpha} + K_{3\alpha})]}{(K_{2\alpha} - K_{2\beta})} \quad (101)$$

Que para as duas alternativas seria em análise seria:

$$y = \frac{[(K_{1B} + K_{3B}) \cdot -(K_{1A} + K_{3A})]}{(K_{2A} - K_{2B})}$$

Substituindo os dados:

$$y = \frac{[(530+150) \cdot -(600+150)]}{(8,88-9,00)}$$

Assim:

$$y = \frac{-70}{-0,12}$$

$$y = 583,33$$

Outro fator importante na análise é a robustez do modelo em relação a erros ou diferenças em relação a quantidade encomendada, conforme comentado por Bertaglia (2006) e Slack (2002).

Partindo do exemplo da rota A, têm-se os seguintes resultados de custos totais:

Quadro 20 - Sensibilidade do custo total em relação às variações do Lote de encomenda

% variação em Y	y	C _a	% variação no C _a
-20%	547,85	\$ 55.216,86	0,69%
-10%	616,33	\$ 54.952,80	0,20%
0%	684,81	\$ 54.840,84	0,00%
10%	753,29	\$ 54.839,52	0,00%
20%	821,77	\$ 54.921,16	0,15%
50%	1.027,22	\$ 55.497,96	1,20%
100%	1.369,62	\$ 57.067,73	4,06%

Para a rota A, uma variação de 20 % para mais na quantidade encomendada irá impactar em apenas 0,15 % no aumento dos custos totais, em comparação com o custo mínimo. Nota-se que mesmo para uma variação grande (de 50% ou mesmo 100%) o aumento não é proporcional. Uma diferença de 50% para mais no lote irá aumentar o custo total em 1,2 % e um aumento de 100% irá aumentar em 4,06%.

Consequentemente, é possível concordar com os autores quanto à robustez do modelo. Mesmo com quantidades encomendadas diferentes das ideais ou até mesmo com diferenças nos levantamentos ou mesmo na apropriação dos custos o modelo ainda pode ser satisfatório para a decisão gerencial.

De todas as análises feitas para as duas alternativas é possível afirmar que:

1. A rota ideal a ser escolhida, a que apresenta menor custo total, é a rota A, com lote de encomenda ideal de 719,19 unidades e custo total associado de \$54.828,33.

2. Entretanto, para quantidades encomendadas de até 583,33 unidades a rota B será a melhor, pois apresentará o menor custo total.
3. Para quantidades encomendada acima de 583,33 unidades a rota A passará a ser a melhor, pois após essa quantidade a alternativa apresentará o menor custo total, conforme gráfico 29 abaixo:

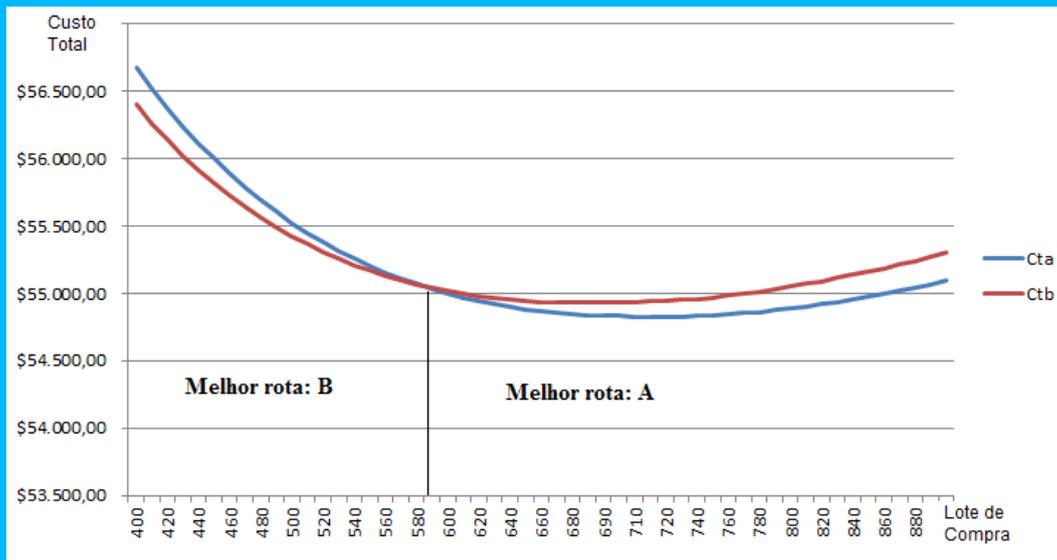


Figura 29- Escolha da melhor rota em função da quantidade encomendada (Sem estoque de segurança)
Fonte: elaboração própria

5.1.3- Resultados Numéricos com estoque de segurança

5.1.3.1- Resultados Numéricos com estoque de segurança proporcional a demanda mensal

Supondo a mesma situação anterior onde uma empresa esteja interessada em avaliar duas alternativas: rota A e rota B. Para tanto foram presumidas informações sobre a demanda anual (D), o custo de carregamento de estoque (h), custo de pedir (K_1), custos de transporte (K_2 e K_3) e Fator de segurança (F_{seg}), sintetizados no quadro abaixo:

Quadro 21- Custo e demanda da aplicação teórica do modelo proposto

	Rota A	Rota B
D (demanda anual)	5000	5000

k1 (custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte, em custo por pedido)	\$600,00	\$530,00
k2 (custo de pedir relativo ao transporte proporcional à quantidade comprada(y) em custo por quantidade transportada)	\$8,88	\$9,00
k3 (custo de pedir relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (D/y) em custo por transporte realizado)	\$150,00	\$150,00
h (custo de carregamento de estoque)	\$8,00	\$8,00
P (preço de custo do item)	\$32,50	\$32,50
i = taxa de juros	20,00%	20,00%
C _f (custo financeiro de manutenção de estoque por unidade ao ano) C _f = p.i	C _f = 32,5*20/100 = 6,50	C _f = 32,5*20/100 = 6,50
Fator de segurança (F _{seg})	0,75	0,70

Nota-se que ambas as rotas devem satisfazer a demanda de 5000 unidades por ano.

Um primeiro passo na aplicação do modelo é encontrar os pontos de custo mínimo a partir da equação desenvolvida:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(K_1 + K_3) \cdot D}{h_1 + C_f}} \quad (102)$$

Aplicando a fórmula acima usando os dados do quadro 21, tem-se:

Cálculos para a Rota A:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(600 + 150) \cdot 5000}{8 + 6,5}} = 719,19$$

A quantidade econômica da rota A seria então 719,19 unidades o que dariam 6,95 ressuprimentos por ano:

Número de ressuprimentos por ano = $5000 / 719,19 = 6,95$

O intervalo entre ressuprimentos seria de 51,78 dias (para o ano de 360 dias)

Intervalo entre ressuprimentos = $360 / 6,95 = 51,78$ dias

E o custo total mínimo para rota A, encontrado a partir da quantidade y^* será de:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + \left(\frac{12K_2 + (h + C_f) \cdot F_{seg}}{12} \right) D \quad (103)$$

$$C_t = \frac{(600 + 150) \cdot 5000}{719,19} + \frac{(8 + 6,5) 719,19}{2} + \left(\frac{12 \cdot 8,88 + (8 + 6,5) \cdot 0,75}{12} \right) 5000$$

$$C_{t(\text{mínimo})} = \$ 59.359,58$$

Cálculos para a Rota B:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(530 + 150) \cdot 5000}{8 + 6,5}} = 684,81$$

A quantidade econômica da rota B seria então 684,81 unidades o que dariam 7,30 ressuprimentos por ano:

$$\text{Número de ressuprimentos por ano} = 5000 / 684,81 = 7,30$$

O intervalo entre ressuprimentos seria de 49,31 dias (para o ano de 360 dias)

$$\text{Intervalo entre ressuprimentos} = 360 / 7,30 = 49,31 \text{ dias}$$

E o custo total mínimo para rota B, encontrado a partir da quantidade y^* será de:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + \left(\frac{12K_2 + (h + C_f) \cdot F_{seg}}{12} \right) D \quad (104)$$

$$C_t = \frac{(530 + 150) \cdot 5000}{684,81} + \frac{(8 + 6,5) \cdot 684,81}{2} + \left(\frac{12 \cdot 9,0 + (8 + 6,5) \cdot 0,70}{12} \right) 5000$$

$$C_{t(\text{mínimo})} = \$ 59.158,92$$

Resumindo os resultados para as duas rotas:

Quadro 22 - resumo dos resultados do modelo para as duas rotas

	Rota A	Rota B
Y* (Quantidade econômica em unidades)	719,19	684,81
Número de pedidos (ressuprimentos por ano)	6,95	7,30
Intervalo entre pedidos (em dias)	51,78	49,31
C _{t(mínimo)}	\$59.359,58	\$59.158,92

A partir dos resultados acima encontrados é possível concluir que a rota B apresenta o menor custo mínimo, e, portanto, deve ser a escolhida. Percebe-se aqui uma inversão na escolha da rota em função da introdução dos estoques de segurança. Na avaliação anterior, sem estoque de segurança, o custo mínimo era atingido na rota A e agora, com estoque de segurança, a melhor rota é a B.

5.1.3.2- Teste de sensibilidade com estoque de segurança proporcional a demanda mensal

Percebe-se também que a inclusão do estoque de segurança, utilizando o modelo proporcional à demanda, aumentou os custos totais mínimos.

Quadro 23 - Comparação entre os custos totais mínimos com e sem estoque de segurança

	Sem Esec	Com Esec	% de Aumento no C_t mínimo
C_t mínimo da Rota A	\$ 54.828,33	\$59.359,58	8,26%
C_t mínimo da Rota B	\$ 54.929,75	\$59.158,92	7,70%

Outra análise de sensibilidade que poderia ser feita é em relação ao efeito no custo total diante do aumento no fator de segurança (F_{seg}) conforme quadro abaixo.

Quadro 24 - Sensibilidade do custo total em relação às variações Fator de segurança

% variação em F_{seg}	F_{seg}	C_t b	% variação no C_t b
0%	0,7	\$59.158,92	0,00%
10%	0,77	\$59.581,84	0,71%
20%	0,84	\$60.004,75	1,43%
50%	1,05	\$61.273,50	3,57%
100%	1,4	\$63.388,09	7,15%

Percebe-se que variações no fator de segurança vão se refletir em aumentos no percentual de aumento nos custos totais associados. Um aumento de 100 % no fator de segurança vai resultar em um aumento de 7,15% no custo total.

Cabe ressaltar, entretanto, que uma avaliação financeira mais apurada poderia ser feita de forma a indicar quanto desse aumento no fator de segurança iria influenciar nos custos de oportunidade ou mesmo no lucro líquido. Caso seja estimado um aumento no lucro líquido maior que \$4.229,17 (\$63.388,09- \$ 59.158,92), em função do aumento de 100% no fator de segurança, então valeria a pena, em termos estritamente financeiros, o aumento nos estoques.

É preciso levar em conta, no entanto, que outros fatores não financeiros, tais como produtivos, de espaço, de satisfação dos clientes ou mesmo de qualidade, também poderiam ser determinantes para o aumento ou diminuição nos estoques de segurança.

Da mesma forma que na situação sem estoque de segurança é possível que a quantidade econômica de 684,81 unidades, encontrada para a rota B, pode não ser possível. Restrições nos equipamentos de transporte e armazenagem podem limitar esta quantidade encontrada.

Nesse caso seria importante avaliar o comportamento dos custos totais em função das variações nas quantidades encomendadas, pois pode acontecer que para outra quantidade a rota A seja melhor que a rota B.

Para tanto foram levantados todos os custos totais das duas rotas para uma variação no lote de compras. Os resultados encontram-se resumidos no quadro abaixo:

Quadro 25- análise de sensibilidade dos custos totais para as duas rotas considerando o estoque de segurança

y	Cta	Ctb
500	\$ 60.056,25	\$ 59.654,17
550	\$ 59.736,93	\$ 59.398,48
600	\$ 59.531,25	\$ 59.245,83
650	\$ 59.412,98	\$ 59.172,44
700	\$ 59.363,39	\$ 59.161,31
750	\$ 59.368,75	\$ 59.200,00
800	\$ 59.418,75	\$ 59.279,17

850	\$	59.505,51	\$	59.391,67
900	\$	59.622,92	\$	59.531,94
950	\$	59.766,12	\$	59.695,61
1000	\$	59.931,25	\$	59.879,17
1050	\$	60.115,18	\$	60.079,76
1100	\$	60.315,34	\$	60.295,08
1150	\$	60.529,62	\$	60.523,19
1200	\$	60.756,25	\$	60.762,50
1250	\$	60.993,75	\$	61.011,67
1300	\$	61.240,87	\$	61.269,55
1350	\$	61.496,53	\$	61.535,19
1400	\$	61.759,82	\$	61.807,74
1450	\$	62.029,96	\$	62.086,49
1500	\$	62.306,25	\$	62.370,83

Também é possível concluir, a partir dos resultados do quadro acima, que existem quantidade em que o custo total da alternativa A é melhor que a da Rota B. Para $y=1200$, por exemplo, o custo total de A (\$60.756,25) é menor que o da rota B (\$60.762,50). Graficamente existe um ponto de cruzamento entre as duas curvas de custo totais.

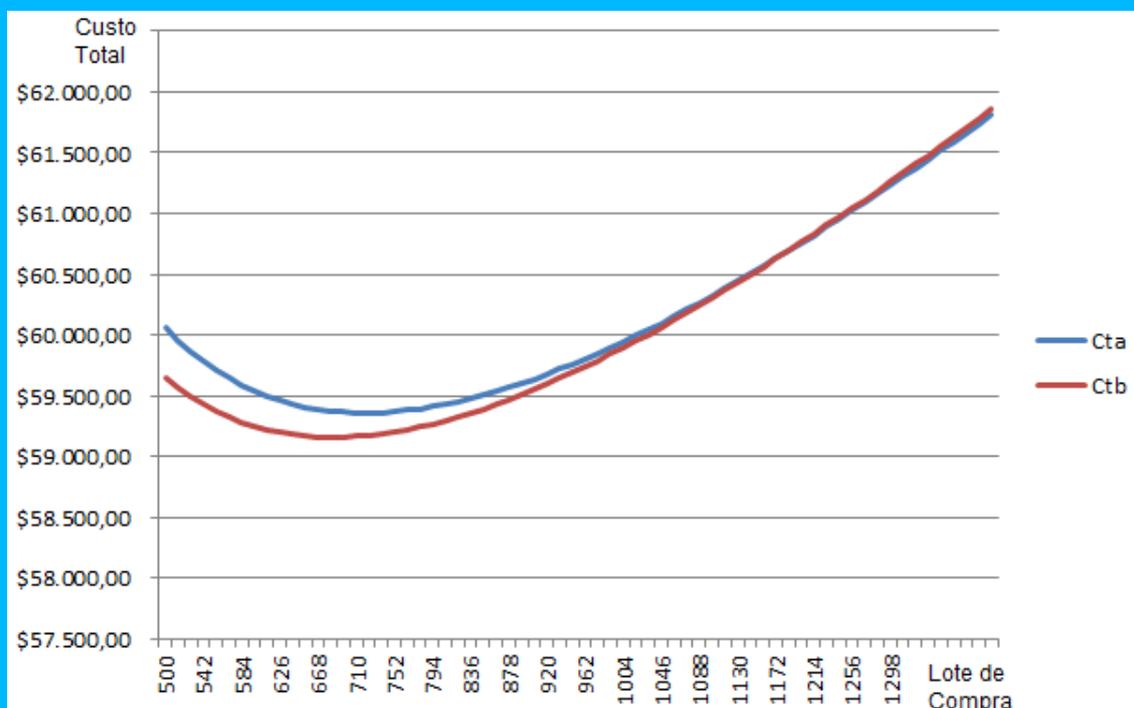


Figura 30 - curvas de custo total para as duas rotas considerando o estoque de segurança

Fonte: elaboração própria

Vai existir, portanto, uma quantidade, em que os dois custos totais serão iguais. É possível encontrar este ponto avaliando as diferenças entre os custos totais das duas rotas ($C_{ta} - C_{tb}$), conforme quadro abaixo:

Quadro 26 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas considerando o estoque de segurança

y	C _{ta}	C _{tb}	C _{ta} -C _{tb}	Menor custo
500	\$ 60.056,25	\$ 59.654,17	\$ 402,08	b
550	\$ 59.736,93	\$ 59.398,48	\$ 338,45	b
600	\$ 59.531,25	\$ 59.245,83	\$ 285,42	b
650	\$ 59.412,98	\$ 59.172,44	\$ 240,54	b
700	\$ 59.363,39	\$ 59.161,31	\$ 202,08	b
750	\$ 59.368,75	\$ 59.200,00	\$ 168,75	b
800	\$ 59.418,75	\$ 59.279,17	\$ 139,58	b
850	\$ 59.505,51	\$ 59.391,67	\$ 113,85	b
900	\$ 59.622,92	\$ 59.531,94	\$ 90,97	b
950	\$ 59.766,12	\$ 59.695,61	\$ 70,50	b
1000	\$ 59.931,25	\$ 59.879,17	\$ 52,08	b
1050	\$ 60.115,18	\$ 60.079,76	\$ 35,42	b
1100	\$ 60.315,34	\$ 60.295,08	\$ 20,27	b
1150	\$ 60.529,62	\$ 60.523,19	\$ 6,43	b
1200	\$ 60.756,25	\$ 60.762,50	\$ -6,25	a
1250	\$ 60.993,75	\$ 61.011,67	\$ -17,92	a
1300	\$ 61.240,87	\$ 61.269,55	\$ -28,69	a
1350	\$ 61.496,53	\$ 61.535,19	\$ -38,66	a
1400	\$ 61.759,82	\$ 61.807,74	\$ -47,92	a
1450	\$ 62.029,96	\$ 62.086,49	\$ -56,54	a
1500	\$ 62.306,25	\$ 62.370,83	\$ -64,58	a

Percebe-se a partir do quadro acima que este ponto de encontro das duas curvas vai ocorrer entre 1150 e 1200 unidades, quando a diferença entre os dois custos inverte de sinal. Para encontrar essa quantidade variou-se a quantidade até que essa diferença se aproximasse de zero. Este ponto de encontro das duas curvas será de 1.174,83 unidades e este apresentado de forma gráfica abaixo.

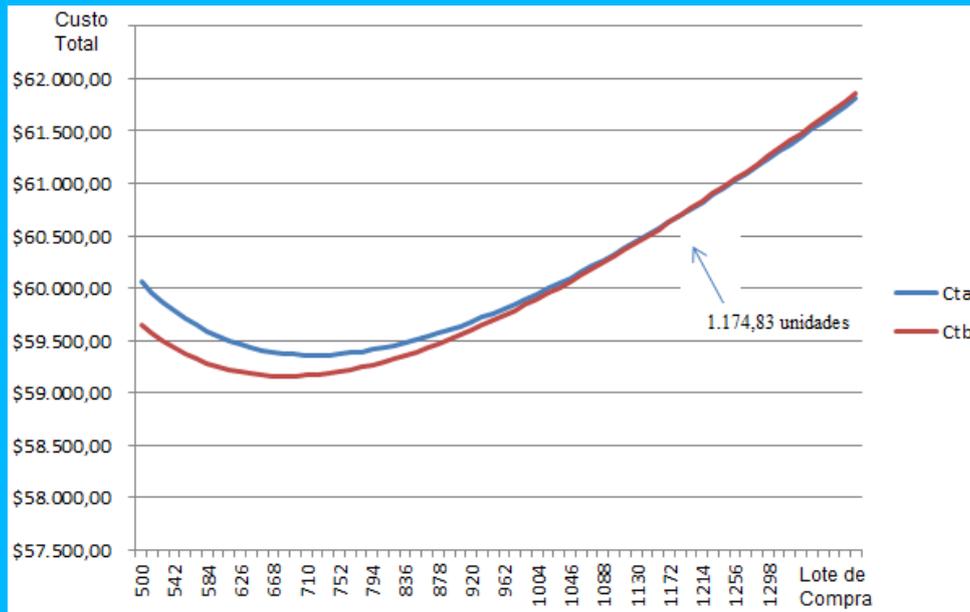


Figura 31 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas considerando o estoque de segurança

Fonte: elaboração própria

Também é possível encontrar diretamente esse ponto utilizando a equação desenvolvida:

$$y = \frac{12[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{(12K_{2\beta} + (h + C_f) \cdot F_{seg\beta}) - (12K_{2\alpha} + (h + C_f) \cdot F_{seg\alpha})} \quad (105)$$

Substituindo os dados:

$$y = \frac{12[(600 + 650) - (530 + 150)]}{(12 \cdot 9 + (8 + 6,5) \cdot 0,7) - (12 \cdot 8,88 + (8 + 6,5) \cdot 0,75)}$$

$$y = \frac{12[(600+150) - (530+150)]}{(12.9 + (8+6,5).0,7) - (12.8,88 + (8+6,5).0,75)}$$

$$y = \frac{840}{0,7150}$$

$$y = 1.174,83 \text{ unidades}$$

O lote de compra que irá igualar os custos totais das duas alternativas será de 1.174,83 unidades.

De todas as análises feitas, utilizando o método com estoque de segurança proporcional a demanda é possível concluir que:

1. A rota ideal a ser escolhida, que apresenta menor custo total, é a rota B, com lote de encomenda ideal de 684,81 unidades e custo total associado de \$ \$59.158,92.
2. Entretanto, para quantidades encomendadas até 1.174,83 unidades a rota B é a melhor, pois apresentará o menor custo total.
3. Para quantidades encomendada acima de 1.174,83 unidades a rota A passa a ser a melhor, pois após essa quantidade a alternativa apresentará o menor custo total, conforme gráfico abaixo.

