

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
Área de Concentração Transportes

RAFAEL D'ANDRÉA

**ANÁLISE DE UM MODELO MATEMÁTICO DE LOCALIZAÇÃO NA
REORGANIZAÇÃO DE UMA REDE LOGÍSTICA ESTABELECID**

VITÓRIA – ES
Julho 2011

RAFAEL D'ANDRÉA

**ANÁLISE DE UM MODELO MATEMÁTICO DE LOCALIZAÇÃO NA
REORGANIZAÇÃO DE UMA REDE LOGÍSTICA ESTABELECIDADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência, na área de concentração Transportes.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Patrícia Alcântara Cardoso.

VITÓRIA

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

D178a D'Andréa, Rafael, 1977-
Análise de um modelo matemático de localização na
reorganização de uma rede logística estabelecida / Rafael
D'Andréa . – 2011.
150 f. : il.

Orientador: Patrícia Alcântara Cardoso .
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Logística. 2. Indústrias - Localização. 3. Programação não-
linear. I. Cardoso, Patrícia Alcântara. II. Universidade Federal do
Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

RAFAEL D'ANDRÉA

**ANÁLISE DE UM MODELO MATEMÁTICO DE LOCALIZAÇÃO NA
REORGANIZAÇÃO DE UMA REDE LOGÍSTICA ESTABELECID**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência na área de concentração Transportes.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Patrícia Alcântara Cardoso
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Marta Monteiro da Costa Cruz
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora Interna

Prof. Dr. Nélio Domingues Pizzolato
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Examinador Externo

Prof^a. Dr^a. Alessandra Fraga Dubke
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Espírito Santo
Examinadora Externa

Dedico esta dissertação à minha esposa, Elisângela, e meus filhos, Lucas e Vitor,
por todo o apoio, paciência, amor e carinho.

À minha mãe, Maria Socorro; ao meu pai, Annibal, que não se encontra mais entre
nós e que muito contribuiu para minha formação, e a toda a minha família que
sempre me incentivou.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por capacitar-me e permitir a realização deste trabalho.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Patrícia Alcântara Cardoso, pelos ensinamentos, pelo apoio e pela confiança depositada para a concretização deste trabalho, além de ter contribuído grandiosamente para o meu desenvolvimento acadêmico.

Aos professores Dr. Nélio Domingues Pizzolato, da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, e Dr^a. Alessandra Fraga Dubke, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, por aceitarem participar da Banca Examinadora.

À Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de fazer esse Mestrado e aos professores Dr. Gregório Coelho de Moraes Neto e Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa pela contribuição na etapa de qualificação.

Ao Lionel Correcher, aluno francês de engenharia, que muito contribuiu com os passos iniciais na aprendizagem do software AIMMS.

À minha família, em especial meus filhos Lucas e Vitor, por me ajudarem, mesmo sem saberem, nos momentos em que mais precisava de silêncio para me concentrar na pesquisa.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A crescente competição entre cadeias de suprimento geradas pela globalização da economia e pela inovação tecnológica gerou a necessidade de redes logísticas cada vez mais complexas. Desta forma, o planejamento de redes logísticas tornou-se cada vez mais importante e a localização de instalações um assunto estratégico em busca da vantagem competitiva. O presente estudo insere-se em uma corrente de pesquisa sobre a teoria da localização de instalações e tem como objetivo analisar uma rede logística estabelecida definindo a quantidade e a localização de um ou mais Centros de Distribuição que minimize os custos totais associados à cadeia como um todo, sem comprometimento do nível de serviço. Para tal, um modelo de programação não-linear é proposto para a resolução de um problema real de uma empresa do setor petrolífero. É, ainda, proposto um método de análise para problemas de localização de instalações, onde são listadas as principais etapas a serem seguidas. Por fim, será apresentada uma análise de sensibilidade no intuito de se obterem *insights* gerenciais, onde serão gerados e otimizados diferentes cenários. Os resultados obtidos com a implementação computacional do modelo por meio do software AIMMS se mostraram adequados para a resolução do problema proposto, estando as conclusões obtidas em concordância com a literatura especializada.

Palavras-chave: Logística. Indústrias - Localização. Programação não-linear.