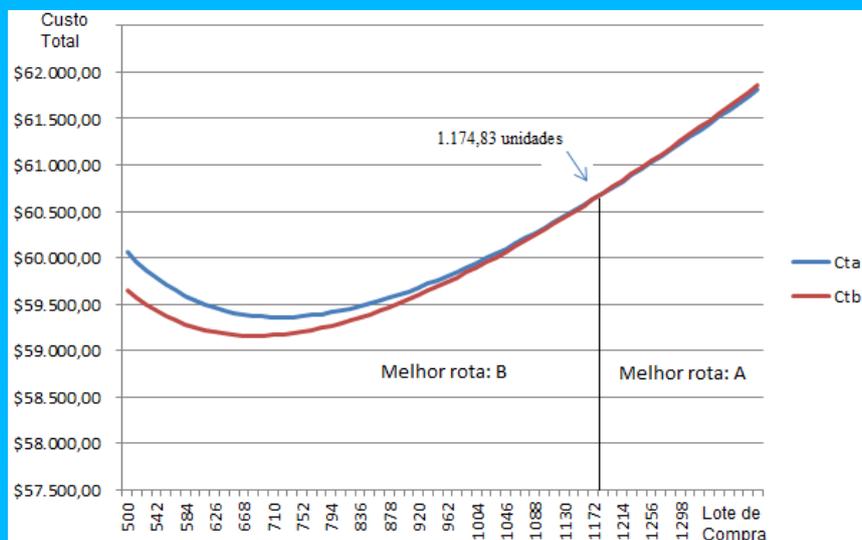


Figura 32- Escolha da melhor rota em função da quantidade encomendada (com estoque de segurança proporcional a demanda)
 Fonte: elaboração própria

5.1.3.3- Resultados Numéricos com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição

Supondo à mesma situação anterior onde uma empresa esteja interessada em avaliar duas alternativas: rota A e rota B. Para tanto foram presumidas informações sobre a demanda anual (D), o custo de carregamento de estoque (h), custo de pedir (K_1), custos de transporte (K_2 e K_3) e tempo de reposição (T_r), sintetizados no quadro abaixo:

Quadro 27- Custo e demanda da aplicação teórica do modelo proposto

	Rota A	Rota B
D (demanda anual)	5000	5000
k_1 (custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte, em custo por pedido)	\$600,00	\$530,00
k_2 (custo de pedir relativo ao transporte proporcional à quantidade comprada(y) em custo por quantidade transportada)	\$8,88	\$9,00
k_3 (custo de pedir relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (D/y) em custo por transporte realizado)	\$150,00	\$150,00
h (custo de carregamento de estoque)	\$8,00	\$8,00
P (preço de custo do item)	\$32,50	\$32,50
i = taxa de juros	20,00%	20,00%
C_f (custo financeiro de manutenção de estoque por unidade ao ano) $C_f = p.i$	$C_f = 32,5*20/100 = 6,50$	$C_f = 32,5*20/100 = 6,50$
Tempo de reposição (T_r)	$T_r = 1,00$ mês (30 dias)	$T_r = 1,50$ mês (45 dias)

Um primeiro passo na aplicação do modelo é encontrar os pontos de custo mínimo a partir da equação desenvolvida:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(K_1 + K_3) \cdot D}{h_1 + C_f}} \quad (106)$$

Aplicando a fórmula acima usando as informações resultaria em:

Cálculos para a Rota A:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(600 + 150) \cdot 5000}{8 + 6,5}} = 719,19$$

A quantidade econômica da rota A seria então 719,19 unidades o que dariam 6,95 ressuprimentos por ano:

$$\text{Número de ressuprimentos por ano} = 5000 / 719,19 = 6,95$$

O intervalo entre ressuprimentos seria de 51,78 dias (para o ano comercial de 360 dias)

$$\text{Intervalo entre ressuprimentos} = 360 / 6,95 = 51,78 \text{ dias}$$

E o custo total mínimo para rota A, encontrado a partir da quantidade y^* será de:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_2 \cdot D + (h + C_f) \cdot \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \quad (107)$$

$$C_t = \frac{(600+150) \cdot 5000}{719,19} + \frac{(8+6,5) \cdot 719,19}{2} + 8,88 \cdot 5000 + (8+6,5) \sqrt{\frac{5000 \cdot 1}{12}}$$

$$C_{t(\text{mínimo})} = \$ 55.124,31$$

Cálculos para a Rota B:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(530+150) \cdot 5000}{8+6,5}} = 684,81$$

A quantidade econômica da rota B seria então 684,81 unidades o que dariam 7,30 ressuprimentos por ano:

$$\text{Número de ressuprimentos por ano} = 5000 / 684,81 = 7,30$$

O intervalo entre ressuprimentos seria de 49,31 dias (para o ano comercial de 360 dias)

$$\text{Intervalo entre ressuprimentos} = 360 / 7,30 = 49,31 \text{ dias}$$

E o custo total mínimo para rota B, encontrado a partir da quantidade y^* será de:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_2 D + h \cdot \sqrt{\frac{D T_r}{12}} \quad (108)$$

$$C_t = \frac{(530+150) \cdot 5000}{684,81} + \frac{(8+6,5) \cdot 684,81}{2} + 9,0 \cdot 5000 + (8+6,5) \sqrt{\frac{5000 \cdot 1,5}{12}}$$

$$C_{t(\text{mínimo})} = \$55.292,25$$

Resumindo os resultados para as duas rotas:

Quadro 28 - resumo dos resultados do modelo para as duas rotas

	Rota A	Rota B
Y* (Quantidade econômica em unidades)	719,19	684,81
Número de pedidos (ressuprimentos por ano)	6,95	7,30
Intervalo entre pedidos (em dias)	51,78	49,31
C _t mínimo	\$55.124,31	\$55.292,25

A partir dos resultados acima encontrados é possível concluir que a rota A apresenta o menor custo mínimo, e, portanto, deve ser a escolhida. Percebe-se aqui novamente uma inversão na escolha da rota, desta vez a causa foi a alteração do modelo de estoque de segurança.

Na avaliação anterior, com estoque de segurança calculado pelo método proporcional a demanda mensal, o custo mínimo era atingido na rota B e agora, com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição, a melhor rota é a A.

5.1.3.4- Teste de sensibilidade com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição

Percebe-se também que a inclusão do estoque de segurança, utilizando o modelo proporcional a tempo de reposição, também aumentou os custos totais mínimos.

Quadro 29 - Comparação entre os custos totais mínimos com e sem estoque de segurança

	Sem E _{sec}	Com E _{sec}	% de Aumento no
--	----------------------	----------------------	-----------------

			C_t mínimo
C_t mínimo da Rota A	\$ 54.828,33	\$55.124,31	0,54%
C_t mínimo da Rota B	\$ 54.929,75	\$55.292,25	0,66%

Outra análise de sensibilidade que poderia ser feita é em relação ao efeito do aumento dos estoques de segurança no aumento do custo total em função do incremento no tempo de reposição (T_r), conforme quadro 30 abaixo.

Quadro 30 - Sensibilidade do custo total em relação às variações no tempo de reposição

% variação em T_r	T_r	$C_{t,a}$	% variação no $C_{t,a}$
0%	1	\$55.124,31	0,00%
20%	1,2	\$55.152,56	0,05%
30%	1,3	\$55.165,80	0,08%
50%	1,5	\$55.190,83	0,12%
100%	2	\$55.246,91	0,22%

Percebe-se que variações no tempo de reposição, por essa metodologia, não vão refletir em aumentos substanciais no percentual de aumento nos custos totais associados. Mesmo um aumento de 100 % no tempo de reposição vai refletir somente 0,22% para mais no custo total.

Cabe ressaltar aqui também que uma avaliação financeira teria que ser feita de forma a analisar quanto desse aumento no estoque de segurança iria refletir em alguma diminuição nos custos de oportunidade ou mesmo no aumento no lucro líquido. Caso seja estimado um aumento no lucro líquido maior que \$122,60 (\$55.246,91 - \$55.124,31), em função do aumento de 100% no tempo de reposição, então valeria a pena, em termos estritamente financeiros, o aumento nos estoques.

É preciso levar em conta, no entanto, que outros fatores não financeiros, tais como produtivos, de espaço, de satisfação dos clientes ou mesmo de qualidade, também poderiam ser determinantes para o aumento ou diminuição nos estoques de segurança.

Da mesma forma que na situação anterior é possível que a quantidade econômica de 719,19 unidades, encontrada para a rota A, pode não ser adequada. Restrições nos equipamentos de transporte e armazenagem podem limitar esta quantidade encontrada.

Neste caso seria importante avaliar o comportamento dos custos totais em função das variações nas quantidades compradas, pois pode acontecer que para outra quantidade a rota B seja melhor que a rota A, em uma análise de sensibilidade.

Para tanto foram levantados todos os custos totais das duas rotas para uma variação no lote de compras. Os resultados encontram-se resumidos no quadro abaixo.

Quadro 31- análise de sensibilidade dos custos totais para as duas rotas considerando o estoque de segurança pelo método da raiz quadrada

y	Cta	Ctb
510	\$55.746,42	\$55.726,67
520	\$55.677,52	\$55.670,96
530	\$55.613,95	\$55.620,09
540	\$55.555,42	\$55.573,80
550	\$55.501,66	\$55.531,82
560	\$55.452,41	\$55.493,93
570	\$55.407,43	\$55.459,91
580	\$55.366,50	\$55.429,57
590	\$55.329,41	\$55.402,71
600	\$55.295,98	\$55.379,17
610	\$55.266,02	\$55.358,77
620	\$55.239,37	\$55.341,37
630	\$55.215,86	\$55.326,83
640	\$55.195,36	\$55.315,00
650	\$55.177,71	\$55.305,77
660	\$55.162,80	\$55.299,02
670	\$55.150,49	\$55.294,63
680	\$55.140,69	\$55.292,50
684,81 (Y*b)	\$55.136,82	\$55.292,25
690	\$55.133,26	\$55.292,54
700	\$55.128,12	\$55.294,64
710	\$55.125,17	\$55.298,73
719,19(Y*a)	\$55.124,31	\$55.304,17
720	\$55.124,31	\$55.304,72
730	\$55.125,47	\$55.312,53

740	\$55.128,55	\$55.322,09
750	\$55.133,48	\$55.333,33
760	\$55.140,19	\$55.346,18
770	\$55.148,61	\$55.360,58
780	\$55.158,67	\$55.376,47
790	\$55.170,32	\$55.393,80
800	\$55.183,48	\$55.412,50

Também é possível concluir, a partir dos resultados do quadro acima, que existem quantidade em que o custo total da alternativa B é melhor que a da Rota A. Para $y= 510$, por exemplo, o custo total de B (\$55.726,67) é menor que o da rota A (\$55.746,42). Graficamente existe um ponto de intersecção entre as duas curvas de custo totais.

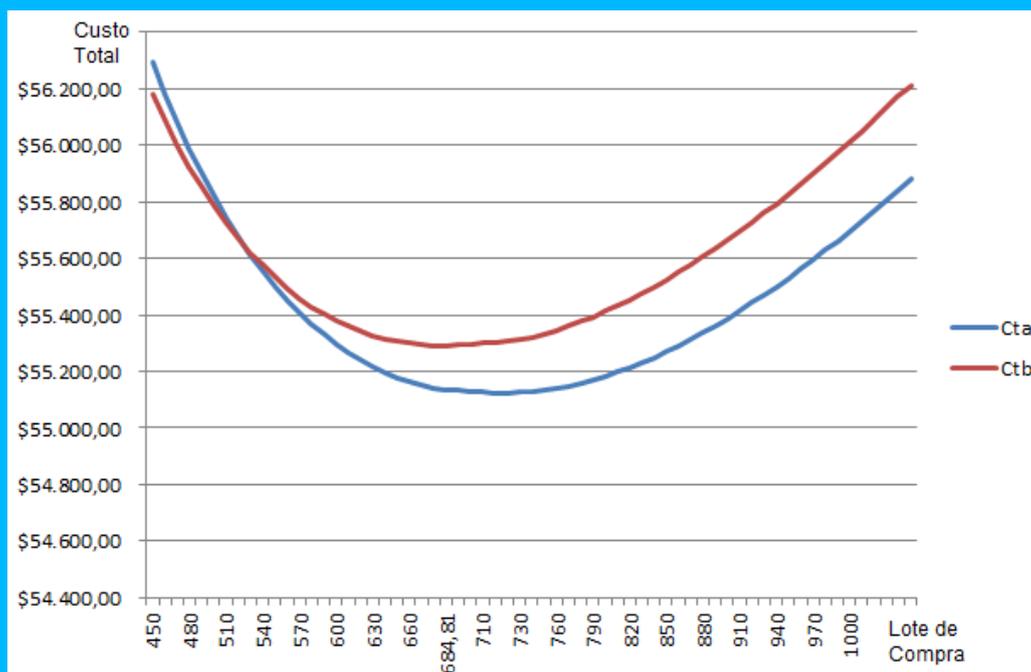


Figura 33 - curvas de custo total para as duas rotas considerando o estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição
Fonte: elaboração própria

Vai existir, portanto, uma quantidade, em que os dois custos totais serão iguais. É possível encontrar este ponto avaliando as diferenças entre os custos totais das duas rotas ($C_{ta} - C_{tb}$), conforme quadro abaixo:

Quadro 32 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas

y	Cta	Ctb	Cta-Ctb	Menor custo
450	\$56.291,81	\$56.180,56	\$111,26	b
460	\$56.183,15	\$56.088,80	\$94,35	b
470	\$56.082,20	\$56.004,04	\$78,16	b
480	\$55.988,48	\$55.925,83	\$62,65	b
490	\$55.901,54	\$55.853,78	\$47,77	b
500	\$55.820,98	\$55.787,50	\$33,48	b
510	\$55.746,42	\$55.726,67	\$19,75	b
520	\$55.677,52	\$55.670,96	\$6,56	b
530	\$55.613,95	\$55.620,09	-\$6,14	a
540	\$55.555,42	\$55.573,80	-\$18,37	a
550	\$55.501,66	\$55.531,82	-\$30,16	a
560	\$55.452,41	\$55.493,93	-\$41,52	a
570	\$55.407,43	\$55.459,91	-\$52,48	a
580	\$55.366,50	\$55.429,57	-\$63,07	a
590	\$55.329,41	\$55.402,71	-\$73,30	a
600	\$55.295,98	\$55.379,17	-\$83,19	a
610	\$55.266,02	\$55.358,77	-\$92,75	a
620	\$55.239,37	\$55.341,37	-\$102,00	a
630	\$55.215,86	\$55.326,83	-\$110,96	a
640	\$55.195,36	\$55.315,00	-\$119,64	a
650	\$55.177,71	\$55.305,77	-\$128,06	a
660	\$55.162,80	\$55.299,02	-\$136,22	a
670	\$55.150,49	\$55.294,63	-\$144,13	a
680	\$55.140,69	\$55.292,50	-\$151,81	a
684,81	\$55.136,82	\$55.292,25	-\$155,43	a
690	\$55.133,26	\$55.292,54	-\$159,27	a
700	\$55.128,12	\$55.294,64	-\$166,52	a
710	\$55.125,17	\$55.298,73	-\$173,56	a
719,19	\$55.124,31	\$55.304,17	-\$179,86	a
720	\$55.124,31	\$55.304,72	-\$180,41	a
730	\$55.125,47	\$55.312,53	-\$187,07	a
740	\$55.128,55	\$55.322,09	-\$193,55	a
750	\$55.133,48	\$55.333,33	-\$199,85	a
760	\$55.140,19	\$55.346,18	-\$205,99	a
770	\$55.148,61	\$55.360,58	-\$211,97	a
780	\$55.158,67	\$55.376,47	-\$217,80	a
790	\$55.170,32	\$55.393,80	-\$223,48	a
800	\$55.183,48	\$55.412,50	-\$229,02	a

Percebe-se a partir do quadro acima que este ponto de encontro das duas curvas vai ocorrer entre 520 e 530 unidades, quando a diferença entre os dois custos inverte de sinal. Para encontrar essa quantidade variou-se a quantidade até que essa diferença se aproximasse de zero. Este ponto de encontro das duas curvas será de 525,12 unidades e este apresentado de forma gráfica abaixo.

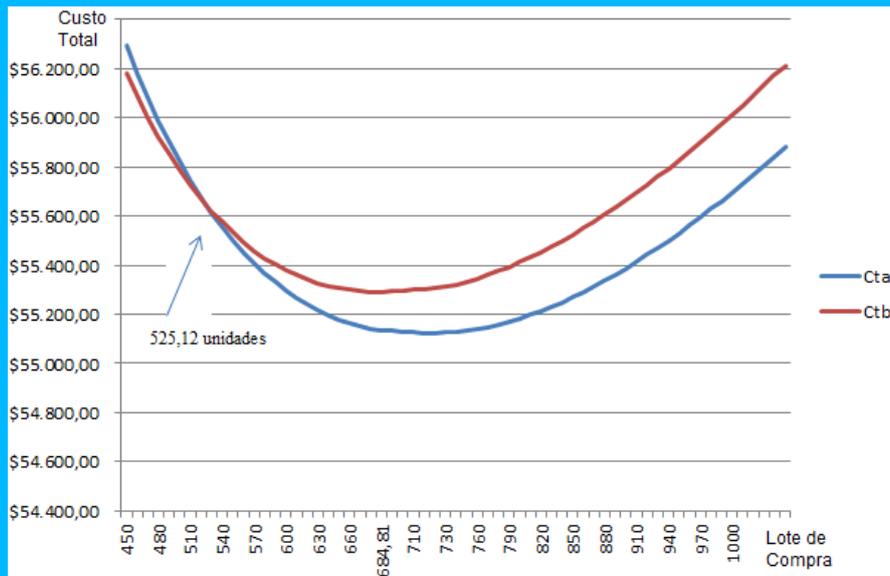


Figura 34 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas considerando o estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição
Fonte: elaboração própria

Também é possível encontrar diretamente esse ponto utilizando a equação desenvolvida:

$$y = \frac{D[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{D(K_{2\beta} - K_{2\alpha}) + (h + C_f) \left(\sqrt{\frac{DT_{r\beta}}{12}} - \sqrt{\frac{DT_{r\alpha}}{12}} \right)} \quad (109)$$

Substituindo os dados:

$$y = \frac{5000[(600+150) - (530+150)]}{5000(9,00 - 8,88) + (8+6,5) \left(\sqrt{\frac{5000 \cdot 1,5}{12}} - \sqrt{\frac{5000 \cdot 1}{12}} \right)}$$

$$y = \frac{350000}{600 + 66,52}$$

$$y = 525,12$$

Dessa forma, o lote de compra que irá igualar os custos totais das duas alternativas será de 525,12 unidades.

De todas as análises feitas, utilizando o método com estoque de segurança proporcional a demanda, para as duas rotas em estudo é possível afirmar que:

1. A rota ideal a ser escolhida, que apresenta menor custo total, é a rota A, com lote de encomenda ideal de 719,19 unidades e custo total associado de \$55.124,31.
2. Entretanto, para quantidades encomendadas de abaixo de 525,12 unidades a rota B será a melhor, pois apresentará o menor custo total.
3. Para quantidades encomendada acima de 525,12 unidades a rota A passa a ser a melhor, pois após essa quantidade a alternativa apresentará o menor custo total, conforme gráfico abaixo.

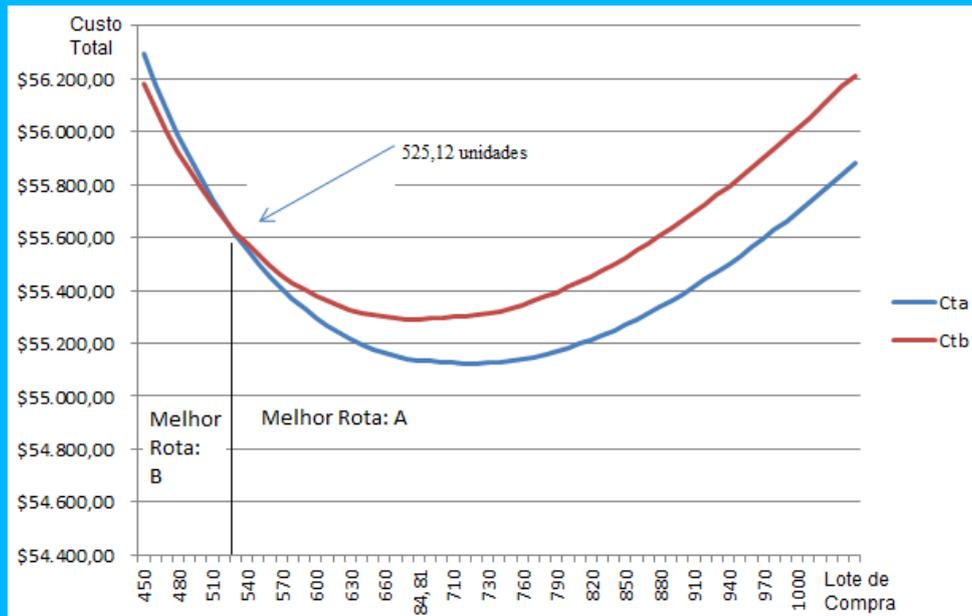


Figura 35- Escolha da melhor rota em função da quantidade encomendada (com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição)

5.1.4 – Análise do particionamento da demanda

Até o momento todos os testes foram feitos sem a avaliação da possibilidade da demanda ser encaminhada por mais de uma rota. É possível que em algumas situações de restrição logística esta possibilidade seja necessária.

Araujo (2003, p .62) comenta que o particionamento de redes de transporte pode ocorrer quando uma única unidade de trabalho (veículo, equipamento ou pessoa) não é capaz de atender a todas as demandas existente em uma rede de serviço, em virtude de restrições de capacidade ou tempo de jornada máxima.

É representada uma situação em que uma única unidade de trabalho (veículo, equipamento ou pessoa) não é capaz de atender a todas as demandas existentes em uma rede de serviço devido a existência de restrições relacionadas à capacidade, como o limite de carregamento (peso ou volume, por exemplo) e o tempo máximo da jornada de trabalho. Araujo (2003, p .62)

Silva (2010, p. 101) acrescenta que em algumas situações é melhor despachar cargas diretamente para os destinos ao invés de passar por nós intermediários, podendo dessa maneira ser interessante em termos de particionamento da demanda.

Em algumas situações é melhor despachar partes das cargas diretamente para os destinos ao invés de passar por dois *hubs*, caso exista carga suficiente para ocupar razoavelmente um veículo direto para algum terminal de destino, ou então com somente uma parada intermediária em um único *hub*. Silva (2010, p101)

Todavia, Silva (2010, p. 106) comenta que é indesejável o particionamento de uma carga por rotas distintas e com tempos de viagem diferentes, caso semelhante aos estudados até o momento.

Em outras palavras, é indesejável que uma carga, de um dado terminal de origem para um terminal de destino, seja fracionada em veículos que seguem rotas distintas, com tempos de viagem diferentes, dificultando o rastreamento das encomendas dos clientes que compõem a carga Silva. (2010, p101).

Apesar do posicionamento contrário de Silva (2010) ao particionamento de cargas, pretende-se avaliar nesta parte do trabalho a possibilidade de existir alguma vantagem em termos de custos totais em se particionar a demanda, caso seja utilizado o modelo desenvolvido.

Para tanto será utilizada a situação original onde uma empresa esteja interessada em avaliar duas alternativas de transporte: rota A e Rota B. Para tanto, foram presumidas informações sobre a demanda anual (D), o custo de carregamento de estoque (h), custo de pedir (K_1) e custos de transporte (K_2 e K_3) sintetizados no quadro 33 abaixo:

Quadro 33-Dados para a aplicação teórica do modelo proposto

	Rota A	Rota B
D (demanda anual)	5000	5000
k1 (custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte, em custo por pedido)	\$600,00	\$530,00
k2 (custo de pedir relativo ao transporte proporcional à quantidade comprada(y) em custo por quantidade transportada)	\$8,88	\$9,00
k3 (custo de pedir relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (D/y) em custo por transporte realizado)	\$150,00	\$150,00
h (custo de carregamento de estoque)	\$8,00	\$8,00
P (preço de custo do item)	\$32,50	\$32,50
i = taxa de juros	20,00%	20,00%
C _f (custo financeiro de manutenção de estoque por unidade ao ano) C _f = p.i	C _f = 32,5*20/100 = 6,50	C _f = 32,5*20/100 = 6,50

Nessa situação estudada anteriormente a demanda de 5000 unidade anuais deveria ser encaminhada por somente uma das duas alternativas de rota.

Inicialmente, para a avaliação do particionamento da demanda será utilizada uma divisão de 50% dessa demanda entre as duas rotas. Ou seja, 2500 unidade para a rota A e 2500 unidade para rota B. Logo, ambas as rotas devem satisfazer a demanda de 2500 unidades por ano.