ABSTRACT

The increasing competition among the supply chains generated by economic globalization and technological innovation has required logistics networks becoming increasingly complex. Thus, planning of logistics networks has become increasingly important and the location of facilities a strategic issue in search of competitive advantage. This study is included in a stream of research about the facilities location theory and aims to analyze a logistics network established by setting the amount and location of one or more distribution centers to minimize the total costs associated with the chain as a whole, without compromising the level of service. To this end, a nonlinear programming model is proposed in order to solve a real problem of a company in the oil sector. It also proposed a method of analysis for facility location problems, which lists the main steps to be followed. Finally, it presents a sensitivity analysis in order to obtain managerial insights, where various scenarios will be generated and optimized. The results obtained by computer simulation using the AIMMS software were adequate to solve the proposed problem, with the conclusions reached in agreement with the literature.

Keywords: Logistic. Industry - Facilities Location. Non-linear programming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do referencial teórico	21
Figura 2 – Elementos básicos da Logística	22
Figura 3 – Fluxos logísticos	23
Figura 4 – Estrutura da cadeia de suprimentos	25
Figura 5 – Áreas funcionais da Cadeia de Suprimentos	26
Figura 6 – Bases do planejamento logístico	29
Figura 7 – Processo sintetizado de modelagem matemática	32
Figura 8 - Comportamento dos custos distribuição em função do número de CDs...	39
Figura 9 - Efeitos do peso dos produtos sobre o processo de localização antes e depois do processamento	42
Figura 10 - Representação esquemática da rede logística estudada.....	62
Figura 11 – Fluxograma da metodologia proposta	82
Figura 12 - Representação esquemática da rede logística atual.....	84
Figura 13 – Configuração física da rede logística atual.....	84
Figura 14 - Representação esquemática da rede logística a ser estudada.....	86
Figura 15 – Nova configuração física da rede logística a ser estudada	87
Figura 16 – Efeito da adição de ES a PP na determinação da probabilidade de não faltar produto durante o <i>lead-time</i> de ressuprimento	102
Figura 18 - Ambiente de desenvolvimento integrado do AIMMS.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definições para Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos	28
Quadro 2 - Resumo dos principais trabalhos sobre localização de instalações	60
Quadro 3 - Classificação da pesquisa	79
Quadro 4 – Probabilidade de não faltar produto em estoque em função de k.	103
Quadro 5 - <i>Softwares</i> para solução de modelos matemáticos não-lineares	67
Quadro 6 – Comparação entre os principais sistemas de otimização	71
Quadro 7 - Síntese das variáveis do modelo.....	113
Quadro 8 - Configuração otimizada da rede logística	119
Quadro 9 - Plano de simulação	121
Quadro 10 – Notação de configuração da rede logística	121
Quadro 11 - W_{ij} ótimos para o cenário 1 com a variação de + 60% no parâmetro..	122
Quadro 12 - W_{ij} ótimos para o cenário 1 com a variação de - 60%, - 30% e + 30% no parâmetro	123
Quadro 13 - W_{ij} ótimos para o cenário 2 com a variações dos parâmetros de - 30%, + 30% e + 60%.....	124
Quadro 14 - W_{ij} ótimos para o cenário 2 com a variação de - 60% no parâmetro...	125
Quadro 15 - W_{ij} ótimos para o cenário 3 com a variação de - 60% nos parâmetros	126
Quadro 16 - W_{ij} ótimos para o cenário 3 com a variação de - 60%, + 30% e + 60% nos parâmetros	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Distâncias aproximadas em km entre centros de distribuição e fornecedores	91
Tabela 2 - Valores coletados para cálculo do custo unitário e diário médio de ressuprimento.....	94
Tabela 3 - <i>Lead-time</i> médio de ressuprimento junto a cada CD	95
Tabela 4 - Demanda média diária de aço distribuída por fornecedor	95
Tabela 5 - Custo de transporte entre os CDs e os fornecedores	97
Tabela 6 - Custo por tonelada transportada entre os CDs e os fornecedores	97
Tabela 7 - Cálculo do custo unitário de colocação de pedido no CD-Guarulhos.....	99
Tabela 8 - Custo de colocação de pedido (R\$/tonelada)	100
Tabela 9 - Custo unitário e diário de manutenção de estoque	100
Tabela 10 - Desvio-padrão da demanda de aço	104
Tabela 11 - Fatores de correlação entre as demandas de aço	105
Tabela 12 - Desvio-padrão da lead-time médio de ressuprimento	105
Tabela 13 - Relação dos valores base de todos os parâmetros de entrada do modelo de localização.....	106
Tabela 14 - Respostas para simulações do cenário 1.....	122
Tabela 15 - Proporção dos componentes de custo para o cenário 1	123
Tabela 16 - Respostas para simulações do cenário 2.....	124
Tabela 17 - Proporção dos componentes de custo para o cenário 2	124
Tabela 18 – Respostas para simulações do cenário 3.....	125
Tabela 19 - Proporção dos componentes de custo para o cenário 3	126

LISTA DE SIGLAS

AIMMS – Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software

CD – Centro de Distribuição

CE – Efeito de Consolidação

CLM – Council of Logistics Management

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CSCMP – Council of Supply Chain Management Professionals

EDI – Electronic Data Interchange

EP – Empresa Pesquisada

ES – Estoque de Segurança

GAMS – General Algebraic Modeling System

GCS – Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos

GUI – Interface Gráfica Personalizada

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

LEC – Lote Econômico de Compra

MPL – Mathematical Programming Language

OE – Objetivos Específicos

PE – Efeito Portifólio

PLIM – Programação Linear Inteira Mista

PP – Ponto de Pedido

SCM – Supply Chain Management

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.2	OBJETIVOS DA PESQUISA	17
1.3	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	18
1.4	ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	LOGÍSTICA	21
2.2	CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	24
2.3	GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	27
2.4	PLANEJAMENTO LOGÍSTICO	28
2.5	MODELAGEM MATEMÁTICA.....	30
2.6	ESTOQUES	33
2.6.1	Composição de Custos dos Estoques.....	35
2.6.2	Influência dos Estoques no Planejamento de Redes	38
2.7	LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES	40
2.7.1	Teoria Clássica.....	41
2.7.2	Classificação dos Modelos de Localização	43
2.8	MODELOS PARA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES.....	46
2.8.1	Modelo referencial	61
2.9	SOFTWARES PARA SOLUÇÃO DO MODELO DE LOCALIZAÇÃO.....	65
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	76
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	76
3.2	MÉTODO DE ANÁLISE PARA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES.....	79
4	ESTUDO DE CASO	83
4.1.	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	83
4.2.	ESCOLHA DO MODELO MATEMÁTICO DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES	87
4.3.	IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO	88
4.4.	ESCOLHA DOS POTENCIAIS PONTOS DE LOCALIZAÇÃO	90
4.5.	COLETA DE DADOS.....	91

4.6.	CONSTRUÇÃO DO MODELO DE LOCALIZAÇÃO.....	111
4.7.	VALIDAÇÃO DO MODELO	116
4.8.	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO.....	117
4.9.	ANÁLISES DE RESULTADOS E DE SENSIBILIDADE.....	118
5	CONCLUSÃO	128
6	REFERÊNCIAS.....	133

1 INTRODUÇÃO

Os conceitos de otimização logística têm evoluído de um ponto de vista de apenas uma empresa para um ponto de vista mais amplo, englobando cadeias de fornecimento. A crescente competição entre cadeias de suprimento geradas pela globalização da economia e pela inovação tecnológica gerou a necessidade de cadeias logísticas cada vez mais complexas. Com o aperfeiçoamento dos sistemas logísticos, os centros de consumo e os produtivos tornaram-se cada vez mais distantes. Algumas regiões se especializaram na produção de *commodities*, geralmente fornecendo matéria-prima para o mercado interno ou mais próximo.

A crescente busca pelo aumento de produtividade e por maior ganho de escala faz com que a produção aumente e o excedente possa ser então encaminhado a outras áreas produtoras (ou consumidoras), e os artigos necessários, mas de escassa ou inexistente produção local, sejam importados. Esse processo de intercâmbio segue o princípio da vantagem comparativa. O mesmo princípio, quando aplicado a mercados mundiais, ajuda a explicar o alto nível de comércio internacional hoje existente. Sistemas logísticos eficazes dão aos competidores do comércio mundial condições de tirar proveito desse novo cenário.

A evolução das redes logísticas nos últimos anos é notória. A oferta de produtos de qualidade, a baixos custos, atendendo às necessidades de mercados globalizados, é a tônica dos dias atuais. Nesse contexto, o entendimento das funções de planejamento de redes logísticas é estrategicamente fundamental.