Para a avaliação do custo total desse particionamento da demanda é necessário avaliar o custo total das demandas atendidas pelas duas rotas a partir da soma das equações de custos totais das duas rotas, da seguinte forma:

$$C_{ta} = \frac{(K_{1a} + K_{3a}) \cdot D_a}{y} + \frac{(h+C_f) y}{2} + K_{2a} D_a$$

$$C_{tb} = \frac{(K_{1b} + K_{3b}) \cdot D_b}{y} + \frac{(h+C_f) y}{2} + K_{2b} D_b$$

Assim :

$$C_t = C_{ta} + C_{tb}$$

$$C_t = \frac{(K_{1a} + K_{3a}) \cdot D_a}{y} + \frac{(h+C_f) y}{2} + K_{2a} D_a + \frac{(K_{1b} + K_{3b}) \cdot D_b}{y} + \frac{(h+C_f) y}{2} + K_{2b} D_b \quad (110)$$

A partir da equação de custo total foram avaliados os custos totais somados para as duas rotas, conforme quadro abaixo.

Quadro 34 - custo total para uma demanda particionada em 50%

	Cta	Ctb	Cta+Ctb
300	\$ 59.075,00	\$ 58.508,33	\$ 60.966,67
320	\$ 58.438,75	\$ 57.945,00	\$ 60.511,88
340	\$ 57.894,41	\$ 57.465,00	\$ 60.144,71
360	\$ 57.426,67	\$ 57.054,44	\$ 59.850,56
380	\$ 57.023,42	\$ 56.702,37	\$ 59.617,89
400	\$ 56.675,00	\$ 56.400,00	\$ 59.437,50
420	\$ 56.373,57	\$ 56.140,24	\$ 59.301,90
440	\$ 56.112,73	\$ 55.917,27	\$ 59.205,00
460	\$ 55.887,17	\$ 55.726,30	\$ 59.141,74
480	\$ 55.692,50	\$ 55.563,33	\$ 59.107,92
500	\$ 55.525,00	\$ 55.425,00	\$ 59.100,00
520	\$ 55.381,54	\$ 55.308,46	\$ 59.115,00
540	\$ 55.259,44	\$ 55.211,30	\$ 59.150,37
560	\$ 55.156,43	\$ 55.131,43	\$ 59.203,93
580	\$ 55.070,52	\$ 55.067,07	\$ 59.273,79
600	\$ 55.000,00	\$ 55.016,67	\$ 59.358,33
620	\$ 54.943,39	\$ 54.978,87	\$ 59.456,13
640	\$ 54.899,38	\$ 54.952,50	\$ 59.565,94
660	\$ 54.866,82	\$ 54.936,52	\$ 59.686,67
680	\$ 54.844,71	\$ 54.930,00	\$ 59.817,35

700	\$ 54.832,14	\$ 54.932,14	\$ 59.957,14
720	\$ 54.828,33	\$ 54.942,22	\$ 60.105,28
740	\$ 54.832,57	\$ 54.959,59	\$ 60.261,08
760	\$ 54.844,21	\$ 54.983,68	\$ 60.423,95
780	\$ 54.862,69	\$ 55.013,97	\$ 60.593,33
800	\$ 54.887,50	\$ 55.050,00	\$ 60.768,75
820	\$ 54.918,17	\$ 55.091,34	\$ 60.949,76
840	\$ 54.954,29	\$ 55.137,62	\$ 61.135,95
860	\$ 54.995,47	\$ 55.188,49	\$ 61.326,98
880	\$ 55.041,36	\$ 55.243,64	\$ 61.522,50
900	\$ 55.091,67	\$ 55.302,78	\$ 61.722,22
920	\$ 55.146,09	\$ 55.365,65	\$ 61.925,87
940	\$ 55.204,36	\$ 55.432,02	\$ 62.133,19
960	\$ 55.266,25	\$ 55.501,67	\$ 62.343,96
980	\$ 55.331,53	\$ 55.574,39	\$ 62.557,96
1000	\$ 55.400,00	\$ 55.650,00	\$ 62.775,00
1020	\$ 55.471,47	\$ 55.728,33	\$ 62.994,90
1040	\$ 55.545,77	\$ 55.809,23	\$ 63.217,50
1060	\$ 55.622,74	\$ 55.892,55	\$ 63.442,64
1080	\$ 55.702,22	\$ 55.978,15	\$ 63.670,19
1100	\$ 55.784,09	\$ 56.065,91	\$ 63.900,00
1120	\$ 55.868,21	\$ 56.155,71	\$ 64.131,96
1140	\$ 55.954,47	\$ 56.247,46	\$ 64.365,96

Percebe-se no quadro acima que o custo total mínimo para uma demanda dividida entre as duas rotas irá ocorrer quando o lote de compra for 500 com valor de custo total de R\$ 59.100,00 .

Como a rota A apresenta custo mínimo de \$54.828,33 para um lote de compra de 719,19 e a rota B um custo mínimo de \$54.929,75 para lote de compra de 684,81, conforme quadro 17, é possível afirmar que a escolha por uma demanda particionada em 50% para cada rota não é a melhor opção em termos de custos caso seja tomado como referência o modelo desenvolvido nesta pesquisa.

Visualmente é possível avaliar o comportamentos das três curvas custo total (A, B e A+B particionada) a partir do gráfico 36 abaixo:

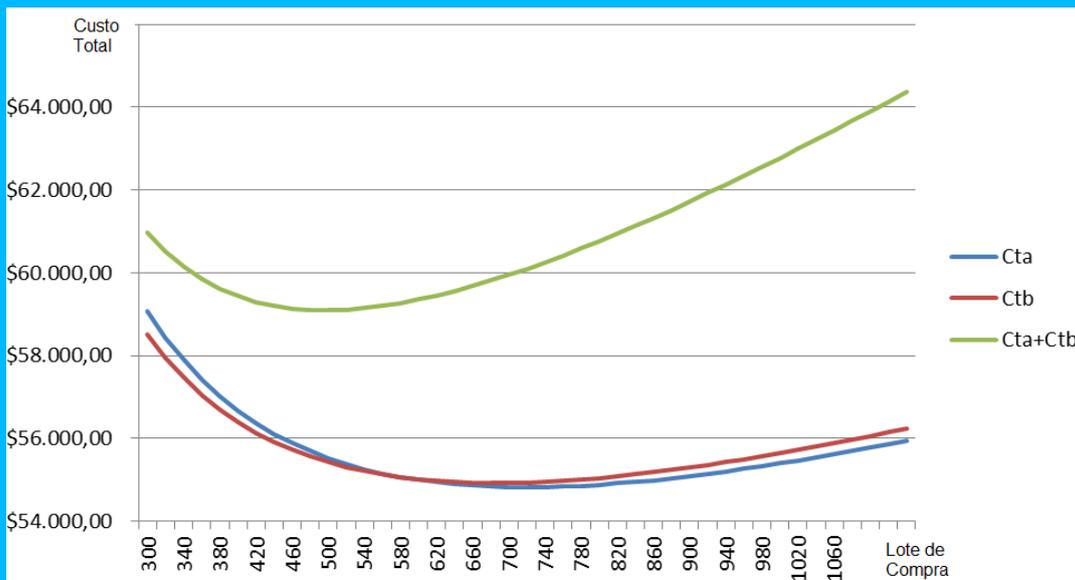


Figura 36- Gráfico de custo total para uma demanda particionada em 50%
 Fonte: elaboração Própria

Avaliando a situação onde a divisão da demanda será de 10% para rota A (500 unidade) e 90 % para rota B (4500), a curva de custo da opção particionada se aproxima da curva da rota B, conforme figura 37. Na realidade quando menor for a participação da demana na rota A mais a curva de custo total se aproxima da curva da rota B, o que é uma conclusão lógica.

Conclui-se desse modo que em uma demanda particionada, por este modelo da tese, caso seja aumentada a participação de uma rota o custo total, tende a se aproximar do custo total da rota sem que seja menor que o mesmo.

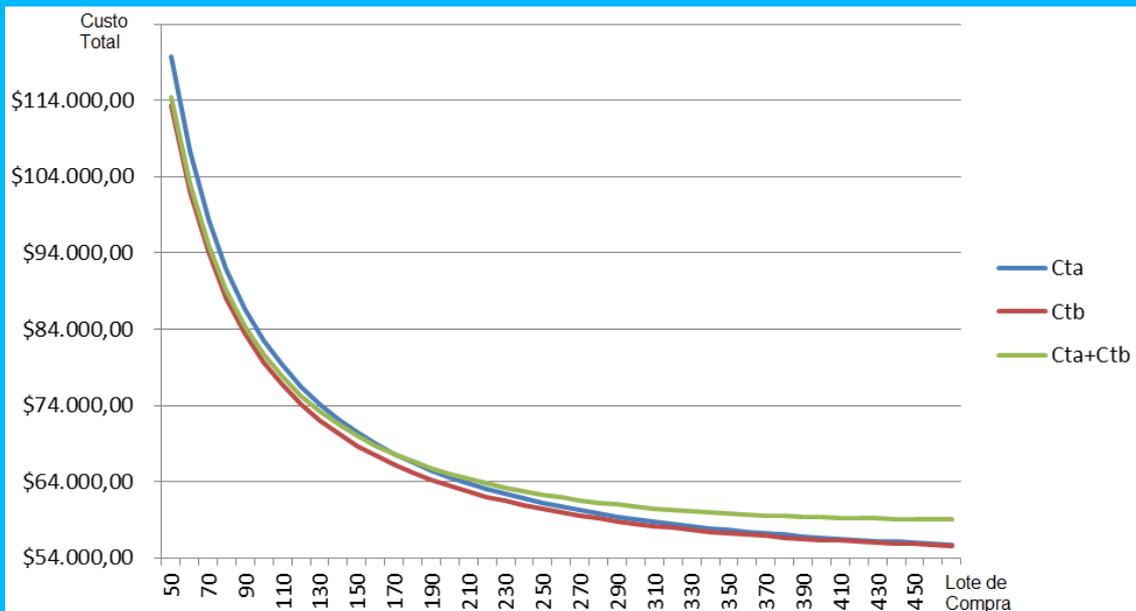


Figura 37- Gráfico de custo total para uma demanda particionada em 10% para rota A e 90% para rota B.
Fonte: elaboração própria

É possível concluir a partir das análises feitas que o particionamento da demanda entre as rotas possíveis, utilizando o modelo desenvolvido, não é uma opção indicada, corroborando inclusive com as conclusões de Silva (2010).

Apesar disso, é possível que em termos operacionais seja viável, mesmo com custos maiores que os mínimos. Como comentado anteriormente por Araujo (2003, p. 62), restrições de equipamentos de transporte, armazenamento e movimentação ou mesmo a diminuição do risco podem ser fatores a influenciar essa decisão.

5.2 – Resultados numéricos em uma situação completa

Nesta fase de aplicação teórica do modelo proposto com dados presumidos será realizada uma avaliação completa de um processo de decisão de suprimento. Para tanto, será apresentada uma situação de ressuprimento com quatro alternativas de fornecimento. Na situação será usado o modelo de estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição e seus respectivos custos associados.

5.2.1 – Apresentação da situação problema

A avaliação se dará a partir da situação presumida de suprimento de um produto com demanda anual de 15.000 unidades e custo anual de manutenção de estoque (carregamento) de \$ 10,00 por unidade. O preço de custo do item é de \$4,00 e a empresa tem custo de capital de 11% ao ano.

De forma a avaliar as opções de transporte é apresentado na figura abaixo os possíveis caminhos para chegada da carga.

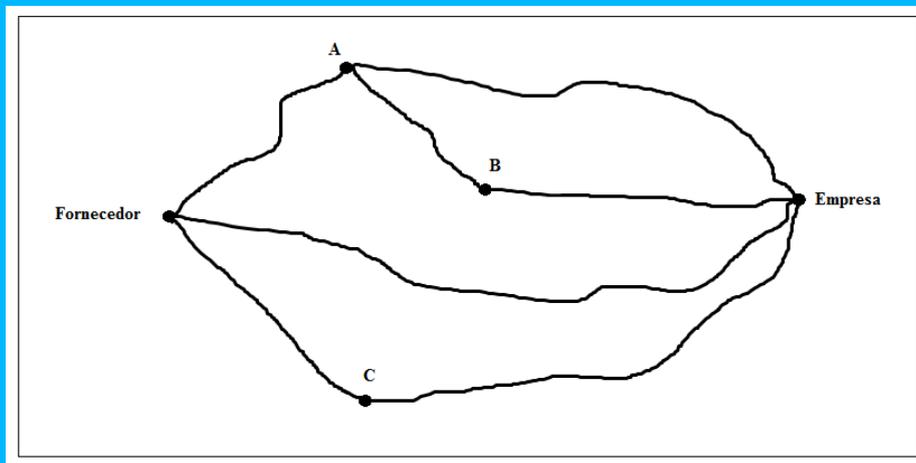


Figura 38 – Rotas de suprimento
Fonte: elaboração própria

A partir dos elementos coletados foi montado um grafo com as rotas e pontos de parada e troca de modal, conforme figura abaixo.

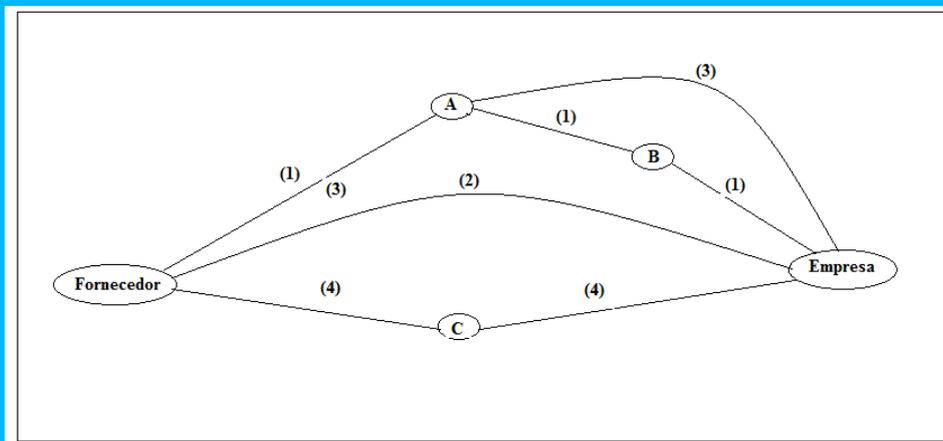


Figura 39- grafo das rotas de suprimento
Fonte: elaboração própria

A partir desse exemplo hipotético, ver figura 39, existem quatro rotas possíveis para o suprimento do item em avaliação:

A primeira rota (1) terá um ponto de parada em A, quando terá que passar por procedimentos de fiscalização. Em seguida irá até o ponto B onde ocorrerá uma transferência para outro modal. Em seguida a carga será transportada para o destino final. Ambos modais utilizados possuem custos baixos de transporte, porém velocidade baixa de deslocamento.

A rota (2) é uma ligação direta entre o fornecedor e a empresa. O tempo de deslocamento é o menor das quatro rotas, porém o custo de transporte é o maior.

Na terceira alternativa (3) a carga pode seguir o caminho inicial da rota (1) quando, no ponto A irá ocorrer a mudança de modal para ser transportada até o destino final. Possui tempo de deslocamento um pouco menor que a rota (1), porém, custo de transporte maior.

Na última rota possível (4), a carga seguirá até um ponto C quando passará por uma transferência para outro modal. Em seguida será transportada até a empresa. O tempo de deslocamento é o segundo mais baixo, entretanto, o custo de transporte é o segundo mais alto.

Para as quartas alternativas foram presumidos os dados de custo para avaliação pelo método proposto na presente tese. Para tanto, sendo que os custos K1, K2, K3 e tempos de reposição de cada alternativa, o quadro abaixo apresenta os dados relativos a cada uma das rotas possíveis.

Quadro 35 - Dados de custo para cada alternativa

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4
k1	\$600,00	\$240,00	\$540,00	\$415,00
k2	\$0,69	\$1,40	\$0,80	\$1,04
k3	\$150,00	\$60,00	\$110,00	\$85,00
TR (em meses)	1,00	0,30	0,90	0,50

Supondo essa situação onde o engenheiro de produção esteja interessado em avaliar as quatro rotas comerciais de longo curso acima, foram presumidas as informações sobre a demanda anual (D), o custo de carregamento de estoque (h), custo de pedir (K₁), custos de transporte (K₂ e K₃) e tempos de reposição (T_r), sintetizados no quadro abaixo. Deseja-se aplicar o modelo com estoque de segurança (método da raiz quadrada) desenvolvido na presente pesquisa.

Quadro 36 - Síntese dos dados do problema

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4
D (demanda anual)	15.000	15.000	15.000	15.000
k1 (custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte, em custo por pedido)	\$600,00	\$240,00	\$540,00	\$415,00
k2 custo de transporte	\$0,69	\$1,40	\$0,80	\$1,04
k3 (custo de pedir relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (D/y) em custo por transporte realizado)	\$150,00	\$60,00	\$110,00	\$85,00
h (custo de carregamento de estoque)	\$ 10,00	\$ 10,00	\$ 10,00	\$ 10,00
Tempo de reposição (Tr)	30 dias = 1,0 mês	9 dias = 0,3 mês	27 dias = 0,9 mês	15 dias = 0,5 mês

5.2.2 – Cálculo dos pontos de custo mínimo

Um primeiro passo na aplicação do modelo é encontrar os pontos de custo mínimo e custos totais mínimos.

$$y^* = \sqrt{\frac{2D(K_1 + K_3)}{h + C_f}} \quad (111)$$

Como o C_f = p.i:

$$C_f = 4,00 \cdot 0,11 = \$ 0,44$$

5.2.2.1 Cálculos para a Rota (1):

Aplicando a fórmula da quantidade ótima acima e usando as informações da rota (1) tem-se:

$$y_{(1)}^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 15000(600 + 150)}{10 + 0,44}}$$

$$y_{(1)}^* = 1468,05$$

A quantidade econômica da rota (1) seria então 1468,05 unidades o que dariam 10,22 ressuprimentos por ano:

$$\text{Número de ressuprimentos por ano} = 15000 / 1468,05 = 10,22$$

O intervalo entre ressuprimentos seria de 35,23 dias (para o ano comercial de 360 dias)

$$\text{Intervalo entre ressuprimentos} = 360 / 10,22 = 35,23 \text{ dias}$$

E o custo total mínimo para rota Multimodal (1), encontrado a partir da quantidade y^* será de:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_2 D + (h + C_f) \cdot \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \quad (112)$$

$$C_t = \frac{(600+150) \cdot 15000}{1468,05} + \frac{(10+0,44) \cdot 1468,05}{2} + 0,69 \cdot 15000 + (10+0,44) \sqrt{\frac{15000 \cdot 1,0}{12}}$$

$$C_{t(\text{mínimo})} = \$ 26.045,56$$

Graficamente o comportamento da curva de custo para a rota (1) é apresentado na figura abaixo:

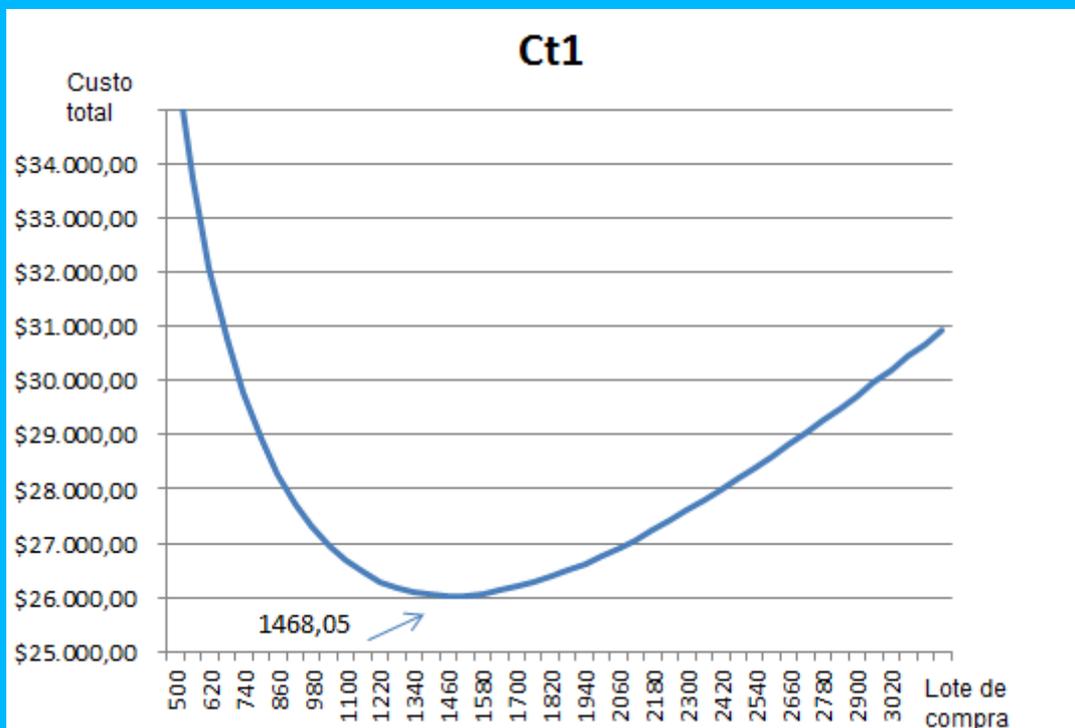


Figura 40 - curva de custo total para rota 1

Fonte: elaboração própria

A curva total de custo para rota (1) atinge um ponto mínimo para um lote de compra de 1468,05 unidades. Essa seria então a quantidade ideal para se comprar a cada vez, caso essa rota seja escolhida. Acima ou abaixo dessa quantidade o custo seria maior que o mínimo de \$26.045,56. Caso seja adotada a rota (1), seriam realizados 10,22 suprimentos por ano em intervalos de 35,23 dias.

Nesse caso, o estoque de segurança será de 35,36 unidades:

$$E_{seg} = \sqrt{\frac{D.T_r}{12}} \quad (113)$$

$$E_{seg} = \sqrt{\frac{15000.1}{12}}$$

$$E_{seg} = 35,36$$

E o estoque médio será de 769,38 unidades:

$$E_{Med} = \frac{y}{2} + E_{seg} \quad (114)$$

$$E_{Med} = \frac{1468,05}{2} + \sqrt{\frac{15000.1}{12}}$$

$$E_{Med} = 769,38$$

A partir da decomposição dos custos relativos essa alternativa, conforme tabela abaixo é possível perceber o peso de cada um dos elementos de custo do modelo. Para essa alternativa, considerando a quantidade ótima de suprimento, 39,74% do custo total é relativo ao custo de transporte (C_{p2a}), o segundo maior custo é o de manutenção anual do estoque (C_c) com 29,54% de participação. Em seguida vem o custo de o custo de pedir (C_{p1}) com \$ 6.130,58 (23,54%) de gasto. O Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (C_{ft}) e O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (C_{p2b}) possuem pouco peso relativo na decisão, somente 7,18%.

Quadro 37- decomposição dos custos relativos à alternativa 1

Custo	Equação	Custo para a Alternativa 1	%
O custo de pedir relativo aos fatores	$C_{p1} = K1. D/y$	\$ 6.130,58	23,54%

não relacionados com o transporte (Cp1)			
O custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (Cp2a)	$Cp2a = K2.D$	\$ 10.350,00	39,74%
O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (Cp2b)	$Cp2b = K3. D/y$	\$ 1.532,64	5,88%
O Custo relativo à manutenção anual do estoque (Cc),	$h \cdot \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{D.T_r}{12}} \right)$	\$ 7.693,81	29,54%
Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (Cft)	$C_f \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{D.T_r}{12}} \right)$	\$ 338,53	1,30%
Custo Total (Ct)	$Ct = Cp1 + Cp2a + Cp2b + Cc + Cft$	\$ 26.045,56	100,00%

Resumindo todos os resultados para a rota 1:

Quadro 38 - resultados para a rota 1

	Valor
Quantidade ideal de suprimento (Y*)	1468,05 unidades
Número de ressuprimentos por ano (D/Y*)	10,22 ressuprimentos
Intervalo entre ressuprimentos (360 Y*/ D)	35,23 dias
Estoque de segurança (Eseg)	35,36 unidades
Estoque de médio (Emed)	769,38 unidades
Custo Total para Y*1 (Ct)	\$ 26.045,56
O custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte (Cp1)	\$ 6.130,58
O custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (Cp2a)	\$ 10.350,00
O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (Cp2b)	\$ 1.532,64
O Custo relativo à manutenção anual do estoque (Cc),	\$ 7.693,81
Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (Cft)	\$ 338,53

5.2.2.2 Cálculos para a Rota (2):

Aplicando a fórmula da quantidade ótima acima e usando as informações da rota (2) tem-se:

$$y_{(2)}^* = \sqrt{\frac{2.15000(240+60)}{10+0,44}}$$

$$y_{(2)}^* = 928,48$$

A quantidade econômica da rota (2) seria então 928,48 unidades o que dariam 16,16 ressuprimentos por ano:

$$\text{Número de ressuprimentos por ano} = 15000 / 928,48 = 16,16$$

O intervalo entre ressuprimentos seria de 22,28 dias (para o ano comercial de 360 dias)

$$\text{Intervalo entre ressuprimentos} = 360 / 16,16 = 22,28\text{dias}$$

E o custo total mínimo para rota dois, encontrado a partir da quantidade y^* será de:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_2 D + (h + C_f) \cdot \sqrt{\frac{D \cdot T_r}{12}} \quad (115)$$

$$C_t = \frac{(240+60) \cdot 15000}{928,48} + \frac{(10+0,44)928,48}{2} + 1,40 * 15000 + (10+0,44) \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,30}{12}}$$

$$C_{t(\text{mínimo})} = \$ 30.895,47$$

Graficamente o comportamento da curva de custo para a rota (2) é apresentado na figura abaixo:

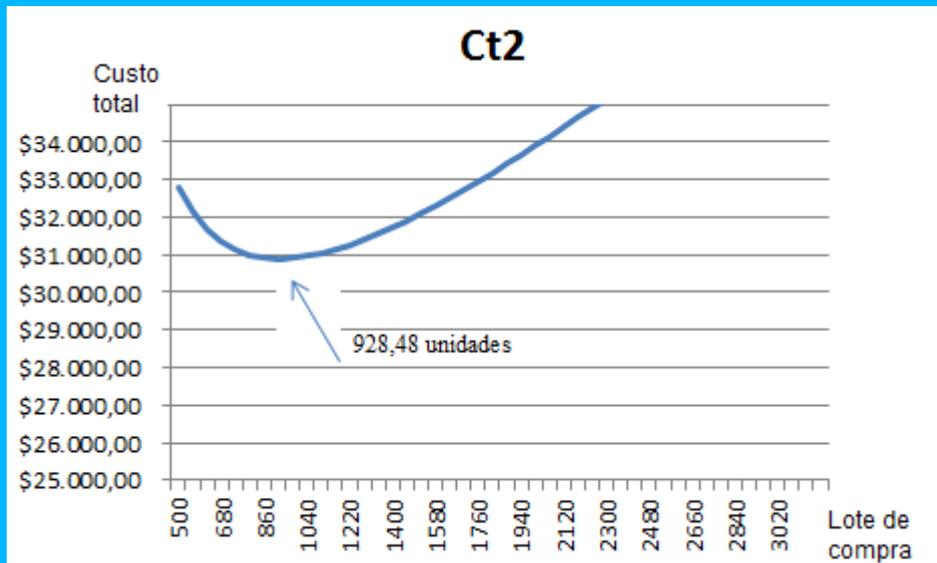


Figura 41 - curva de custo total para rota dois
Fonte: elaboração própria

A curva total de custo para rota (2) atinge um ponto mínimo para um lote de compra de 928,48 unidades. Essa seria então a quantidade ideal para se comprar a cada vez, caso a rota seja escolhida, ou seja. Acima ou abaixo dessa quantidade o custo seria maior que o mínimo de \$30.895,47. Caso seja adotada a rota (2) e a quantidade ideal de compra, então seriam realizados 16,16 suprimentos por ano em intervalos de 22,28 dias.

Nesse caso, o estoque de segurança será de 19,36 unidades:

$$E_{seg} = \sqrt{\frac{D.T_r}{12}} \quad (116)$$

$$E_{seg} = \sqrt{\frac{15000.0,3}{12}}$$

$$E_{seg} = 19,36$$

E o estoque médio será de 483,60 unidades:

$$E_{Med} = \frac{y}{2} + E_{seg} \quad (117)$$

$$E_{Med} = \frac{928,48}{2} + \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,3}{12}}$$

$$E_{Med} = 483,60$$

Percebe-se que a alternativa dois apresenta um estoque médio menor que a rota um, em função do menor tempo de reposição. Todavia, or conta de um maior custo de transporte o custo total associado à rota dois é maior que a rota um.

A partir da decomposição dos custos relativos a essa alternativa, conforme tabela abaixo, é possível perceber o peso de cada um dos elementos de custo do modelo. Para essa alternativa, considerando a quantidade ótima de suprimento, 67,97% do custo total é relativo ao custo de transporte (C_{p2a}), o segundo maior custo é o de manutenção anual do estoque (C_c) com 15,65% de participação. Em seguida vem o custo de o custo de pedir (C_{p1}) com \$3.877,32 (12,55%) de gasto. O Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (C_{ft}) e o custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (C_{p2b}) possuem pouco peso relativo na decisão, somente 3,83%.

Quadro 39- decomposição dos custos relativos à alternativa dois

Custo	Equação	Custo para a Alternativa 2	%
O custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte (C_{p1})	$C_{p1} = K1. D/y$	\$ 3.877,32	12,55%
O custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (C_{p2a})	$C_{p2a} = K2.D$	\$ 21.000,00	67,97%
O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (C_{p2b})	$C_{p2b} = K3. D/y$	\$ 969,33	3,14%

O Custo relativo à manutenção anual do estoque (Cc),	$h \cdot \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{D \cdot T_r}{12}} \right)$	\$ 4.836,03	15,65%
Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (Cft)	$C_f \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{D \cdot T_r}{12}} \right)$	\$ 212,79	0,69%
Custo Total (Ct)	$Ct = Cp1 + Cp2a + Cp2b + Cc + Cft$	\$ 30.895,47	100,00%

Em comparação com a alternativa da rota um, a rota dois apresentou maior custo total, porém menor quantidade ideal de compras. Esse efeito aconteceu, principalmente pelo maior peso do custo de transporte (100% maior que a rota um).

Resumindo todos os resultados para a rota dois:

Quadro 40 - resultados para a rota 2

	Valor
Quantidade ideal de suprimento (Y*)	928,48 unidades
Número de ressuprimentos por ano (D/Y*)	16,16 ressuprimentos
Intervalo entre ressuprimentos (360 Y*/ D)	22,28 dias
Estoque de segurança (Eseg)	19,36 unidades
Estoque de médio (Emed)	483,60 unidades
Custo Total para Y* (Ct)	\$30.895,47
O custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte (Cp1)	\$ 3.877,32
O custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (Cp2a)	\$ 21.000,00
O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (Cp2b)	\$ 969,33
O Custo relativo à manutenção anual do estoque (Cc),	\$ 4.836,03
Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (Cft)	\$ 212,79

5.2.2.3 Cálculos para a Rota (3):

Aplicando a fórmula da quantidade ótima acima e usando as informações da rota (3) tem-se:

$$y_{(3)}^* = \sqrt{\frac{2.15000(540+110)}{10+0,44}}$$

$$y_{(3)}^* = 1366,68$$

A quantidade econômica da rota (3) seria então 1366,68 unidades o que dariam 10,98 ressuprimentos por ano:

$$\text{Número de ressuprimentos por ano} = 15000 / 1366,68 = 10,98$$

O intervalo entre ressuprimentos seria de 32,80 dias (para o ano comercial de 360 dias)

$$\text{Intervalo entre ressuprimentos} = 360 / 10,98 = 32,80 \text{ dias}$$

E o custo total mínimo para rota três, encontrado a partir da quantidade y^* será de:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_2 D + (h + C_f) \cdot \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \quad (118)$$

$$C_t = \frac{(540+110) \cdot 15000}{1366,68} + \frac{(10+0,44) \cdot 1366,68}{2} + 0,80 \cdot 15000 + (10+0,44) \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,90}{12}}$$

$$C_{t(\text{mínimo})} = \$ 26.618,31$$

Graficamente o comportamento da curva de custo para a rota (3) é apresentado na figura abaixo:

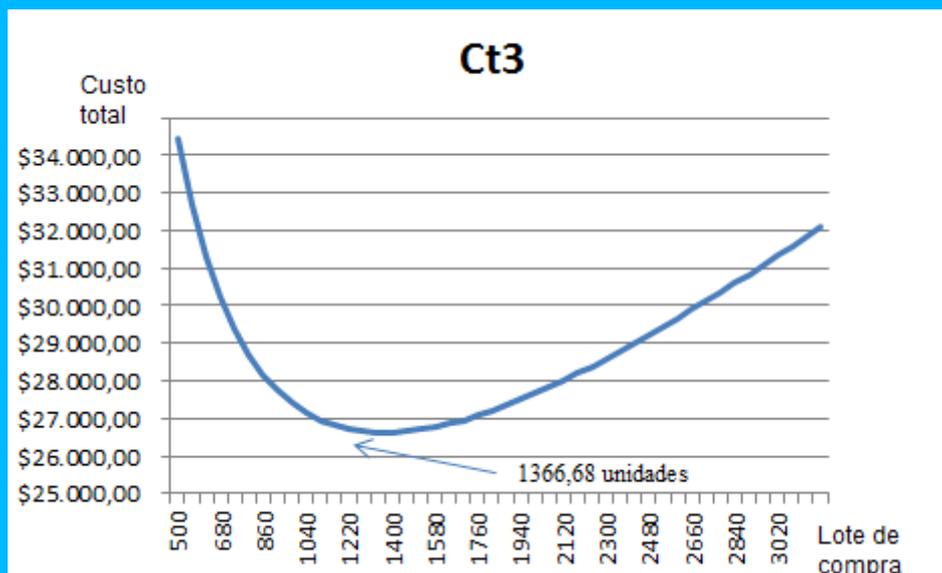


Figura 42 - curva de custo total para rota três
 Fonte: elaboração própria

A curva total de custo para rota (3) atinge um ponto mínimo para um lote de compra de 1366,68 unidades. Essa seria então a quantidade ideal para se comprar a cada vez, caso a rota seja escolhida. Acima ou abaixo dessa quantidade o custo seria maior que o mínimo de \$26.618,31. Caso seja adotada a rota (3) e a quantidade ideal de compra, então seriam realizados 10,98 suprimentos por ano em intervalos de 32,80 dias.

Nesse caso, o estoque de segurança será de 33,54 unidades:

$$E_{seg} = \sqrt{\frac{D \cdot T_r}{12}} \quad (119)$$

$$E_{seg} = \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,9}{12}}$$

$$E_{seg} = 33,54$$

E o estoque médio será de 716,88 unidades:

$$E_{Med} = \frac{y}{2} + E_{seg} \quad (120)$$

$$E_{Med} = \frac{1366,68}{2} + \sqrt{\frac{15000,0,9}{12}}$$

$$E_{Med} = 716,88$$

Percebe-se que a alternativa três apresenta um estoque médio menor que a rota dois, porém maior que a alternativa dois, isso acontece em função do menos tempo de reposição intermediário da rota e da quantidade ideal de compra. Todavia, em função de um maior custo de transporte o custo total associado à rota três é maior que a rota um. Portanto dentre as três alternativas avaliadas até o momento a rota um é a que apresenta o menor custo total associado.

A partir da decomposição dos custos relativos a essa alternativa, conforme tabela abaixo, é possível perceber o peso de cada um dos elementos de custo do modelo. Para a alternativa três, considerando a quantidade ótima de suprimento, 45,08% do custo total é relativo ao custo de transporte (C_{p2a}), o segundo maior custo é o de manutenção anual do estoque (C_c) com 26,93% de participação. Em seguida vem o custo de o custo de pedir (C_{p1}) com \$5.926,77 (22,27%) de gasto. O Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (C_{ft}) e O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (C_{p2b}) possuem pouco peso relativo na decisão, somente 5,73%.

Quadro 41- decomposição dos custos relativos a alternativa três

Custo	Equação	Custo para a Alternativa 3	%
O custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte (C_{p1})	$C_{p1} = K1. D/y$	\$ 5.926,77	22,27%
O custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (C_{p2a})	$C_{p2a} = K2.D$	\$ 12.000,00	45,08%
O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (C_{p2b})	$C_{p2b} = K3. D/y$	\$ 1.207,30	4,54%

O Custo relativo à manutenção anual do estoque (Cc),	$h \cdot \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \right)$	\$ 7.168,81	26,93%
Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (Cft)	$C_f \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \right)$	\$ 315,43	1,19%
Custo Total (Ct)	$Ct = Cp1 + Cp2a + Cp2b + Cc + Cft$	\$ 26.618,31	100,00%

Em comparação com as alternativas um e dois a rota três apresentou maior custo total bem menor que segunda alternativa, porém maior que a rota um. Também em relação à quantidade ideal essa rota ficou com quantidade intermediária entre as rotas um e dois.

Resumindo todos os resultados para a rota três:

Quadro 42 - resultados para a rota três

	Valor
Quantidade ideal de suprimento (Y*)	1366,68 unidades
Número de ressuprimentos por ano (D/Y*)	10,98 ressuprimentos
Intervalo entre ressuprimentos (360 Y*/ D)	32,80 dias
Estoque de segurança (Eseg)	33,54 unidades
Estoque de médio (Emed)	716,88 unidades
Custo Total para Y* (Ct)	\$26.618,31
O custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte (Cp1)	\$ 5.926,77
O custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (Cp2a)	\$ 12.000,00
O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (Cp2b)	\$ 1.207,30
O Custo relativo à manutenção anual do estoque (Cc),	\$ 7.168,81
Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (Cft)	\$ 315,43

5.2.2.4 Cálculos para a Rota (4):

Aplicando a fórmula da quantidade ótima acima e usando as informações da rota (4) tem-se:

$$y_{(3)}^* = \sqrt{\frac{2.15000(415+85)}{10+0,44}}$$

$$y_{(3)}^* = 1198,66$$

A quantidade econômica da rota (4) seria então 1198,66 unidades o que dariam 12,51 ressuprimentos por ano:

$$\text{Número de ressuprimentos por ano} = 15000 / 1198,66 = 12,51$$

O intervalo entre ressuprimentos seria de 28,77 dias (para o ano comercial de 360 dias)

$$\text{Intervalo entre ressuprimentos} = 360 / 12,51 = 28,77 \text{ dias}$$

E o custo total mínimo para rota quatro, encontrado a partir da quantidade y^* será de:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_2 D + (h + C_f) \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \quad (121)$$

$$C_t = \frac{(415+85) \cdot 15000}{1198,66} + \frac{(10+0,44)1198,66}{2} + 1,04 * 15000 + (10+0,44) \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,50}{12}}$$

$$C_{t(\text{mínimo})} = \$28.374,99$$

Graficamente o comportamento da curva de custo para a rota (4) é apresentado na figura abaixo:

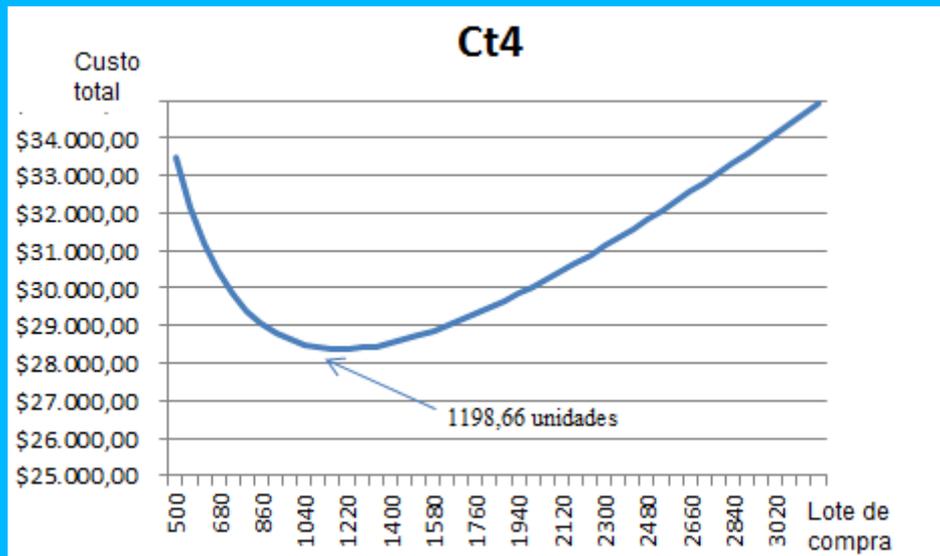


Figura 43 - curva de custo total para rota quatro
 Fonte: elaboração própria

A curva total de custo para rota (4) atinge um ponto mínimo para um lote de compra de 1198,66 unidades. Essa seria então a quantidade ideal para se comprar a cada vez. Acima ou abaixo dessa quantidade o custo seria maior que o mínimo de \$28.374,99. Caso seja adotada a rota (4) e a quantidade ideal de compra, então seriam realizados 12,51 suprimentos por ano em intervalos de 28,77 dias.

Nesse caso, o estoque de segurança será de 25,00 unidades:

$$E_{seg} = \sqrt{\frac{D.T_r}{12}} \quad (122)$$

$$E_{seg} = \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,5}{12}}$$

$$E_{seg} = 25,00$$

E o estoque médio será de 624,33 unidades:

$$E_{Med} = \frac{y}{2} + E_{seg} \quad (123)$$

$$E_{Med} = \frac{1198,66}{2} + \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,5}{12}}$$

$$E_{Med} = 624,33$$

Percebe-se que a alternativa quatro apresenta um estoque médio menor que as rotas um e três, porém maior que a alternativa dois, isso acontece em função do menos tempo de reposição intermediário da rota e da quantidade ideal de compra. Todavia, por conta de um maior custo de transporte, o custo total associado à rota quatro é maior que a rota um. Portanto, dentre as quatro alternativas avaliadas a rota um é a que apresenta menor custo total.

A partir da decomposição dos custos relativos essa alternativa, conforme tabela abaixo, é possível perceber o peso de cada um dos elementos de custo do modelo. Para essa alternativa, considerando a quantidade ótima de suprimento, 54,98% do custo total é relativo ao custo de transporte (C_{p2a}), o segundo maior custo é o de manutenção anual do estoque (C_c) com 22,00% de participação. Em seguida vem o custo de o custo de pedir (C_{p1}) com \$5.193,31 (18,30%) de gasto. O Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (C_{ft}) e o custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (C_{p2b}) possuem pouco peso relativo na decisão, somente 4,72%.

Quadro 43- decomposição dos custos relativos à alternativa quatro

Custo	Equação	Custo para a Alternativa 4	%
O custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte (C_{p1})	$C_{p1} = K1. D/y$	\$ 5.193,31	18,30%
O custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (C_{p2a})	$C_{p2a} = K2.D$	\$ 15.600,00	54,98%
O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (C_{p2b})	$C_{p2b} = K3. D/y$	\$ 1.063,69	3,75%

O Custo relativo à manutenção anual do estoque (Cc),	$h \cdot \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \right)$	\$ 6.243,29	22,00%
Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (Cft)	$C_f \left(\frac{y}{2} + \sqrt{\frac{DT_r}{12}} \right)$	\$ 274,70	0,97%
Custo Total (Ct)	$Ct = Cp1 + Cp2a + Cp2b + Cc + Cft$	\$ 28.374,99	100,00%

Em comparação com as alternativas 1, 2 e 3, a rota quatro apresentou custo total bem menor que segunda alternativa, porém maior que as rotas um e três. Em relação à quantidade ideal (y^*) essa rota ficou menor que as um e três e maior que a rota dois.

Resumindo todos os resultados para a rota quatro:

Quadro 44 - resultados para a rota quatro

	Valor
Quantidade ideal de suprimento (Y^*)	1198,66 unidades
Número de ressuprimentos por ano (D/Y^*)	12,51 ressuprimentos
Intervalo entre ressuprimentos ($360 Y^*/D$)	28,77 dias
Estoque de segurança (Eseg)	25,00 unidades
Estoque de médio (Emed)	624,33 unidades
Custo Total para Y^* (Ct)	\$28.374,99
O custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte (Cp1)	\$ 5.193,31
O custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (Cp2a)	\$ 15.600,00
O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (Cp2b)	\$ 1.063,69
O Custo relativo à manutenção anual do estoque (Cc),	\$ 6.243,29
Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (Cft)	\$ 274,70

5.2.3 Avaliação dos resultados

Considerando todos os resultados encontrados para as quatro rotas, apresentados no quadro e na figura abaixo, é possível concluir que a Rota um, considerando o modelo proposto com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição, é a que apresenta menor custo total.

Quadro 45- resumo dos cálculos para as quatro rotas

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4
Quantidade ideal de suprimento (Y^*)	1468,05 unidades	928,48 unidades	1366,68 unidades	1198,66 unidades
Número de ressuprimentos por ano (D/Y^*)	10,22 ressuprimentos	16,16 ressuprimentos	10,98 ressuprimentos	12,51 ressuprimentos
Intervalo entre ressuprimentos ($360 Y^*/D$)	35,23 dias	22,28 dias	32,80 dias	28,77 dias
Estoque de segurança (E_{seg})	35,36 unidades	19,36 unidades	33,54 unidades	25,00 unidades
Estoque de médio (E_{med})	769,38 unidades	483,60 unidades	716,88 unidades	624,33 unidades
Custo Total para Y_1^* (Ct)	\$ 26.045,56	\$30.895,47	\$26.618,31	\$28.374,99
O custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte (Cp1)	\$ 6.130,58	\$ 3.877,32	\$ 5.926,77	\$ 5.193,31
O custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada (Cp2a)	\$ 10.350,00	\$ 21.000,00	\$ 12.000,00	\$ 15.600,00
O custo relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (Cp2b)	\$ 1.532,64	\$ 969,33	\$ 1.207,30	\$ 1.063,69
O Custo relativo à manutenção anual do estoque (Cc),	\$ 7.693,81	\$ 4.836,03	\$ 7.168,81	\$ 6.243,29
Custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio (Cft)	\$ 338,53	\$ 212,79	\$ 315,43	\$ 274,70

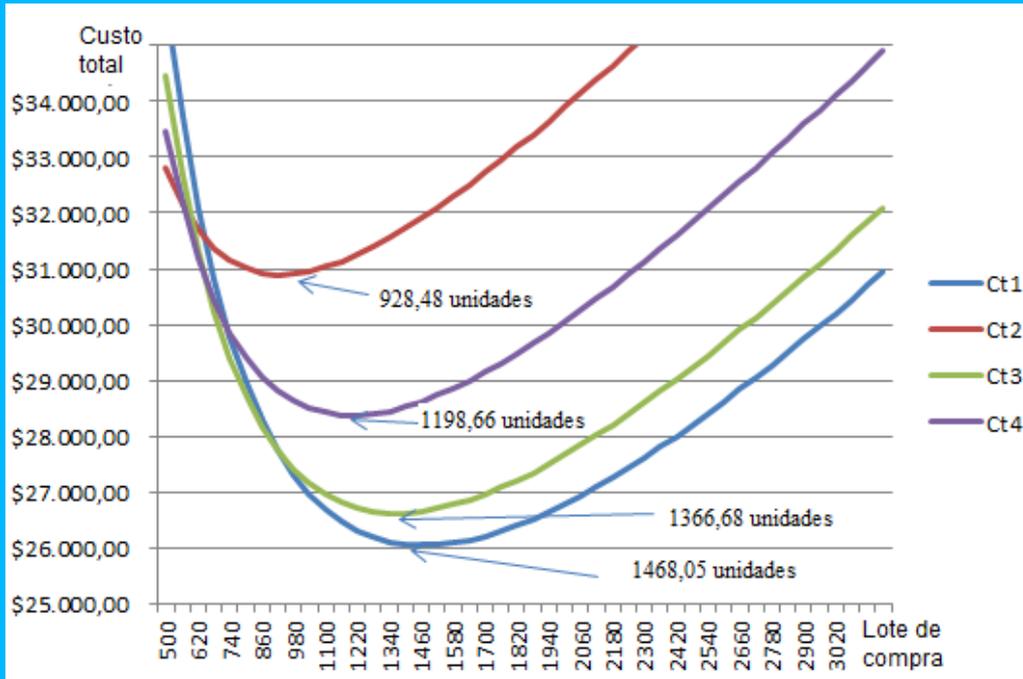


Figura 44- curvas de custo das quatro rotas
 Fonte: elaboração própria

Dessa maneira, a indicação, considerando somente os fatores levantados pelo modelo, seria escolher a rota um, e fazer o suprimento comprando 1468,05 unidades a cada aquisição do item avaliado.