O planejamento de rede logística busca maximizar os resultados das operações e minimizar os riscos nas tomadas de decisões das empresas, sendo de extrema importância na obtenção de vantagem competitiva, pois apresenta profundo impacto no custo total e no nível de serviço.

De acordo com Bowersox *et al.* (2006), o que define o sucesso de uma estratégia logística é a coordenação dos seguintes fatores: projeto de rede logística, informação, transporte, estoque e armazenagem. Para Ballou (2006), o alinhamento do planejamento logístico com os objetivos da empresa é o fator preponderante para

o bom desempenho logístico. Ainda segundo o autor, o planejamento logístico é representado por um triângulo de decisões que envolvem questões de localização de instalações, decisões de estoque e de transporte que devem estar alinhadas com os objetivos de serviço ao cliente.

Caracterizados por um alto nível de complexidade em virtude da influência mútua entre variáveis e pelo intensivo uso de dados, os estudos de localização atualmente dispõe de novas tecnologias de informação que permitem tratar os sistemas logísticos de forma efetivamente integrada.

O estudo sobre localização de instalações é realizado tanto na fase de planejamento de redes logísticas inexistentes como de redes logísticas já existentes (abertura de uma nova unidade, fechamento de unidade e redefinição da localização de unidades já existentes). Esses estudos se propõem a analisar as seguintes dimensões estratégicas: número adequado de instalações, a melhor localização de cada uma delas, tamanho da instalação e o nível de estoque em cada uma das instalações.

A presente pesquisa tratará da configuração da nova rede logística, em função da importância estratégica deste assunto para o gerenciamento da cadeia de suprimentos. Num primeiro momento será apresentado um método de análise para localização de instalações.

Num segundo momento será aplicado um modelo matemático de programação não-linear de localização de instalações em um estudo de caso real que permitirá obter o desenho de uma rede logística para a qual o custo total é mínimo. Com isso, é possível determinar a quantidade e a localização de um ou mais centros de distribuição adequados para a configuração de uma rede logística estabelecida.

Por fim será realizada uma análise de sensibilidade, onde serão gerados diferentes cenários aleatórios. Os objetivos principais da análise de sensibilidade é a identificação de diferentes grupos de resposta e a caracterização dos mesmos em termos dos parâmetros de entrada do problema e dos componentes de custo da rede.

Busca-se nesta dissertação contribuir para o estudo do tema na literatura, através da abordagem de um problema real. A intenção é que este texto auxilie os profissionais de logística que lidam com questões de localização de instalações no processo de tomada de decisões relativas ao assunto.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O problema de pesquisa do presente trabalho está voltado para a localização de um ou mais centros de distribuição pertencente a uma rede logística da indústria de Petróleo. Atualmente essa cadeia apresenta dois elos ou camadas (uma usina e um fornecedor). O que motivou seu estudo foi o aumento da complexidade gerada pelo desenvolvimento de três novos fornecedores.

Nesse sentido, a compreensão dessa problemática está ligada diretamente à resposta para as seguintes questões de pesquisa:

- a) Qual a quantidade de centros de distribuição adequada para a rede logística estudada?
- b) Qual o melhor local onde o centro de distribuição deverá estar localizado?
- c) Qual a influência dos principais parâmetros de entrada do problema nos componentes de custo da rede?

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral deste estudo é analisar a utilização de um modelo de programação matemática para representação do problema de desenho de uma rede logística estabelecida, a fim de determinar a quantidade e a localização de um ou mais Centros de Distribuição que minimize os custos totais associados à cadeia de suprimento. Para isso será proposta uma metodologia de análise para o problema de localização de centros de distribuição e serão analisadas a influência dos custos envolvidos e algumas variações de parâmetros, a fim de se ter maior domínio e sensibilidade sobre as respostas do modelo.

Os Objetivos Específicos (OE) envolvem os seguintes itens:

- OE 1 – Identificar e elaborar referencial teórico aderente ao estudo;
- OE 2 – Propor uma metodologia de análise para o problema de localização de instalações;
- OE 3 – Escolher o modelo matemático de localização de centros de distribuição a ser utilizado;
- OE 4 – Construir o modelo matemático;
- OE 5 – Analisar os resultados obtidos do modelo na simulação de cenários.

1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A importância do estudo de localização de instalações decorre dos altos investimentos envolvidos e dos profundos impactos que as decisões de localização têm sobre os custos logísticos (LACERDA, 2000).