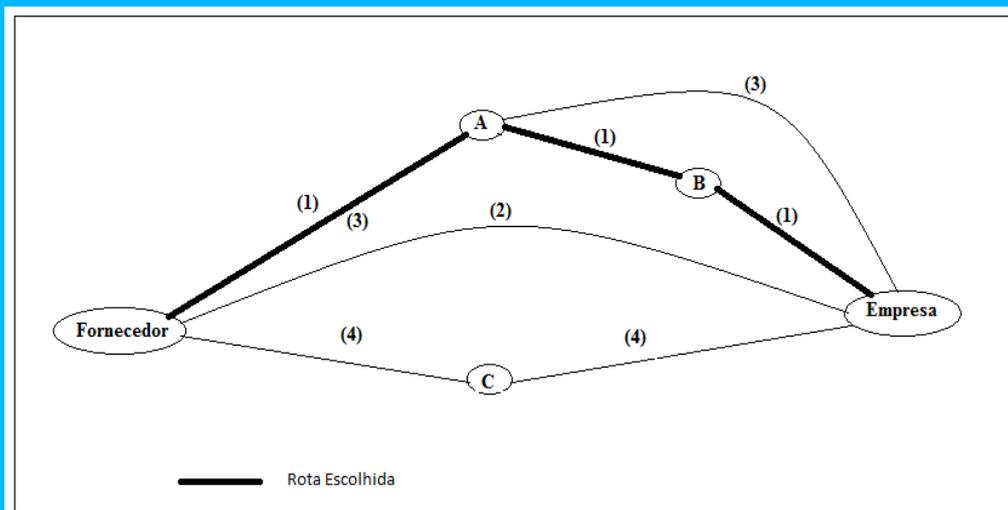


Figura 45- Rota Escolhida
 Fonte: elaboração própria

A rota a ser feita para o suprimento do item deverá seguir do fornecedor até um ponto de parada em A, quando terá que passar por procedimentos de fiscalização. Em seguida irá até o ponto B onde ocorrerá uma transferência para outro modal. Por fim a carga será transportada para o destino final, conforme figura acima.

5.2.4 – Avaliação de sensibilidade das curvas de custo total

Algebricamente a utilização do modelo em estudo proporciona a escolha da melhor rota e da melhor quantidade tomando como parâmetro os custos relativos de cada alternativa e as equações do modelo. Todavia pode não ser possível, ou não ser desejável, a quantidade teórica encontrada pelas equações. Restrições operacionais ou mesmo de estrutura da empresa podem inviabilizar a quantidade encontrada.

Nesse caso é preciso avaliar as alternativas novamente, tomando como base as curvas de custo total, de maneira a escolher a rota de conformidade com as limitações e custos envolvidos. Uma maneira de fazer essa análise é avaliar as curvas de custo total de forma a encontrar os pontos em que as curvas se cruzam, conforme visto no desenvolvimento do modelo e na figura abaixo.

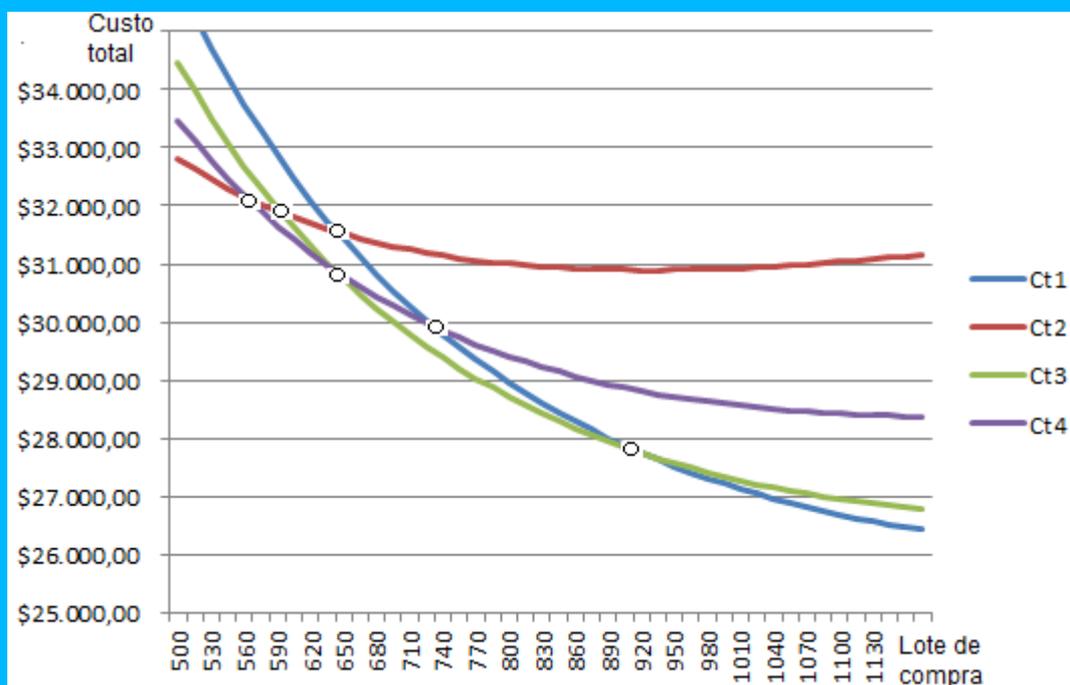


Figura 46- cruzamento das curvas de custo total

Fonte: elaboração própria

É possível identificar, a partir do gráfico seis cruzamento: $Ct_1 = Ct_2$; $Ct_1 = Ct_4$; $Ct_1 = Ct_3$; $Ct_3 = Ct_2$; $Ct_3 = Ct_4$ e $Ct_2 = Ct_4$. O próximo passo é encontrar o ponto de quantidade encomendada e de custo total para cada um desses cruzamentos, conforme equação desenvolvida para esse modelo.

$$y = \frac{D[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{D(K_{2\beta} - K_{2\alpha}) + (h + C_f) \left(\sqrt{\frac{DT_{r\beta}}{12}} - \sqrt{\frac{DT_{r\alpha}}{12}} \right)} \quad (124)$$

Para $Ct_1 = Ct_2$

Quantidade em que as curvas de custo total um e 2 se encontram:

$$y = \frac{D[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{D(K_{2\beta} - K_{2\alpha}) + (h + C_f) \left(\sqrt{\frac{DT_{r\beta}}{12}} - \sqrt{\frac{DT_{r\alpha}}{12}} \right)} \quad (125)$$

$$y = \frac{15000[(600 + 150) - (240 + 60)]}{15000(1,40 - 0,69) + (10 + 0,44) \left(\sqrt{\frac{15000 \cdot 0,3}{12}} - \sqrt{\frac{15000 \cdot 1}{12}} \right)}$$

$$y = 643,90$$

Para quantidade de compra de 643,90 unidades os custos totais das alternativas um e dois serão iguais a \$31.552,01.

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3)D}{y} + \frac{(h + C_f)y}{2} + (h + C_f)\sqrt{\frac{DT_r}{12}} + K_2 D \quad (126)$$

$$C_{t1} = \frac{(600 + 150)15000}{643,896} + \frac{(10 + 0,44)643,896}{2} + (10 + 0,44)\sqrt{\frac{15000 \cdot 1}{12}} + 0,69 \cdot 15000$$

$$C_{t1} = \$31.552,01$$

$$C_{t2} = \frac{(240 + 60)15000}{643,896} + \frac{(10 + 0,44)643,896}{2} + (10 + 0,44)\sqrt{\frac{15000 \cdot 0,3}{12}} + 1,40 \cdot 15000$$

$$C_{t2} = \$31.552,01$$

Graficamente são identificadas as zonas de escolha entre as duas alternativas:

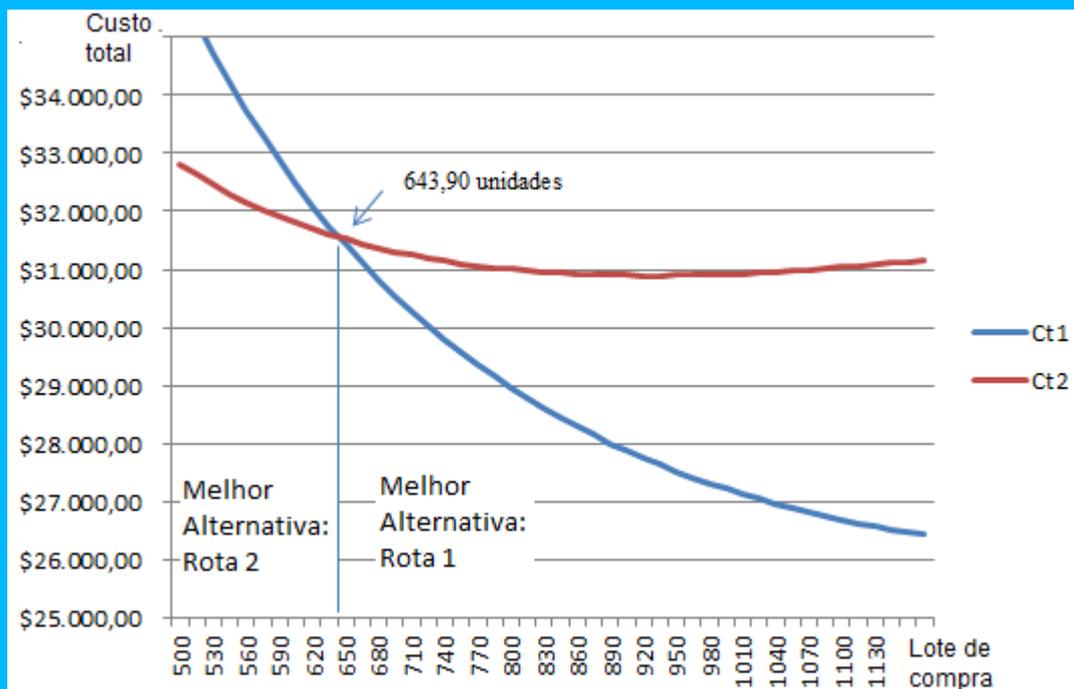


Figura 47- curvas de custo total um e dois
Fonte: elaboração própria

Portanto, caso as outras duas alternativas não fossem possíveis, a rota dois deveria ser a escolhida para quantidades encomendadas de até 643,9 unidades. A partir dessa quantidade a rota escolhida seria a um, pois apresentaria menor custo total.

Para $C_{t1} = C_{t4}$

Quantidade em que as curvas de custo total um e 4 se encontram:

$$y = \frac{D[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{D(K_{2\beta} - K_{2\alpha}) + (h + C_f) \left(\sqrt{\frac{DT_{r\beta}}{12}} - \sqrt{\frac{DT_{r\alpha}}{12}} \right)} \quad (127)$$

$$y = \frac{15000[(600 + 150) - (415 + 85)]}{15000(1,04 - 0,69) + (10 + 0,44) \left(\sqrt{\frac{15000 \cdot 0,5}{12}} - \sqrt{\frac{15000 \cdot 1}{12}} \right)}$$

$$y = 729,30$$

Para quantidade de compra de 729,30 unidades os custos totais das alternativas um e quatro serão iguais a \$29.951,75.

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3)D}{y} + \frac{(h + C_f)y}{2} + (h + C_f) \sqrt{\frac{DT_r}{12}} + K_2 D \quad (128)$$

$$C_{t1} = \frac{(600 + 150)15000}{729,304} + \frac{(10 + 0,44)729,304}{2} + (10 + 0,44) \sqrt{\frac{15000 \cdot 1}{12}} + 0,69 \cdot 15000$$

$$C_{t1} = \$29.951,75$$

$$C_{t4} = \frac{(415 + 85)15000}{729,304} + \frac{(10 + 0,44)729,304}{2} + (10 + 0,44) \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,5}{12}} + 1,04 \cdot 15000$$

$$C_{t4} = \$29.951,75$$

Graficamente são identificadas as zonas de escolha entre as duas alternativas:

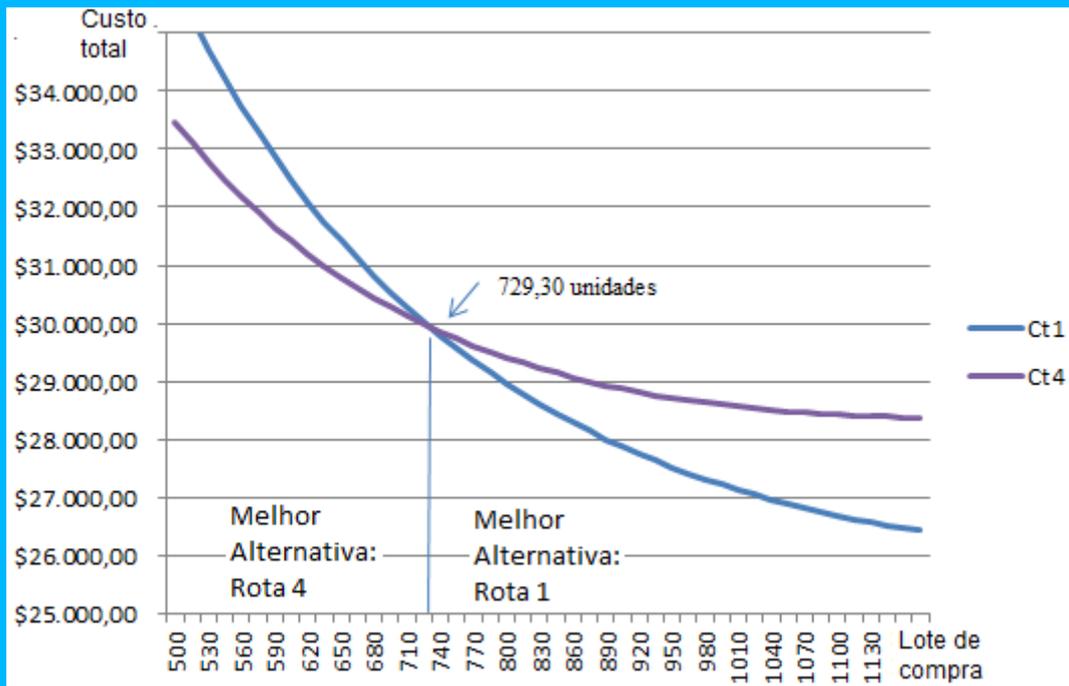


Figura 48- curvas de custo total um e quatro
 Fonte: elaboração própria

Conseqüentemente, caso as outras duas alternativas não fossem possíveis, a rota quatro deveria ser a escolhida para quantidades encomendadas de até 729,30 unidades. A partir dessa quantidade a rota escolhida seria a um, pois apresentaria menor custo total.

Para $Ct_1 = Ct_3$

Quantidade em que as curvas de custo total um e 3 se encontram:

$$y = \frac{D[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{D(K_{2\beta} - K_{2\alpha}) + (h + C_f) \left(\sqrt{\frac{DT_{r\beta}}{12}} - \sqrt{\frac{DT_{r\alpha}}{12}} \right)} \quad (129)$$

$$y = \frac{15000[(600+150) - (540+110)]}{15000(0,80 - 0,69) + (10+0,44) \left(\sqrt{\frac{15000 \cdot 0,9}{12}} - \sqrt{\frac{15000 \cdot 1}{12}} \right)}$$

$$y = 919,65$$

Para quantidade de compra de 919,65 unidades os custos totais das alternativas um e três serão iguais a \$27.752,61.

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3)D}{y} + \frac{(h + C_f)y}{2} + (h + C_f)\sqrt{\frac{DT_r}{12}} + K_2 D \quad (130)$$

$$C_{t1} = \frac{(600+150)15000}{919,648} + \frac{(10+0,44)919,648}{2} + (10+0,44)\sqrt{\frac{15000 \cdot 1}{12}} + 0,69 \cdot 15000$$

$$C_{t1} = \$27.752,61$$

$$C_{t3} = \frac{(540+110)15000}{919,648} + \frac{(10+0,44)919,648}{2} + (10+0,44)\sqrt{\frac{15000 \cdot 0,9}{12}} + 0,80 \cdot 15000$$

$$C_{t3} = \$27.752,61$$

Graficamente são identificadas as zonas de escolha entre as duas alternativas:

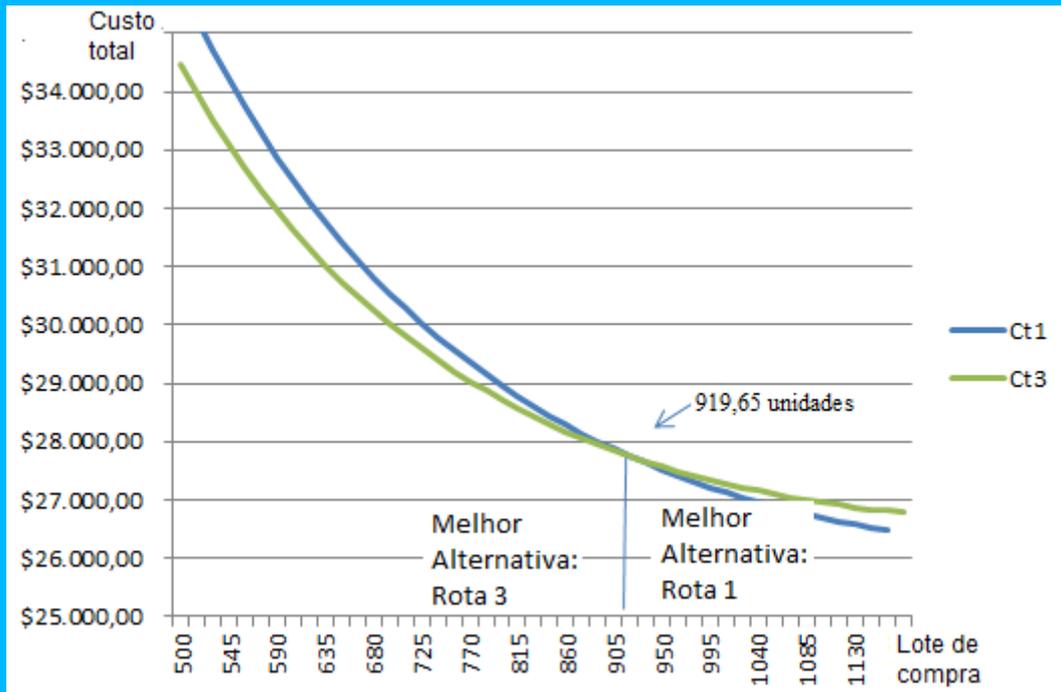


Figura 49- curvas de custo total um e três
 Fonte: elaboração própria

Caso as outras duas alternativas não fossem possíveis, a rota três deveria ser a escolhida para quantidades encomendadas de até 919,65 unidades. A partir dessa quantidade a rota escolhida seria a um, pois apresentaria menor custo total.

Para $Ct_3 = Ct_2$

Quantidade em que as curvas de custo total três e 2 se encontram:

$$y = \frac{D[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{D(K_{2\beta} - K_{2\alpha}) + (h + C_f) \left(\sqrt{\frac{DT_{r\beta}}{12}} - \sqrt{\frac{DT_{r\alpha}}{12}} \right)} \quad (131)$$

$$y = \frac{15000[(240+60) - (540+110)]}{15000(0,80 - 1,40) + (10+0,44) \left(\sqrt{\frac{15000 \cdot 0,9}{12}} - \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,30}{12}} \right)}$$

$$y = 593,086$$

Para quantidade de compra de 593,09 unidades os custos totais das alternativas três e dois serão iguais a \$31.885,51.

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3)D}{y} + \frac{(h + C_f)y}{2} + (h + C_f) \sqrt{\frac{DT_r}{12}} + K_2 D \quad (132)$$

$$C_{12} = \frac{(240+60)15000}{593,086} + \frac{(10+0,44)593,086}{2} + (10+0,44) \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,3}{12}} + 1,40 \cdot 15000$$

$$C_{12} = \$ 31.885,51$$

$$C_{13} = \frac{(540+110)15000}{593,086} + \frac{(10+0,44)593,086}{2} + (10+0,44) \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,9}{12}} + 0,80 \cdot 15000$$

$$C_{13} = \$31.885,51$$

Graficamente são identificadas as zonas de escolha entre as duas alternativas:

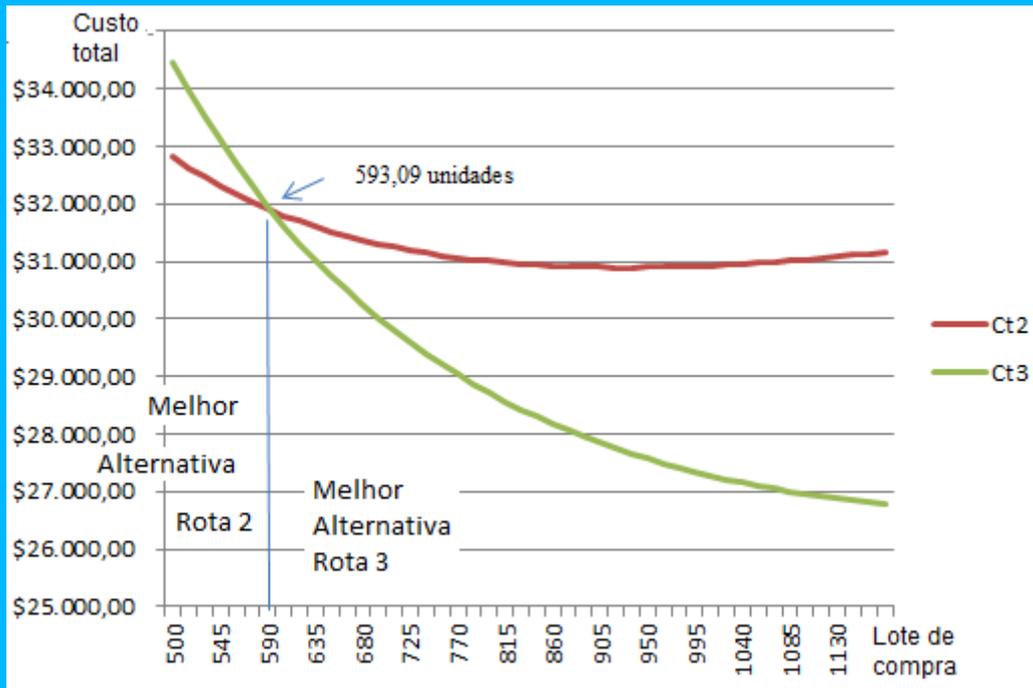


Figura 50- curvas de custo total três e dois
 Fonte: elaboração própria

Logo, caso as outras duas alternativas não fossem possíveis, a rota dois deveria ser a escolhida para quantidades encomendadas de até 593,09 unidades. A partir dessa quantidade a rota escolhida seria a três, pois apresentaria menor custo total.

Para $Ct_3 = Ct_4$

Quantidade em que as curvas de custo total três e 4 se encontram:

$$y = \frac{D[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{D(K_{2\beta} - K_{2\alpha}) + (h + C_f) \left(\sqrt{\frac{DT_{r\beta}}{12}} - \sqrt{\frac{DT_{r\alpha}}{12}} \right)} \quad (133)$$

$$y = \frac{15000[(540 + 110) - (415 + 85)]}{15000(1,04 - 0,80) + (10 + 0,44) \left(\sqrt{\frac{15000 \cdot 0,5}{12}} - \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,9}{12}} \right)}$$

$$y = 640,874$$

Para quantidade de compra de 640,874 unidades os custos totais das alternativas três e quatro serão iguais a \$30.909,13.

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3)D}{y} + \frac{(h + C_f)y}{2} + (h + C_f)\sqrt{\frac{DT_r}{12}} + K_2 D \quad (134)$$

$$C_{13} = \frac{(540 + 110)15000}{640,874} + \frac{(10 + 0,44)640,874}{2} + (10 + 0,44)\sqrt{\frac{15000 \cdot 0,9}{12}} + 0,80 \cdot 15000$$

$$C_{13} = \$30.909,13$$

$$C_{14} = \frac{(415 + 85)15000}{640,874} + \frac{(10 + 0,44)640,874}{2} + (10 + 0,44)\sqrt{\frac{15000 \cdot 0,5}{12}} + 1,04 \cdot 15000$$

$$C_{14} = \$30.909,13$$

Graficamente são identificadas as zonas de escolha entre as duas alternativas:

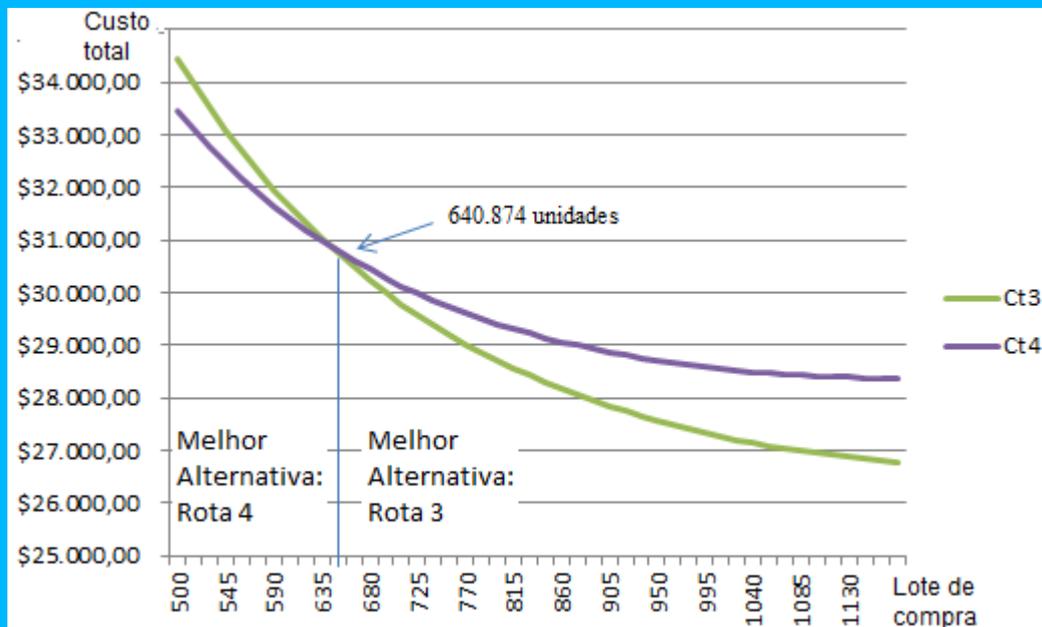


Figura 51- curvas de custo total três e quatro
Fonte: elaboração própria

Assim sendo, caso as outras duas alternativas não fossem possíveis, a rota quatro deveria ser a escolhida para quantidades encomendadas de até 640,874 unidades. A partir dessa quantidade a rota escolhida seria a três, pois apresentaria menor custo total.

Para $C_{t2} = C_{t4}$

Quantidade em que as curvas de custo total dois e 4 se encontram:

$$y = \frac{D[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{D(K_{2\beta} - K_{2\alpha}) + (h + C_f) \left(\sqrt{\frac{DT_{r\beta}}{12}} - \sqrt{\frac{DT_{r\alpha}}{12}} \right)} \quad (135)$$

$$y = \frac{15000[(240 + 60) - (415 + 85)]}{15000(1,04 - 1,40) + (10 + 0,44) \left(\sqrt{\frac{15000 \cdot 0,5}{12}} - \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,3}{12}} \right)}$$

$$y = 561,675$$

Para quantidade de compra de 561,675 unidades os custos totais das alternativas dois e quatro serão iguais a \$32.145,87.

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3)D}{y} + \frac{(h + C_f)y}{2} + (h + C_f) \sqrt{\frac{DT_r}{12}} + K_2 D \quad (136)$$

$$C_{t2} = \frac{(240 + 60)15000}{561,675} + \frac{(10 + 0,44)561,675}{2} + (10 + 0,44) \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,3}{12}} + 1,40 \cdot 15000$$

$$C_{t2} = \$32.145,87$$

$$C_{t4} = \frac{(415 + 85)15000}{561,675} + \frac{(10 + 0,44)561,675}{2} + (10 + 0,44) \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,5}{12}} + 1,04 \cdot 15000$$

$$C_{t4} = \$32.145,87$$

Graficamente são identificadas as zonas de escolha entre as duas alternativas:

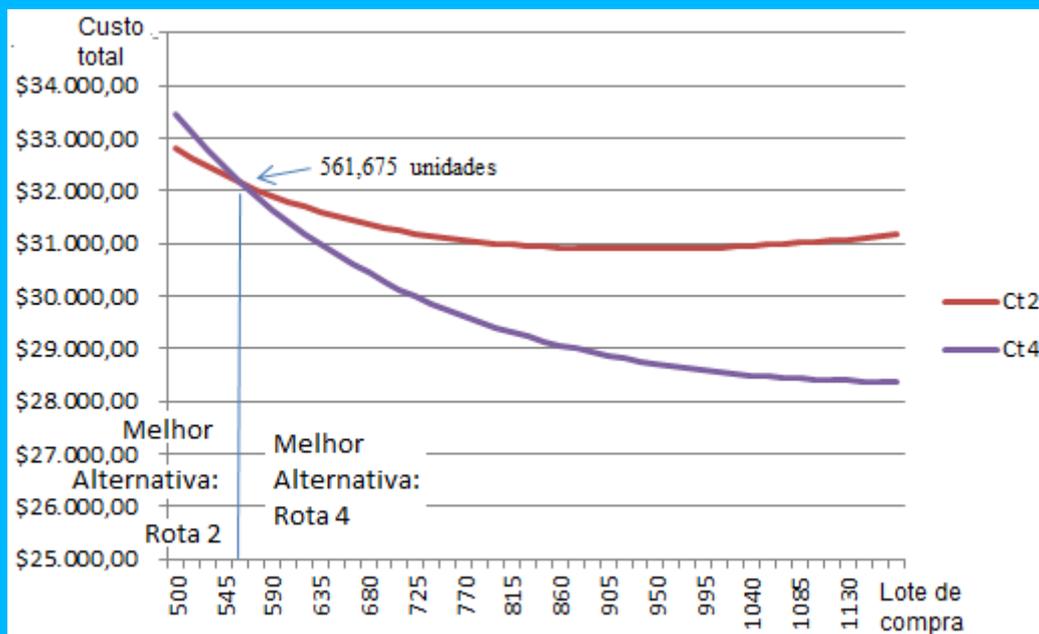


Figura 52- curvas de custo total dois e quatro
Fonte: elaboração própria

Logo, caso as outras duas alternativas não fossem possíveis, a rota dois deveria ser a escolhida para quantidades encomendadas de até 561,675 unidades. A partir dessa quantidade a rota escolhida seria a quatro, pois apresentaria menor custo total.

Resumindo todos os resultados encontrados anteriormente:

Quadro 46- pontos de encontro das curvas de custo total

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4
Rota 1	-	643,896	919,648	729,304
Rota 2	643,896	-	593,086	561,675
Rota 3	919,648	593,086	-	640,874
Rota 4	729,304	561,675	640,874	-

Graficamente os pontos de encontro podem ser avaliados de forma conjunta, conforme figura abaixo.

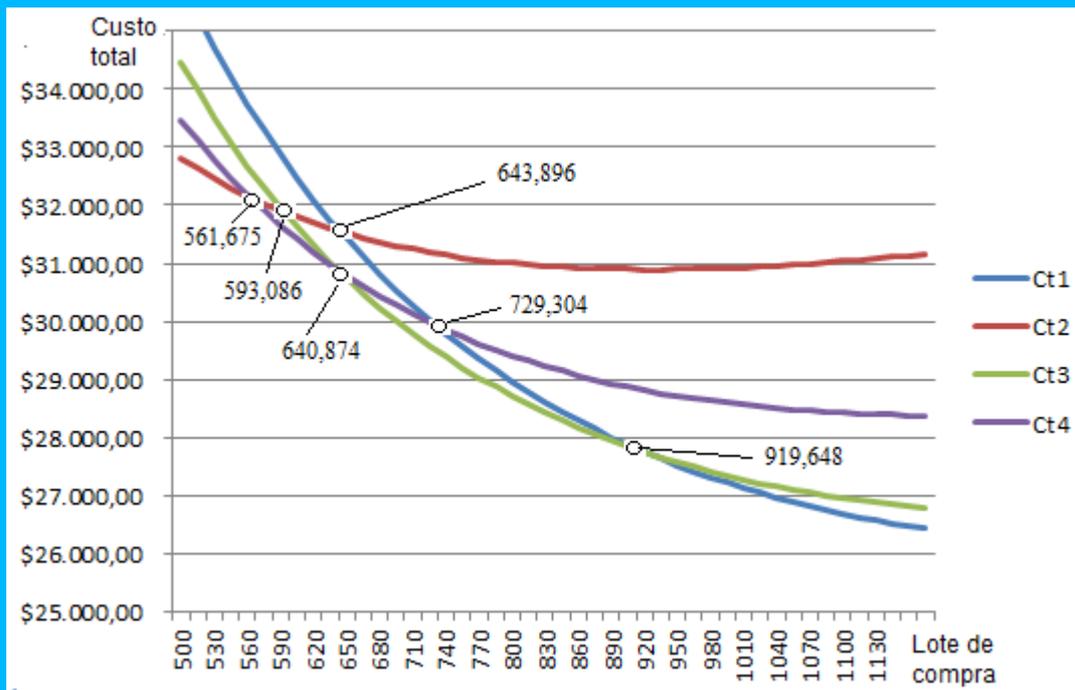


Figura 53- - pontos de encontro das curvas de custo total
 Fonte: elaboração própria

A partir da avaliação das curvas de custo total é possível identificar os pontos de cruzamento mais relevantes para a decisão da rota a ser utilizada. Nota-se que os pontos de encontro $Ct_1 = Ct_4$, $Ct_1 = Ct_2$ e $Ct_3 = Ct_2$ não são relevantes para decisão caso todas as alternativas sejam possíveis em termos operacionais. Nesses pontos de encontro existem outras alternativas logísticas com custos totais menores. No ponto $Ct_1 = Ct_4$, por exemplo, a alternativa três neste ponto possui custos menores que as alternativas um e quatro.

À vista disso, os pontos que irão ocorrer mudança de decisão são os pontos $Ct_1 = Ct_3$, $Ct_3 = Ct_4$ e $Ct_2 = Ct_4$. Até o ponto $Ct_2 = Ct_4$ a melhor alternativa, a que possui custo total menor, é a rota dois. Desse ponto até o ponto $Ct_4 = Ct_3$ a melhor alternativa passa a ser a rota quatro. Desse ponto até o ponto $Ct_3 = Ct_1$ a melhor alternativa passa a ser a rota três. Acima dessa quantidade a melhor rota será a rota um, que, para esse exemplo, atingiu o menor custo total para a quantidade de 1468,05 (\$26.045,56). Graficamente é possível indicar um “caminho crítico” para a decisão, conforme figura abaixo.

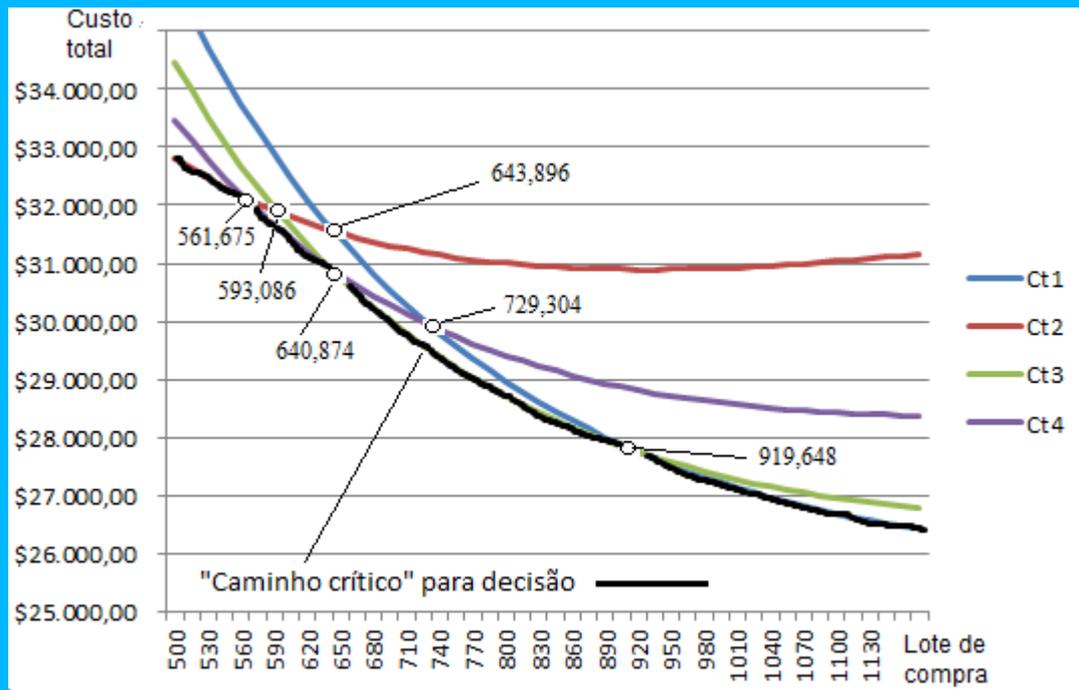


Figura 54 - "caminho crítico" para a decisão
 Fonte: elaboração própria

Ou seja, para quantidades até 561,675 ($Ct_2 = Ct_4$) a melhor alternativa logística, usando o modelo com estoque de segurança (método da raiz quadrada), é a rota dois, pois irá apresentar menor custo total associado. Dessa quantidade de ressuprimento até a quantidade de 640,874 ($Ct_3 = Ct_4$) a melhor alternativa logística é a rota quatro. A partir dessa quantidade até 919,648 ($Ct_1 = Ct_3$) a rota três será a que terá menor custo total. Para quantidades acima de 919,648 ($Ct_1 = Ct_3$) a rota um deve ser a escolhida.

De todas as análises feitas, utilizando o método com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição, para as quatro rotas em estudo concluem-se:

1. A rota ideal a ser escolhida, que apresenta menor custo total, é a rota um, com lote de encomenda ideal de 1468,05 unidades e custo total associado de \$26.045,56. Preferencialmente essa rota deveria ser a escolhida.
2. Entretanto, para quantidades encomendadas abaixo de 561,675 unidades ($Ct_2 = Ct_4$) a rota dois será a melhor, pois apresentará o menor custo total.
3. Para quantidades encomendada acima de 561,675 unidades ($Ct_2 = Ct_4$) e abaixo de 640,874 unidades ($Ct_3 = Ct_4$) a rota quatro deve ser escolhida.

4. Para quantidades encomendada acima de 640,874 unidades ($C_{t_3} = C_{t_4}$) e abaixo de 919,648 ($C_{t_1} = C_{t_3}$) a rota três é a melhor alternativa em termos de custo.
5. Acima de 919,648 ($C_{t_1} = C_{t_3}$) a rota um deve ser a escolhida.

5.3 – Aplicação prática do modelo

Na medida em que existem restrições para a divulgação de informações de custo, muitas delas estratégicas e confidenciais, a alternativa encontrada para realizar um teste prático do modelo desenvolvido foi coletar informações nas transportadoras e estimar os demais elementos necessários para rodar o sistema. Desse modo, está apresentada a seguir uma análise da aquisição de itens de São Paulo para a cidade de Manaus.

A avaliação se dará a partir da situação de suprimento de um item com demanda anual de 35.000 kg e custo anual de manutenção de estoque (carregamento) de R\$ 3,00/kg. O preço de custo do item é de R\$7,5/kg e o custo de capital é de 15% ao ano. O item a ser adquirido é produzido em São Paulo e deve ser transportado até a cidade de Manaus.

A primeira alternativa (A) é uma conexão via Belém por rodovia e de Belém para Manaus por via fluvial. A segunda (B) é o transporte de São Paulo até Manaus passando pela Cidade de Porto Velho, também por intermédio de uma conexão rodofluvial, conforme figura 55 abaixo:

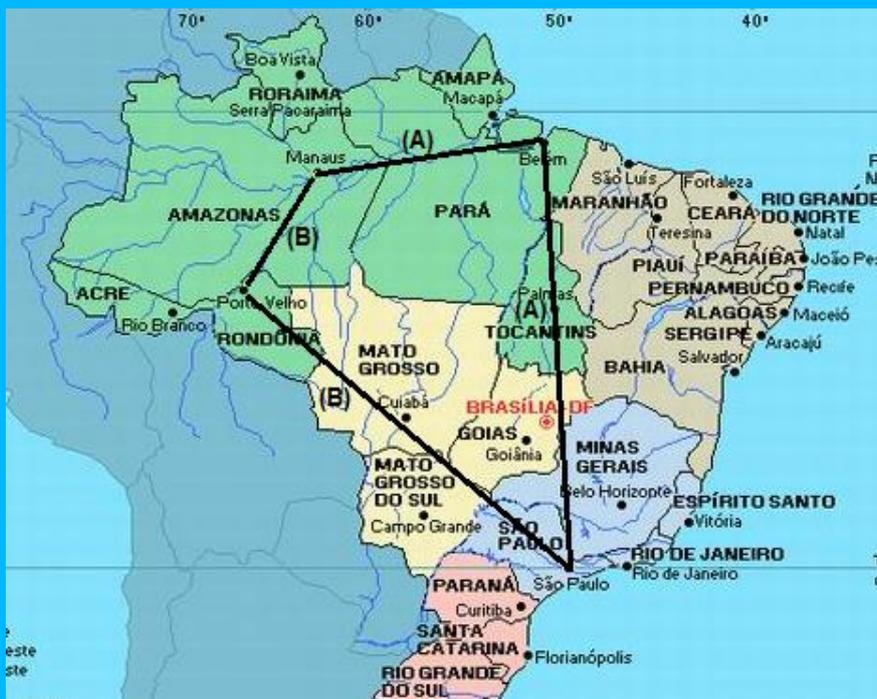


Figura 55 - Alternativas avaliadas para o transporte

Fonte: adaptado de <http://www.estadosecapitaisdobrasil.com/imagens/mapas-brasil/mapa-politico-brasil.jpg>. Acesso em 26/05/2014

A proposta fornecida para a alternativa A contempla um custo de frete de R\$ 0,63/kg, já incluso nesse custo o frete, pedágio, despacho e seguro. Deve-se acrescentar no custo apenas o ICMS sobre o frete de 7% incidente “por fora”. O prazo de entrega é de 14 a 18 dias. Segue abaixo a proposta:

TRECHO	KILO	PRAZO DE VIAGEM
São Paulo / Manaus	0.63 + ICMS	14 a 18 dias
TAXAS / IMPOSTOS CARGA FRACIONADA SÃO PAULO:		
Ad Valorem	INCLUSO	
Ademe	INCLUSO	
Despacho	INCLUSO	
Pedágio	INCLUSO	
ICMS	Conforme legislação	
Frete Mínimo	R\$ 130,01	
Coleta	Isento São Paulo e grande São Paulo.	
CONDIÇÕES DE PAGAMENTO:		
Faturamento	Diário	
Prazo de pagamento	28 Dias após emissão da CTRC (mediante análise de crédito)	
Cobrança	Bancária	
OBSERVAÇÕES GERAIS:		
<ul style="list-style-type: none"> • SEGURO REALIZADO PELA APISUL SEGUROS RASTREAMENTO CONTROL-SAT EM 100% DA FROTA. • TRANSPORTE VIA BELÉM PORTA-A-PORTA, SEM TRANSBORDO. • NÃO COBRAMOS TAXA ADICIONAL PARA TRANSPORTES DE PRODUTOS QUIMICOS. 		

Figura 56 - proposta da alternativa A
Fonte: proposta fornecida pela transportadora

Para a segunda alternativa (B), via Porto Velho, a transportadora cobra R\$ 0,60/kg, seguro de 1,2 % sobre o valor da nota (Ad Valorem 1% e 0,5% Gris), pedágio de R\$ 0,0221 /kg, serviços portuários de R\$ 0,0114/kg e despacho de R\$ 30,00 por despacho de carga. Também aqui é acrescentado o ICMS sobre o frete de 7% “por fora”. O prazo de entrega é de 15 a 18 dias. Segue abaixo a proposta:

Trecho: Guarulhos-SP		Carga Geral		
PARA	De 01 a 100 Kg (R\$)	De 101 a 200 Kg (R\$)	Acima de 201 Kg (R\$)	Prazo de Entrega
Manaus - AM	79,00	108,00	0,60	15 a 18 Dias
TAXAS / IMPOSTOS :				
Ad Valorem	1,00 % Sobre o valor da NF ou Seguro Próprio (Carta de não Regresso)			
Grís (Fracionado)	0,20% Sobre o valor da Nota Fiscal			
Despacho	R\$ 30,00 (Por conhecimento).			
Pedagio	R\$ 0,0221 Sobre o Peso			
Serviço Portuário (Frac./ embarque)	R\$ 0,0114 Sobre o Peso			
ICMS	Conforme legislação vigente.			
Trecho: São Paulo – SP		Carga Leves e Volumosos		
PARA	Valor (R\$)	Prazo de Entrega		
Manaus – AM	140,00 p/m3 +Seguro + ICMS	15 a 18 Dias		
TAXAS / IMPOSTOS:				
Ad Valorem	1 % Sobre o valor da NF ou Seguro Próprio (Carta de não Regresso)			
ICMS	Conforme legislação vigente.			