A localização de instalações na rede de distribuição e a alocação de estoques constituem uma das principais questões de planejamento estratégico de redes logísticas (BALLOU, 2006). Este autor defende ainda que a reconfiguração das instalações de uma cadeia de suprimentos pode levar a reduções de custo que variam de 5 a 15% ao mesmo tempo em que o nível de serviço é mantido ou melhorado. Além disso, a relevância do tema é corroborada pela literatura, como se pode verificar a partir dos trabalhos de Brandeau e Chiu (1989), Geoffrion e Powers (1995) e Owen e Daskin (1998).

Apesar de existirem diversos tipos de instalações que podem ser tratados nos problemas de localização, Ballou (2006) ressalta que os armazéns são os mais importantes e que aparecem com maior frequência nas decisões que devem ser tomadas pelos gerentes de logística.

Verifica-se uma carência por pesquisas com aplicações práticas de modelos de localização de instalações que considerem o grau de centralização dos estoques. Wanke (2001) destaca que a maior parte dos modelos matemáticos existentes para a localização de armazéns falha ao não incluir o custo com os estoques como um componente de sua função objetivo. Croxton e Zinn (2005) sustentam que a inclusão dos estoques nos modelos de localização de armazéns é tida como necessária na

literatura. Das e Tyagi (1997) defendem que as questões de um problema de localização de armazéns somente serão corretamente respondidas se o modelo levar em conta os custos de estoque, tanto de ciclo quanto de segurança. Miranda e Garrido (2004) afirmam que questões como a política de estoques não podem ser negligenciadas nas decisões estratégicas de localização de armazéns.

Além disso, esta pesquisa contribui para a empresa estudada (e comunidade científica), pois apresenta um modelo que represente a rede logística com algumas incertezas pertinentes a um cenário real, e que auxilie nos questionamentos apresentados. No contexto da teoria da localização, constitui um desafio interessante, e relativamente recente, o qual vem crescendo com novas pesquisas a cada ano.

E por fim, devido ao pequeno número de pesquisas com aplicações práticas de modelos de localização de instalações que considerem o grau de centralização dos estoques, que esta pesquisa ganha ênfase e se justifica.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

O conteúdo desta dissertação está dividido em seis capítulos. O primeiro capítulo apresenta os objetivos do estudo, situando-o no contexto da literatura e da linha de pesquisa em que se encontra inserido. Discute-se então sua importância e apresentam-se as questões a serem respondidas com este trabalho.

A revisão de literatura sobre o tema é tratada no capítulo 2. Primeiramente, são abordados os principais pontos acerca de logística, cadeia de suprimentos e gestão da cadeia de suprimentos. Em seguida são apresentados os níveis do planejamento logístico e as atividades que o compõem. Na quinta seção são definidos e apresentados os diferentes tipos de modelos existentes. Na sexta seção discorre-se acerca da influência dos estoques no planejamento de redes logísticas. Na próxima seção é apresentada a evolução da teoria de localização. Por fim, são apresentados os modelos para localização de instalações.

A metodologia utilizada na pesquisa, assim como sua classificação baseada na literatura existente é apresentada no capítulo 3.

No capítulo 4 é apresentada a elaboração da formulação e construção do modelo matemático. É realizado um diagnóstico do ambiente, visando a identificação de elementos relevantes para o modelo. Em seguida, é estabelecido o escopo da modelagem, suas premissas e, por fim, é formalizado um modelo de programação não-linear proposto para o problema, enfatizando-se ao final do capítulo as diferenças em relação ao modelo referência.

No capítulo 5 são apresentados alguns aspectos de implementação do modelo, os resultados obtidos e são discutidas algumas simulações de cenários realizadas.

As conclusões e sugestões para futuros trabalhos sobre o tema são apresentadas no capítulo 6.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo tem por objetivo fundamentar a pesquisa, dando sustentação teórica e definindo contornos mais precisos da problemática a ser estudada. Apresenta-se dividido em oito seções, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Estrutura do referencial teórico

2.1 LOGÍSTICA

A Logística é conhecida e aplicada há centenas de anos, porém foi a partir da Segunda Guerra Mundial que deu início a evolução continuada de seu conceito e sua existência como ciência, sendo hoje considerada um dos elementos principais na estratégia competitiva das empresas. Sistemas logísticos eficazes são vitais para a sobrevivência das organizações. As atividades logísticas são a ponte que faz a ligação entre locais de produção e mercados separados por tempo e distâncias (BALLOU, 2006).

No início, a Logística era confundida simplesmente com o transporte e armazenagem de produtos e materiais; hoje entende-se que é muito mais do que isso, é um conceito amplo que cuida de todas interações, movimentações e distribuição de suprimentos por toda a cadeia produtiva de forma integrada.

O *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP) é uma organização sem fins lucrativos formada por gerentes de logística, pesquisadores e profissionais da área e foi criada em 1962. Até 2004 era denominada *Council of Logistics Management* (CLM) e tem como objetivo fomentar o ensino da logística e incentivar o intercâmbio de idéias. A visão holística da moderna gestão empresarial foi fator preponderante para o pensamento que construiu essa nova abordagem. Atualmente o objetivo permanece o mesmo, porém foram agregadas as áreas de *procurement*, produção, vendas e marketing. O CSCMP define logística como:

parte do gerenciamento da cadeia de abastecimento que planeja, implementa e controla de forma eficiente e eficaz o fluxo e armazenagem de mercadorias, serviços e informações entre o ponto de origem e o ponto de consumo, a fim de atender aos requisitos dos clientes.

Na Figura 2, é apresentado um diagrama com os principais conceitos da logística, que se inicia pelo planejamento do projeto a ser implantado. Uma vez planejado, passa-se à fase de operacionalização. Em função de sua complexidade e seu dinamismo, todo o sistema logístico precisa ser constantemente controlado.

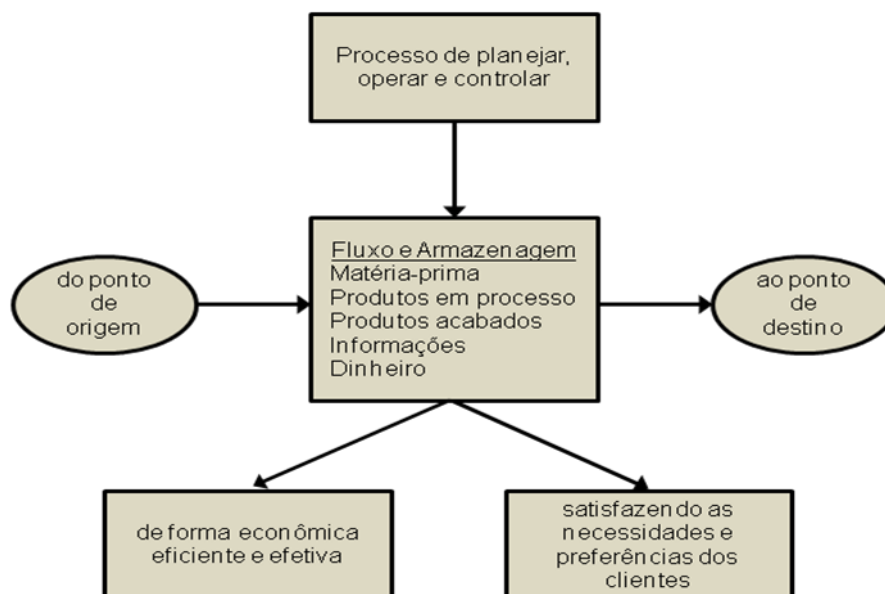


Figura 2 – Elementos básicos da Logística
Fonte: Novaes (2004)

Segundo Novaes (2004), os fluxos associados à Logística, envolvendo também a armazenagem de matéria-prima, dos produtos em processo e dos produtos acabados, percorrem todo o processo, indo desde os fornecedores, passando pela

fabricação, seguindo desta ao varejista, para atingir finalmente o consumidor final. Além do fluxo de materiais (insumos e produtos), há também o fluxo de dinheiro no sentido oposto àquele. Há também fluxo de informações em todo o processo. Esse fluxo ocorre nos dois sentidos, trazendo informações paralelamente à evolução do fluxo de materiais, mas conduzindo também informações no sentido inverso, começando com o consumidor final do produto e indo até os fornecedores de componentes e de matéria-prima, conforme mostrada na Figura 3.