Figura 57- proposta de transporte da alternativa B
Fonte: proposta fornecida pela transportadora

GENERALIDADES:

- Mercadoria volumosa será cobrada Cubagem: 300kg/m3
- Obs: Alterações nesta proposta serão comunicadas com 01 (uma) semana de antecedência.
- Frete mínimo: Valor mínimo referente à região + as taxas.
- Equipamentos mecânicos como: Munck, empilhadeiras e etc, por conta do cliente.
- Produtos Químicos: Acréscimo de 30% no Frete Peso
- Coleta Fora da Cidade de São Paulo será cobrada taxa conforme localidade (Previamente informada)
- Prazo de pagamento – Faturado: 28 dias após a emissão do conhecimento
- Reentrega: 50% do frete original.
- Devolução: 100% do frete original.
- Não vinculamos comprovantes de entrega com o pagamento da fatura.

AVARIAS E SINISTROS:

- Em caso de Avarias será feito o ressarcimento referente o valor do produto na Nota Fiscal e seu frete proporcional.
- Em caso de Sinistro, o ressarcimento será efetuado em até 60 dias após o Laudo Final da Seguradora.

ARMAZENAGEM:

- O não recebimento da carga por qualquer motivo que não seja de responsabilidade do transportador, após 05 dias (Úteis) será cobrado Armazenagem.
- Em carreta: cobraremos a diária de R\$ 380,00 (por Carreta)
- Em Depósito: Após 05 dias será cobrado conforme abaixo descrito:
Taxa: R\$ 0,05 por kgs/m3 ao dia.
Seguro: 0,20% sobre o valor da Nota fiscal/mês (mínimo de R\$ 15,00)
ISS - 5% sobre o valor total da armazenagem.
- Tabela Experimental por 30 dias para análise do perfil operacional.
- Após o registro de 90 (noventa) dias diretos sem movimentação, será excluído do sistema a tarifa combinada e o cadastro bloqueado.
- Transportamos somente mediante aprovação de nossa proposta.

Figura 58- Observações da proposta B
Fonte: proposta fornecida pela transportadora

Os tempos de transporte de cada alternativa foram estimados de forma conservadora, assim serão usados os tempos máximos de 18 dias.

Seguem abaixo os valores de K2, K3 e TR para as alternativas A e B.

Para Alternativa A

$$K2 = \text{frete} + \text{ICMS} = 0,63 / (1-0,07) = \text{R\$ } 0,67742$$

$$K3 = 0$$

$$\text{TR} = 18/30 = 0,6 \text{ meses}$$

Para Alternativa B

$$K2 = \text{frete} + \text{Ad Valorem} + \text{Gris} + \text{pedágio} + \text{serviços portuários} + \text{ICMS}$$

$$K2 = (0,61 + 7,50 * 0,01 + 7,50 * 0,002 + 0,0221 + 0,0114) / (1-0,07) = \text{R\$ } 0,7887$$

$$K3 = \text{R\$ } 30,00$$

$$\text{TR} = 18/30 = 0,6 \text{ meses}$$

Logo, tem-se:

Quadro 47- K2, e K3 e TR

	Alternativa A	Rota B
K2	R\$ 0,67742	R\$ 0,7887
K3	0	R\$ 30,00
TR	0,6 meses	0,6 meses

Para aplicação do modelo a essa situação foram estimados custos de pedir (k1) de R\$ 250,00 para alternativa A e de R\$ 100,00 para a alternativa B.

Estão sintetizados no quadro abaixo todos os dados, calculados e estimados para aplicação do modelo com estoque de segurança (método da raiz quadrada).

Quadro 48 - Síntese dos dados do problema

	Alternativa A	Alternativa B
D (demanda anual)	35.000	35.000
k1 (custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte, em custo por pedido)	R250,00	R\$ 100,00
k2 custo de transporte	R\$ 0,67742	R\$ 0,7887
k3 (custo de pedir relativo ao transporte proporcional ao número de pedidos (D/y) em custo por transporte realizado)	0	R\$ 30
h (custo de carregamento de estoque)	R\$ 3,00	R\$ 3,00
Tempo de reposição (Tr)	0,6 meses	0,6 meses
P (preço de custo do item)	R\$ 7,5/kg	R\$ 7,5/kg
i = taxa de juros	15,00%	15,00%
Cf (custo financeiro de manutenção de estoque por unidade ao ano) Cf = p.i	Cf = 7,5*15/100 = \$1,125	Cf = 7,5*15/100 = \$1,125

O primeiro passo na aplicação do modelo é encontrar os pontos de custo mínimo a partir da equação:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(K_1 + K_3) \cdot D}{h_1 + C_f}} \quad (137)$$

Aplicando a fórmula acima:

Cálculos para a alternativa A:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(250+0) \cdot 35000}{3+1,125}} = 2059,71$$

A quantidade econômica da alternativa A seria então 2059,71 unidades o que dariam 16,99 ressuprimentos por ano:

Número de ressuprimentos por ano = 35000/ 2059,71= 16,99

O intervalo entre ressuprimentos seria de 21,19 dias (para o ano comercial de 360 dias)

Intervalo entre ressuprimentos = $360 / 16,99 = 21,19$ dias

O custo total mínimo para rota A, encontrado a partir da quantidade y^* será de:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_2 \cdot D + (h + C_f) \cdot \sqrt{\frac{D \cdot T_r}{12}} \quad (138)$$

$$C_t = \frac{(250 + 0) \cdot 35000}{2059,71} + \frac{(3 + 1,125) \cdot 2059,71}{2} + 0,67742 \cdot 35000 + (3 + 1,125) \cdot \sqrt{\frac{35000 \cdot 0,6}{12}}$$

$$C_{t(\text{mínimo})} = R\$ 32.378,56$$

Cálculos para a alternativa B:

$$y^* = \sqrt{\frac{2(100 + 30) \cdot 35000}{3 + 1,125}} = 1485,28$$

A quantidade econômica da rota B seria então 1485,28 unidades o que dariam 23,56 ressuprimentos por ano:

Número de ressuprimentos por ano = $35000 / 1485,28 = 23,56$

O intervalo entre ressuprimentos seria de 15,28 dias (para o ano comercial de 360 dias)

Intervalo entre ressuprimentos = $360 / 23,56 = 15,28$ dias

O custo total mínimo para rota B, encontrado a partir da quantidade y^* será de:

$$C_t = \frac{(K_1 + K_3) \cdot D}{y} + \frac{(h + C_f) y}{2} + K_2 D + (h + C_f) \cdot \sqrt{\frac{D \cdot T_r}{12}} \quad (139)$$

$$C_t = \frac{(100 + 30) \cdot 35000}{1485,28} + \frac{(3 + 1,125) \cdot 1485,28}{2} + 0,7887 \cdot 35000 + (3 + 1,125) \cdot \sqrt{\frac{35000 \cdot 0,6}{12}}$$

$$C_{t(\text{mínimo})} = R\$ 33.904,19$$

Resumindo os resultados para as duas rotas:

Quadro 49 - resumo dos resultados do modelo para as duas rotas

	Rota A	Rota B
Y* (Quantidade econômica em unidades)	2059,71	1485,28
Número de pedidos (ressuprimentos por ano)	16,99	23,56
Intervalo entre pedidos (em dias)	21,19	15,28
Ctmínimo	R\$ 32.378,56	R\$ 33.904,19

A partir dos resultados acima encontrados é possível concluir que a rota A (por Belém) apresenta o menor custo mínimo e, portanto, deve ser a escolhida.

Todavia, é possível que a quantidade econômica de 2059,71 unidades, encontrada para a alternativa A possa não ser possível. Restrições nos equipamentos de transporte, no espaço para armazenagem e na política de venda do fornecedor podem limitar esta quantidade encontrada.

Neste caso seria importante avaliar o comportamento dos custos totais em função das variações nas quantidades encomendadas, pois pode acontecer que para outra quantidade a rota B seja melhor que a rota A, em uma análise de sensibilidade.

Para tanto foram levantados todos os custos totais das duas rotas para uma variação no lote de compras. Os resultados encontram-se resumidos no quadro abaixo:

Quadro 50- análise de sensibilidade dos custos totais para as duas alternativas

y	Cta	Ctb
500,00	R\$ 42.413,49	R\$ 37.908,65
570,00	R\$ 40.408,74	R\$ 36.935,48
640,00	R\$ 38.874,11	R\$ 36.206,77
710,00	R\$ 37.670,56	R\$ 35.650,23
780,00	R\$ 36.708,94	R\$ 35.219,48
850,00	R\$ 35.929,48	R\$ 34.883,47
920,00	R\$ 35.290,61	R\$ 34.620,55
990,00	R\$ 34.762,50	R\$ 34.415,23
1.060,00	R\$ 34.323,21	R\$ 34.256,10
1.130,00	R\$ 33.956,23	R\$ 34.134,57
1.200,00	R\$ 33.648,91	R\$ 34.044,07
1.270,00	R\$ 33.391,38	R\$ 33.979,45
1.340,00	R\$ 33.175,84	R\$ 33.936,67
1.410,00	R\$ 32.996,04	R\$ 33.912,48
1.480,00	R\$ 32.846,90	R\$ 33.904,22
1.550,00	R\$ 32.724,27	R\$ 33.909,76
1.620,00	R\$ 32.624,72	R\$ 33.927,29
1.690,00	R\$ 32.545,38	R\$ 33.955,33
1.760,00	R\$ 32.483,83	R\$ 33.992,63
1.830,00	R\$ 32.438,03	R\$ 34.038,11
1.900,00	R\$ 32.406,25	R\$ 34.090,89
1.970,00	R\$ 32.386,99	R\$ 34.150,17
2.040,00	R\$ 32.378,95	R\$ 34.215,29
2.110,00	R\$ 32.381,03	R\$ 34.285,67

É possível concluir, a partir dos resultados do quadro acima, que existem quantidade em que o custo total da alternativa B é melhor que a da Rota A. Para $y=500,00$, por exemplo, o custo total de B (R\$ 37.908,65) é menor que o da rota A (R\$ 42.413,49). Graficamente existe um ponto de interseção entre as duas curvas de custo totais.

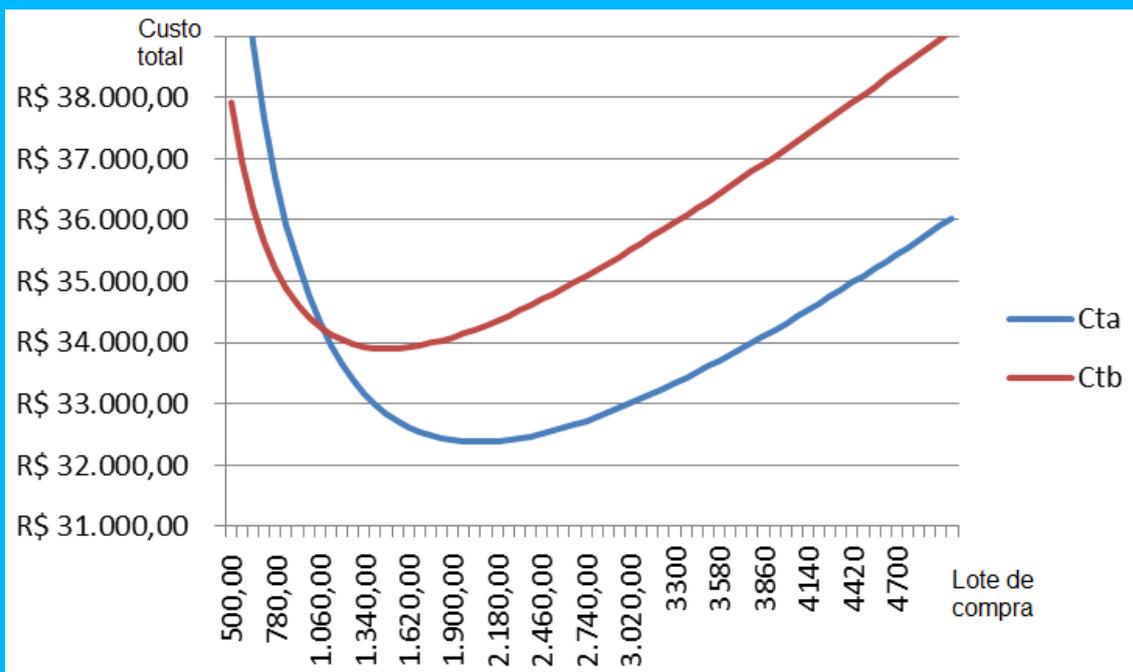


Figura 59- curvas de custo total para as duas rotas
 Fonte: elaboração própria

Vai existir, portanto, uma quantidade, em que os dois custos totais serão iguais. É possível encontrar este ponto avaliando as diferenças entre os custos totais das duas rotas ($C_{ta} - C_{tb}$), conforme quadro abaixo:

Quadro 51- avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas

y	Cta	Ctb	Cta-Ctb	Menor custo
500,00	R\$ 42.413,49	R\$ 37.908,65	R\$ 4.504,84	b
570,00	R\$ 40.408,74	R\$ 36.935,48	R\$ 3.473,26	b
640,00	R\$ 38.874,11	R\$ 36.206,77	R\$ 2.667,34	b
710,00	R\$ 37.670,56	R\$ 35.650,23	R\$ 2.020,33	b
780,00	R\$ 36.708,94	R\$ 35.219,48	R\$ 1.489,45	b
850,00	R\$ 35.929,48	R\$ 34.883,47	R\$ 1.046,02	b
920,00	R\$ 35.290,61	R\$ 34.620,55	R\$ 670,06	b
990,00	R\$ 34.762,50	R\$ 34.415,23	R\$ 347,26	b
1.060,00	R\$ 34.323,21	R\$ 34.256,10	R\$ 67,10	b
1.130,00	R\$ 33.956,23	R\$ 34.134,57	-R\$ 178,35	a
1.200,00	R\$ 33.648,91	R\$ 34.044,07	-R\$ 395,16	a
1.270,00	R\$ 33.391,38	R\$ 33.979,45	-R\$ 588,07	a
1.340,00	R\$ 33.175,84	R\$ 33.936,67	-R\$ 760,83	a
1.410,00	R\$ 32.996,04	R\$ 33.912,48	-R\$ 916,44	a

1.480,00	R\$ 32.846,90	R\$ 33.904,22	-R\$ 1.057,32	a
1.550,00	R\$ 32.724,27	R\$ 33.909,76	-R\$ 1.185,48	a
1.620,00	R\$ 32.624,72	R\$ 33.927,29	-R\$ 1.302,57	a
1.690,00	R\$ 32.545,38	R\$ 33.955,33	-R\$ 1.409,95	a
1.760,00	R\$ 32.483,83	R\$ 33.992,63	-R\$ 1.508,80	a
1.830,00	R\$ 32.438,03	R\$ 34.038,11	-R\$ 1.600,08	a
1.900,00	R\$ 32.406,25	R\$ 34.090,89	-R\$ 1.684,63	a
1.970,00	R\$ 32.386,99	R\$ 34.150,17	-R\$ 1.763,18	a
2.040,00	R\$ 32.378,95	R\$ 34.215,29	-R\$ 1.836,34	a
2.110,00	R\$ 32.381,03	R\$ 34.285,67	-R\$ 1.904,64	a

Percebe-se a partir do quadro acima que este ponto de encontro das duas curvas vai ocorrer entre 1060 e 1130 unidades, quando a diferença entre os dois custos inverte de sinal. Para encontrar essa quantidade variou-se a quantidade até que essa diferença se aproximasse de zero. Este ponto de encontro das duas curvas será de 1.078,26 unidades, apresentado de forma gráfica abaixo.

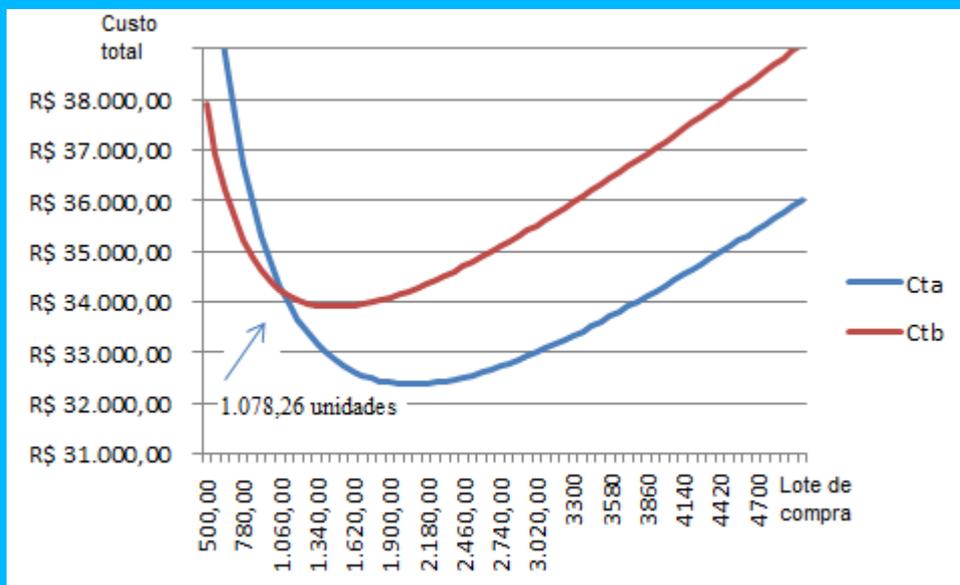


Figura 60 - avaliação das diferenças entre custos totais das duas rotas
Fonte: elaboração própria

Também é possível encontrar diretamente esse ponto utilizando a equação desenvolvida anteriormente:

$$y = \frac{D[(K_{1\alpha} + K_{3\alpha}) - (K_{1\beta} + K_{3\beta})]}{D(K_{2\beta} - K_{2\alpha}) + (h + C_f) \left(\sqrt{\frac{D.T_{r\beta}}{12}} - \sqrt{\frac{D.T_{r\alpha}}{12}} \right)} \quad (140)$$

Substituindo os dados:

$$y = \frac{35000[(250+0) - (100+30)]}{35000(0,788710 - 0,6774194) + (3+1,1250) \left(\sqrt{\frac{35000.0,60}{12}} - \sqrt{\frac{35000.0,60}{12}} \right)}$$

$$y = \frac{4.200.000,00}{3895,17+0}$$

$$y = 1.078,26$$

Como consequência, o lote de compra que irá igualar os custos totais das duas alternativas será de 1.078,26 unidades.

De todas as análises feitas nesse estudo de caso, utilizando o método com estoque de segurança proporcional a demanda, é possível concluir que:

1. A rota ideal a ser escolhida, que apresenta menor custo total, é a rota A, com lote de encomenda ideal de 2059,71 unidades e custo total associado de R\$32.378,56.
2. Entretanto, para quantidades encomendadas abaixo de 1.078,26 unidades a rota B será a melhor, pois apresentará o menor custo total.
3. Para quantidades encomendada acima de 1.078,26 unidades a rota A passa a ser a melhor, pois após essa quantidade a alternativa apresentará o menor custo total, conforme gráfico abaixo.

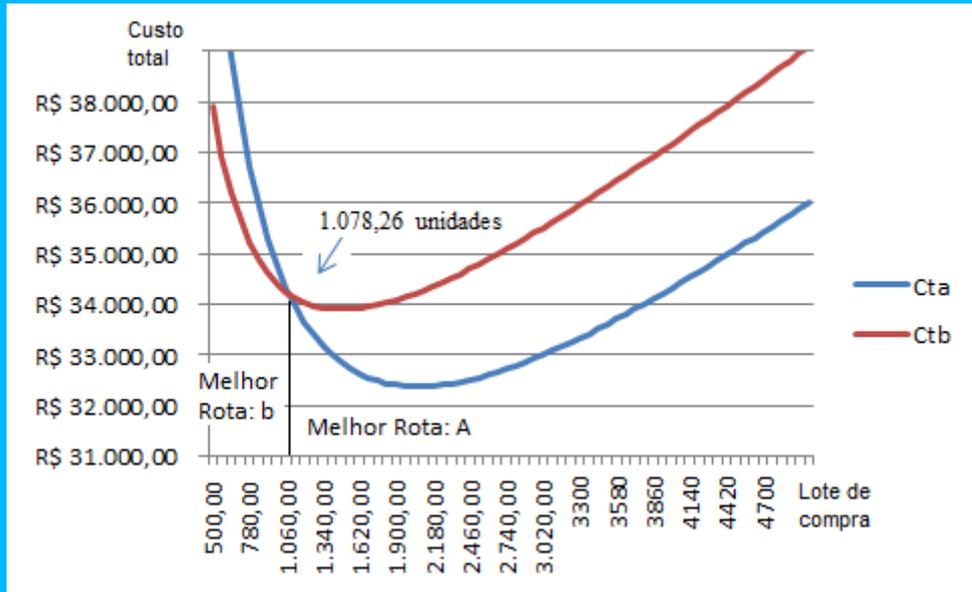


Figura 61- Escolha da melhor rota em função da quantidade encomendada
 Fonte: elaboração própria

6- Conclusões e recomendações

O processo de decisão logístico envolve essencialmente fatores operacionais, financeiros, de custo, ambientais, de qualidade e de segurança. Neste trabalho de pesquisa buscou-se desenvolver um modelo alternativo para tomada de decisão acerca de canais de transporte de longo curso, tomando como referência os custos totais associados às alternativas possíveis de rota.

O desenvolvimento dos problemas e das equações envolveu a avaliação de modelos de transporte e de custo que conseguissem avaliar não somente os aspectos relativos aos custos de transporte, mas também, e principalmente, os custos totais envolvidos na armazenagem, na aquisição e no transporte de uma rede de suprimentos até instalações produtivas.

Ao longo do trabalho foram desenvolvidos e testados três modelos de custo logístico total: sem estoque de segurança, com estoque de segurança proporcional a demanda e com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição.

A ideia foi avaliar mais detalhadamente, por meio desses modelos, os custos associados ao ressurgimento. As equações foram montadas de maneira a avaliar melhor o peso e a influência dos custos de transporte e de manutenção de estoques no processo de aquisição. Os modelos exploraram os *trade-off* existente entre os custos de transporte, de pedido, de estocagem e financeiro.

Buscou-se realizar, dessa forma, uma abordagem diferenciada para solucionar situações onde existe a necessidade considerar os custos de transporte, armazenagem, de pedido e dos estoques de segurança na tomada de decisão para a escolha do fluxo na chegada de insumos.

No primeiro modelo foram incorporados no custo total cinco elementos: o custo de pedir relativo aos fatores não relacionados com o transporte, convencionado como C_{p1} ; o custo relativo ao transporte proporcional à quantidade movimentada, convencionado como C_{p2a} ; o custo relativo ao transporte proporcional ao número de

pedidos, convencionado como C_{p2b} ; o custo relativo à manutenção anual do estoque, convencionado como C_c e o custo financeiro total relativo ao investimento no estoque médio, convencionado como C_{ft} .

No primeiro modelo não foi adicionado ao custo total o peso relativo aos estoques de segurança. De forma a avaliar seu peso no custo total foram incorporados ao modelo desenvolvido inicialmente dois métodos de cálculo dos estoques de segurança.