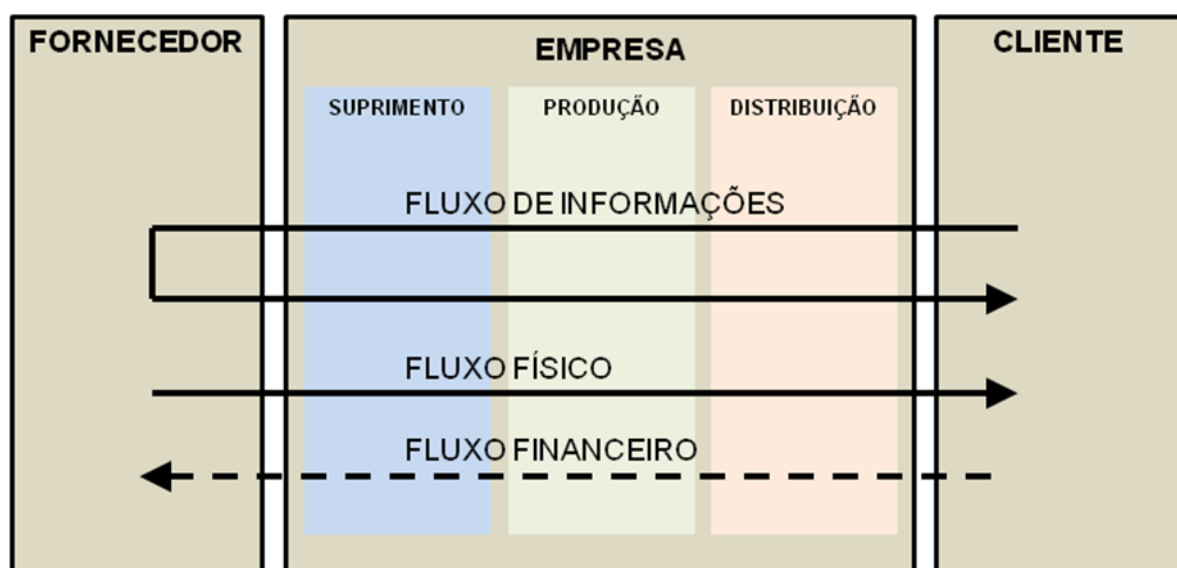


Figura 3 – Fluxos logísticos
Fonte: Novaes (2004)

Segundo Fleury (2000), a Logística é um verdadeiro paradoxo, pois é ao mesmo tempo uma das atividades econômicas mais antigas e um dos conceitos gerenciais mais modernos. O que vem fazendo da logística um dos conceitos gerenciais mais modernos são dois conjuntos de mudanças, o primeiro de ordem econômica, e o segundo de ordem tecnológica.

Dentre as principais mudanças econômicas estão a globalização, o aumento das incertezas nos mercados, a diversidade de produtos e o aumento no nível de exigência dos consumidores. Em função de tais mudanças a Logística passou a ser vista como uma atividade operacional, mas como uma atividade estratégica, fonte potencial de vantagem competitiva.

Enquanto as mudanças econômicas criam novas exigências competitivas, as mudanças tecnológicas tornam possível o gerenciamento eficaz e eficiente de

operações logísticas mais complexas. Assim sendo, a revolução da tecnologia da informação tem papel fundamental. Tais aplicações tecnológicas permitem otimizar o sistema logístico e gerenciar de forma integrada e eficiente seus diversos componentes.

Todos esses elementos do processo logístico têm como objetivo satisfazer as necessidades e preferências dos consumidores finais ao menor custo possível. Como cada elemento da cadeia logística é também cliente de seus fornecedores, é fundamental conhecer a necessidade de cada um dos componentes da cadeia, buscando a satisfação plena.

Novaes (2004) afirma que a logística moderna procura incorporar:

- prazos previamente acertados e cumpridos integralmente, ao longo de toda a cadeia;
- integração efetiva e sistêmica entre todos os setores da empresa;
- integração efetiva e estreita (parcerias) com fornecedores e clientes;
- busca da otimização global, envolvendo a racionalização dos processos e a redução de custos em toda cadeia;
- satisfação plena do cliente, mantendo nível de serviço pré-estabelecido e adequado.

2.2 CADEIA DE SUPRIMENTOS

Os conceitos de otimização logística têm evoluído de um ponto de vista de apenas uma empresa para um ponto de vista mais amplo, englobando cadeias de fornecimento.