No segundo modelo além dos fatores já existente no modelo inicial, foi acrescentado o efeito nos custos de carregamento de estoque (manutenção) e no custo financeiro, do estoque de segurança proporcional à demanda mensal.

O terceiro modelo desenvolvido, a semelhança do segundo, foi acrescentado o efeito dos estoques de segurança, desta vez proporcional ao tempo de reposição, que é individual para cada rota de suprimento avaliada.

Após a montagem das equações de cada um dos três modelos, foram desenvolvidas também as equações, para cada um deles, de maneira a calcular os pontos de interseção entre as curvas de custo total. Em seguida cada um dos modelos foi testado com dados presumidos para a situação de avaliação entre duas rotas.

Também foi montada uma situação completa de análise com dados presumidos, onde o engenheiro dispunha de quatro alternativas a serem testadas pelo modelo com estoque de segurança proporcional ao tempo de reposição. Por fim, foi montada uma aplicação prática do modelo com dados reais e presumidos para a avaliação da aquisição de itens de São Paulo para Manaus.

6.1- Conclusões

Ao final de todas as avaliações dos modelos e dos testes de sensibilidade realizados ao longo do presente trabalho de pesquisa, chegou-se a algumas conclusões importantes sobre o modelo e os pesos relativos dos componentes de custo nas decisões de processos de ressuprimento de longo curso.

Os modelos propostos incorporaram fatores importantes para o processo de decisão de compras. Nas abordagens tradicionais, ou se avalia os custos de manutenção e de armazenagem ou se avaliam os custos de transporte. Na medida em que os modelos acrescentaram novas variáveis ao estudo dos custos logísticos de forma conjunta, como custos de transporte, aquisição e armazenagem, além de incluir os custos financeiros e de manutenção dos estoques de segurança às equações, o estudo discute novas abordagens para esse tipo de problema.

Outra inferência do estudo é a relação entre custo de transporte e decisão de canais logísticos. A aplicação dos modelos mostrou um peso relativo muito grande dos custos de transporte no custo total associado a cada alternativa de transporte. Logo, boa parte da decisão quanto às rotas de transporte, utilizando os modelos desenvolvidos, se deu por conta do custo de transporte, o mesmo representou em torno de 50% dos custos totais nos exemplo descritos.

Em relação à análise dos modelos com estoque de segurança, notou-se que o peso relativo dos custos referentes aos estoques de segurança, seja com relação aos custos de estocagem ou financeiros dos mesmos a partir da aplicação dos métodos desenvolvidos na tese, indicaram pouca influência nas decisões de aquisição.

Além disto, os custos totais variaram pouco com o aumento ou diminuição dos estoques de segurança. A grande participação dos custos de transporte no custo total, conforme comentado, certamente contribui para este efeito.

Ainda avaliando os modelos com estoque de segurança, foram estudados os efeitos dos tempos de reposição na variação dos custos totais. Chegou-se à conclusão que os tempos de reposição, apesar de serem importantes em termos operacionais, apresentaram, nas aplicações realizadas, baixa influência no custo total associado às alternativas de transporte.

Também foi avaliada, na tese, a possibilidade de se fracionar a carga por mais de uma rota (particionamento de carga). Chegou-se a conclusão que, em termos de custos totais e usando os modelos desenvolvidos e testes realizados, a possibilidade de se particionar carga entre as rotas existentes vai resultar em um custo total maior que o custo mínimo da rota recomendada pelos modelos. Todavia, esta possibilidade pode ser

desejável em virtude de fatores operacionais ou de capacidade dos equipamentos em detrimento do fator custo total.

Por fim, é possível afirmar também que os modelos desenvolvidos são ‘robustos’ em relação às decisões tomadas e suas variabilidades. Mesmo com quantidades encomendadas diferentes das ideais, ou até mesmo com diferenças no levantamento ou apropriação dos custos, os modelos ainda são satisfatórios em termos de decisão gerencial.

6.2- Recomendações

Uma das aplicações que poderiam ser feitas a partir dos modelos desenvolvidos seria a criação de um software, ou mesmo um módulo para um sistema de informação já existente, contendo algoritmos para a coleta dos dados e processamento das equações de forma a gerar recomendações para o engenheiro ou comprador responsável pelo planejamento de produção e suprimentos.

A automatização das equações é bastante facilitada com uso de sistemas integrados de informação. Todavia, é necessária a parametrização dos sistemas de forma a identificar os componentes de custos necessários para se ‘rodar’ os modelos propostos.

Entretanto, identificaram-se, na aplicação prática do modelo, que os dados das propostas de transporte se apresentaram de forma diferente para as duas alternativas. Na proposta A, os custos de seguro, despacho e pedágio já estavam todos inclusos no preço do frete, cobrado por peso. Por outro lado, na proposta B, os custos do seguro eram proporcionais ao valor do produto, o despacho proporcional ao número de pedidos e aos custos de pedágio, e o de serviços portuários era proporcional ao peso.

É importante sugerir que, em uma possível aplicação dos modelos em um sistema de informações, todas as possibilidades de modos de entrada de dados devem ser avaliadas e parametrizadas de conformidade com a necessidade da organização.

Em particular, também é possível afirmar que os dados de K1, K2 e K3, além dos dados de custo de carregamento (h), nem sempre estão disponíveis de forma direta

nos sistemas de custeio ou nas propostas de transporte. Consequentemente, para a aplicação em nível de ‘piso de fábrica’, de maneira operacional, será necessário um esforço para a parametrização dos sistemas e organização dos dados de forma que seja possível sua aplicação.

Outro fator que deve ser avaliado para a aplicação do modelo em grande escala é a questão da sazonalidade da demanda. Sabendo-se que a previsão do item pode variar, é possível que em alguns períodos do ano haja a necessidade de se pedir uma quantidade maior ou menor que a ideal proposta pelo modelo. Neste caso, o sistema poderia ser desenvolvido de forma a indicar a melhor alternativa para a quantidade a ser encomendada, de conformidade com a situação da demanda no momento do processo de aquisição. Neste caso, a análise de sensibilidade realizada nos exemplos apresentados na tese poderia servir de referência para o desenvolvimento dos algoritmos do sistema.

Referências Bibliográficas

ALMENDÁRIZ, ALEJANDRO F. M., 2007, *Análise de alternativas de transporte intermodal de cargas entre Manaus e o oceano pacífico no Peru*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

AYMARD, P., BRITO, ELIANE P. Z., 2009, “Custos de mudança em serviços logísticos”. *Gestão & Produção*, v.16, n. 3, pp.466-478.

ARNOLD, J. R. T., 1999, *Administração de materiais: uma introdução*. São Paulo, Atlas.

ANTAQ, 2012. *Boletim anual de movimentação de cargas: análise da movimentação de cargas nos portos organizados e terminais de uso privativo*. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/BoletimPortuario/BoletimPortuarioQuartoTrimestre2012.pdf>. Acesso em: 26 maio. 2014.

ARAUJO, Rafael Roco de, 2003. *Um modelo de resolução para problemas de roteirização em arcos com restrição de capacidade*. Dissertação de mestrado, UFRS, Porto Alegre, RS, Brasil.

BACOVIS, M.M.C, “Estudo Comparativo das Plataformas Logísticas Européias x Brasileiras, como Forma de Identificar um Modelo que Atenda as Empresas do PIM”. In *Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica*, João Pessoa, Paraíba, Brasil, 2007. Disponível em: <http://logisticatotal.com.br/files/articles/b6f3a1b85da55bc3b218ca7317bc7851.pdf> Acesso em: 14 dez. 2010.

BALLOU, RONALD H, 1993, *Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física*. São Paulo, Atlas.

BALLOU, RONALD H., 1997, “Business logistics: importance and some research opportunities”, *Gestão & Produção*, v.4, n.2, pp.117-129.

- BALLOU, RONALD H., 2004, *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial*. 5 ed. Porto Alegre, Bookman.
- BALLOU, RONALD H., 2006, “The evolution and future of logistics and supply chain management”, *Produção*, v.16, n.3, pp.375-386.
- BANOMYONG, R., BERESFORD, A., 2001, “Multimodal transport: the case of Laotian garment exporters”, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 31, n. 9/10, pp. 651-73.
- BARROS, LILIAN, 1997, “A global view of industrial logistics”, *Gestão & Produção*, v.4, n.2, pp.150-158.
- BAKER, P., RUSHTON, A., CROUCHER, P., 2006, *The handbook of logistics and distribution management*. 3a ed. London, Kogan Page Limited.
- BANOMYONG, R. “Modelling freight logistics: the vientiane-singapore corridor”. In *Logistics 2001: International Conference on Integrated Logistics*. Disponível em <http://www.bus.tu.ac.th/usr/ruth/misc/ModellingFreightLogistics.pdf>. Acesso em 21/11/2011
- BERESFORD A.K.C., 1999 “Modelling Freight Transport Costs: A Case Study of the UK-Greece Corridors”, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, v. 2, n. 3, pp.229-246.
- BERTAGLIA, P. R., 2006, *Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento*. São Paulo, Saraiva.
- BHAGWAT, R., SHARMA, M.K., 2007, “Performance measurement of supply chain management: a balanced scorecard approach”, *Computers & Industrial Engineering*, v. 53, n.1, pp. 43-62.
- BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J., 1997, “Brazilian logistics: a time for transition”. *Gestão & Produção*, v.4, n.2, pp.130-139.
- BOWERSOX, D J., CLOSS, D J., 2008, *Logística Empresarial: O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento*. São Paulo, Atlas.

BOWERSOX, D., CLOSS, D, COOPER, M. B., 2002 *Supply Chain Logistics Management*. New York, McGraw-Hill.

BRASIL. Ministério dos transportes. Secretaria de Política Nacional de Transportes – SPNT/MT. PNLT, relatório final, projeto de reavaliação de estimativas e metas do PNLT, Brasília, 2007. Disponível em <http://transportes.gov.br/public/arquivo/arq1352742260.pdf>. Acesso em 25 de maio de 2010.

BRASIL. Ministério dos transportes. Secretaria de Política Nacional de Transportes – SPNT/MT. PNLT, relatório final, projeto de reavaliação de estimativas e metas do PNLT, Brasília, Setembro 2012. Disponível em <http://www.transportes.gov.br/public/arquivo/arq1352743917.pdf>. Acesso em 25 de maio de 2010.

CARMOS FILHO, MANOEL M., 2009, *Procedimentos metodológicos de avaliação da acessibilidade e mobilidade nos pólos produtivos do interior do Amazonas*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CARTER, J.R., FERRIN, B.G., 1995, “The impact of transportation costs on supply chain management”. *Journal of Business Logistics*, v. 16 n. 1, pp. 189-212.

CERRA, A. L., BONADIO, P. V. G., 2000, “As relações entre estratégia de produção, TQM (Total Quality Management ou Gestão da Qualidade Total) e JIT (Just-In-Time): estudos de caso em uma empresa do setor automobilístico e em dois de seus fornecedores”, *Gestão & Produção*, v.7, n.3, pp. 305-319.

CHARNES, J. M., ZINN, W., 1997, “Determinação do estoque de segurança em um sistema de estoque de revisão periódica, com demanda correlacionada em série”, *Gestão & Produção*, v. 4, n. 2., pp. 140-150.

CORRÊA, H. L., GIANESI, I. G. N., 1996, *Just -in- time, MRP II e OPT - Um enfoque estratégico*. 2ª. Ed. São Paulo, Atlas.

COSTA, REINALDO P., et al, 2008, “Análise de rentabilidade de uma rede logística: novo método de cálculo”. *Produção*, v.18, n.3, pp.469-478.

CUNHA, D. M., et al., 2008, *O Estado e as conseqüências do “desenvolvimento” para a população Amazônica: Desafios e perspectivas da integração interoceânica na tri-fronteira Brasil, Peru-Bolívia* . In Congresso da Associação Latino Americana de População – ALAP, Córdoba, Argentina.

SILVA, ELIO M , et tal, 1998, *Pesquisa Operacional: programação linear*. 3ª. Ed. São Paulo, Atlas.

DIAS, MARCO A. P., 1993, *Administração de materiais: uma abordagem logística*. 4 ed. São Paulo, Atlas.

FARIA, ANA C., 2011 *Gestão de Custos Logísticos*. São Paulo, Atlas.

FERNANDES, E., MACHADO, W. V. (org), 2011. *A Amazônia série de pesquisa: transporte e logística*. Manaus, EDUA.

FERREIRA, S. M. P., VIEIRA SÁ, M. T. PASSOS, K.. “O papel estratégico da Amazônia nas relações comerciais entre Brasil e a República Popular da China”. In: PAULINO, L. A.; PIRES, M. C. (Orgs.), 2009, *Nós e a China: o impacto da presença da China no Brasil e na América do Sul*. São Paulo, LCTE.

FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; Wanke, P. (org), 2003, *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos*. São Paulo, Atlas.

FLEURY, P. F., WANKE, P., FIGUEIREDO, K. F. (Orgs.), 2000, *Logística empresarial: a perspectiva brasileira*. São Paulo, Atlas.

FRAZELLE, EDWARDS H., 2002, *Supply Chain Strategy*. New York, McGraw-Hill.

FREITAS, A.; PORTUGAL, P., 2006, *Estudos de Transporte e Logística na Amazônia*. Manaus, Novo Tempo.

FREITAS, A., 2009, *Planejamento em transporte: alternativa ferroviária para a Amazônia ocidental brasileira- saída pelo atlântico norte*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FURASTÉ, P. A., 2009, *Normas Técnicas para o Trabalho Científico: explicitação das normas da ABNT*. 15. ed. Porto Alegre, s.n.

GARCIA, E. S., FERREIRA FILHO, V. J. M., 2009, “Cálculo do ponto de pedido baseado em previsões de uma política de gestão de estoques”, *Pesquisa Operacional*, v.29, n.3, pp. 605-622.

GHINATO, P., 1995, “Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente Just-in-Time”, *Produção*, v. 5, n. 2, pp. 169-189.

GHIANI, G.; LAPORTE, G., MUSMANNO, R., 2004, *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. England, John Wiley & Sons Ltd.

GIL, ANTÔNIO C., 1999, *Como elaborar projetos de pesquisa*. 2. ed. São Paulo, Atlas.

GODINHO FILHO, M., FERNANDES, FLAVIO C. F., 2006, “Redução da instabilidade e melhoria de desempenho do sistema MRP”, *Produção*, v. 16, n. 1, pp. 64-79.

GUERRA, JOÃO H. L., 2009, “ Uma proposta para o processo de definição do estoque de segurança de itens comprados em empresas que fabricam produtos complexos sob encomenda”. *Gestão & Produção*, v. 16, n. 3, pp. 422-434.

GUNASEKARAN, A., PATEL, C. ,MCGAUGHEY, R.E., 2004, “A framework for supply chain performance measurements”, *International Journal of Production Economics*, v. 87, n. 3, pp.333–347.

IPEA, 2010. Transporte Ferroviário de cargas no Brasil: Gargalos e Perspectivas para o desenvolvimento regional. Série Eixos do Desenvolvimento Brasileiro. Disponível em <http://www.revistaferroviaria.com.br/upload/Estudo%20IPEA%20ferrovias.pdf>. Acesso em 26 de maio de 2014.

KAPLAN, R.S., NORTON, D.P., 1992, “The balanced scorecard – measures that drive performance”, *Harvard Business Review*, 1992, v.70, n. 1, 71-79.

KOEN, B. V., 2003, *Discussion of the method: conducting the engineer’s approach to problem solving*. New York, Oxford University Press.

KOHLHEPP, G., 1992, “Desenvolvimento regional adaptado: o caso da Amazônia brasileira”, *Estudos Avançados*, vol.6, n.16, pp. 81-102.

KUTZ, MYER, 2004, *Handbook of Transportation Engineering*. New York, McGraw-Hill.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A., 2001, *Fundamentos de metodologia científica*. São Paulo, Atlas.

LALONDE, B. J., ZINSZER, P. H., 1976, *Customer service: meaning and measurement*. Chicago, National Council of Physical Distribution Management.

LAURINDO, F. J. B., MESQUITA, M. A., 2000, “Material Requirements Planning: 25 anos de história - Uma revisão do passado e prospecção do futuro”, *Gestão & Produção*, v. 7, n. 3, pp. 320-337.

LISBOA, ÉRICO, 2002, *Apostila do curso Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro.

MCKINSEY, 2010, *Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil: Relatório Consolidado*. Rio de Janeiro, McKinsey & Company.

MARTINS, P. G., CAMPOS, P. R., 2006, *Administração de materiais e recursos patrimoniais produção*. 2. ed. São Paulo, Saraiva.

MARTINS, P. G., LAUGENI, F. P., 2006, *Administração da produção*. 2. ed. São Paulo, Saraiva.

MARTINS, R. S., XAVIER, W. S., SOUZA FILHO, O. V., MARTINS, G. S., 2011, “Gestão do transporte orientada para os clientes: nível de serviço desejado e percebido”, *Revista de Administração Contemporânea*, v.15, n.6, pp. 1100-1119.

MOITA, FLÁVIO M., et al., 2009, *Análise do tempo de trânsito aéreo entre Xangai e Manaus: um estudo de caso*. In: Mostra Técnico Científica da Feira Internacional da Amazônia (FIEAM). Manaus, Brasil.

MOREIRA, DANIEL A., 1993, *Administração da Produção e Operações*. São Paulo Pioneira.

NOVAES, A. G., VIEIRA, H. F., 1996, “O nível de serviço logístico-portuário sob a ótica dos exportadores”, *Gestão & Produção*, v.3, n.3, p.290-306.

OJALA, LAURI, 1993, “Changing Logistical Patterns and Policies in Northern Europe”, *International Journal of Logistics Management*, v. 4, n 2, p.25 – 40.

OLIVEIRA JR., A. R; MACHADO J. A. C., 2009, “O pólo Industrial de Manaus e sua dinâmica”. In: RIVAS, A. MOTA, J. A., MACHADO, J. A. C. (Orgs.). *Instrumentos econômicos para a proteção da Amazônia: a experiência do Pólo Industrial de Manaus*. Curitiba, CRV.

OLIVEIRA, F. L., 2009, *Gestão estratégica de cadeias de suprimento com base no modelo logístico de incerteza: o caso do pólo industrial de Manaus (PIM)*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PARENTONI, E. M. M., PEREIRA, A. L., 2008, “Planejamento estratégico de infraestrutura e transporte na provisão da implantação de aeroportos-indústria no Brasil”. In *Simpósio de transporte aéreo (SINTRAER)*, pp 790 -798, Rio de Janeiro.

PAULINO, L. A., PIRES, M. C. (Orgs.), 2009, *Nós e a China: o impacto da presença da China no Brasil e na América do Sul*. São Paulo, LCTE.

PEIXOTO, EDUARDO C., PINTO, LUIZ R., 2006, “Gerenciamento de estoques via previsão de vendas agregadas utilizando simulação”. *Produção*, v.16, n.3, pp. 569-581.

PIZZOLATO, N. D., SCAVARDA, L. F., PAIVA, R., 2010, “Zonas de influência portuárias - hinterlands: conceituação e metodologias para sua delimitação”, *Gestão & Produção*, v.17, n.3, p. 553-566.

POZO, HAMÍLTON, 2007, *Administração de recursos materiais e patrimoniais: uma abordagem logística*. São Paulo, Atlas.

QUINTANAR, S., LOPEZ, R., 2003, “O Plano de Ação para a Integração da Infra-estrutura Regional Sul americana (IIRSA): oportunidades e riscos. Seu significado para o Brasil e a Argentina”, *Revista Brasileira de Política Internacional*, v.46, n.1, pp. 213-221.

RIVAS, ALEXANDRE, 2009, “Possíveis conseqüências de uma eventual extinção do PIM”. In: RIVAS, A, MOTA, J. A., MACHADO, J. A. da Costa. (Orgs.). *Instrumentos econômicos para a proteção da Amazônia: a experiência do Pólo Industrial de Manaus*. Curitiba, CRV.

RIVAS, A. MOTA, J. A., MACHADO, J. A. C. (Orgs.), 2009, *Instrumentos econômicos para a proteção da Amazônia: a experiência do Pólo Industrial de Manaus*. Curitiba, CRV.

ROCHA, A.C. B., FERNANDES, E., MACHADO, W. V., 2009, “Um modelo de análise da competitividade logística industrial”. In: *Mostra Técnico Científica da Feira Internacional da Amazônia (FIEAM)*. Manaus, Amazonas, Brasil.

ROSA, H., ; MAYERLE, S. F., GONCALVES, M. B., 2010, “Controle de estoque por revisão contínua e revisão periódica: uma análise comparativa utilizando simulação”, *Produção.*, v. 20, n. 4.

ROSA, H., ABREU, L. F, 1996, “Plataformas Logísticas: uma abordagem na perspectiva do desenvolvimento para a Amazônia Ocidental”. In: *Simpósio de engenharia de produção – SIMPEP*, São Paulo, Brasil.

RUSHTON A., CROUCHER, P., BAKER, P, 2006, *The Handbook of Logistics and Distribution Management*. 2 ed.. London, Kogan Page.

SANT’ANNA, J. A., 1998, *Rede Básica de Transportes da Amazônia*. IPEA. Disponível em http://www.ipea.gov.br/pub/td/td_562.pdf. Acesso em 17 de dezembro de 2010.

SEVERINO, A. J., 2002, *Metodologia do trabalho científico*. 23. ed. rev. e atual. São Paulo, Cortez.

SILVA, E. M., SILVA, E. M., MUROLO, A. C., 1998 *Pesquisa operacional: programação linear e simulação*. 3. ed. São Paulo, Atlas.

SILVA, Marcos Roberto, 2010. *Uma contrubuição ao projeto de redes de transporte de carga parcelada*. Tese de doutorado, USP, São Paulo, SP, Brasil.

SIMÕES, R. B. A., FERNANDES, E., MACHADO, W. V. (org), 2011, *Reflexões sobre o desenvolvimento, transporte e logística na Amazônia Brasileira*. Manaus, EDUA.

SHEN, Z. M., 2007, “Integrated supply chain design models: a survey and future research directions”, *Journal of industrial and management optimization*, V 3, n.1, pp. 1-27.

SLACK, N., et al, 2002, *Administração da Produção*. 2 ed. São Paulo, Atlas.

TAHA, H. A., 2007, *Operations research: an introduction*. 8th ed. New Jersey, Pearson Education.

TEIXEIRA, K.M., 2007, *Investigação de Opções de Transporte de Carga Geral em Containeres nas Conexões com a Região Amazônica*. Tese de D.Sc., Escola de Engenharia de São Carlos / USP, São Paulo, SP, Brasil.

TAYLOR, G D., 2009, *Introduction to Logistics Engineering*. London, CRC Press.

VIANA, J. J., 2002, *Administração de materiais: um enfoque prático*. São Paulo, Atlas.

WANKE, P. F., HIJJAR, M. F., 2009, “Exportadores brasileiros: estudo exploratório das percepções sobre a qualidade da infraestrutura logística”, *Produção*, v.19, n.1, pp.143-162.

YAHN FILHO, A. G., 2005, “O conceito de bacia de drenagem internacional no contexto do tratado de cooperação amazônica e a questão hídrica na região”, *Ambiente & sociedade*, v. 8, n. 1, pp. 87-100.

XAVIER, G. G., 1998, “JIT and supply chain management: an information processing perspective”, *Produção*, v. 8, n. 1, pp. 45-61.

Zeng, A. Z., ROSSETTI, C., 2003, “Developing a framework for evaluating the logistics costs in global sourcing processes: An implementation and insights”. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 33 n. 9, pp.785 – 803.