A cadeia de suprimentos típica é aquela onde fornecedores de matéria-prima entregam insumos de natureza variada para a indústria principal e também para os fabricantes dos componentes que participam da fabricação de um determinado produto, conforme mostrado na Figura 4. A indústria fabrica o produto em questão, que é distribuído aos atacados e distribuidores, e estes por sua vez aos varejistas. As lojas de varejo vendem o produto ao consumidor final.

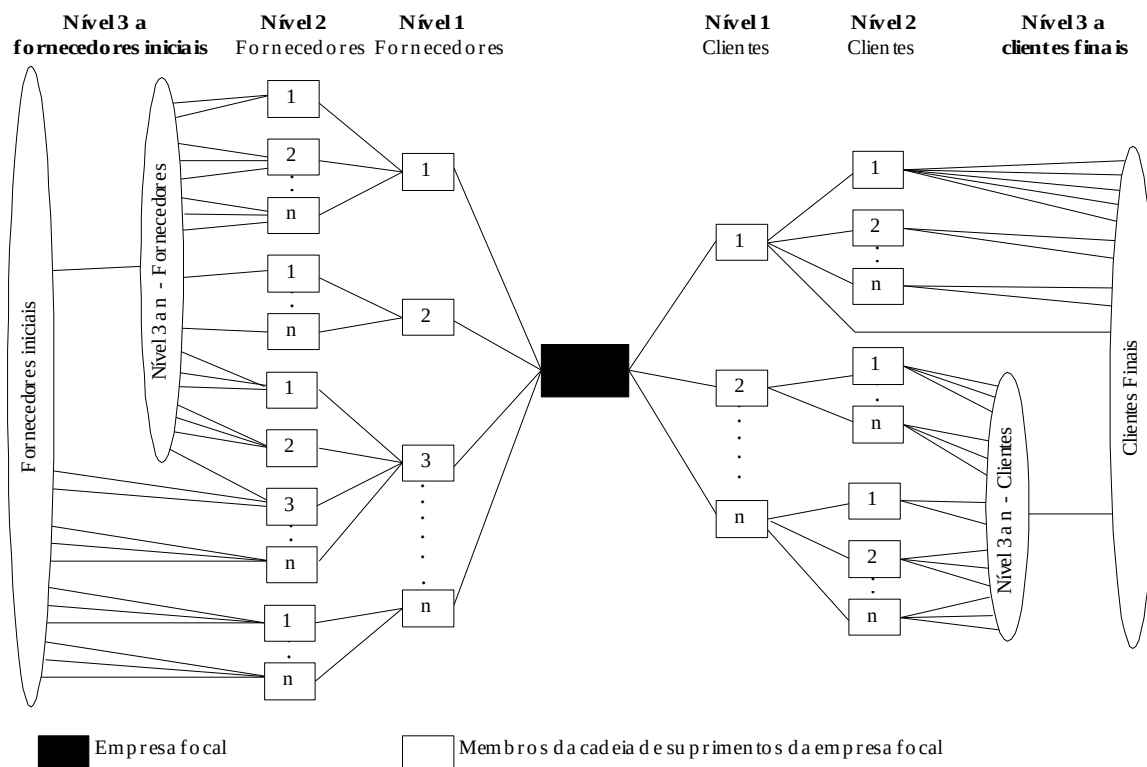


Figura 4 – Estrutura da cadeia de suprimentos

Fonte : Lambert (2001)

Mentzer *et al.* (2001) definem cadeia de suprimentos como o conjunto de três ou mais entidades diretamente envolvidas nos fluxos anteriores e posteriores de mercadorias, serviços, finanças e /ou informações desde o ponto de origem até o ponto de consumo.

Ballou (2006) conceitua a Cadeia de Suprimentos, como:

“Conjunto de atividades funcionais que se repetem inúmeras vezes ao longo do canal pelo qual matérias-primas vão sendo convertidas em produtos acabados, aos quais se agrega valor ao consumidor”.

É importante salientar que uma mesma empresa pode participar de mais de uma cadeia de suprimento distintas. Christopher (2000) afirma que uma empresa não mais concorre com outra individualmente, a concorrência acontece entre as cadeias de suprimento, onde a eficiência está diretamente ligada à integração entre os processos e às parcerias entre os que compõem esta cadeia.

Segundo Cardoso (2002), o conceito de cadeia de suprimentos existe independente de haver ou não um efetivo gerenciamento desta cadeia.

A Figura 5 mostra as áreas funcionais da Cadeia de Suprimento ou também denominada Cadeia de Abastecimento.

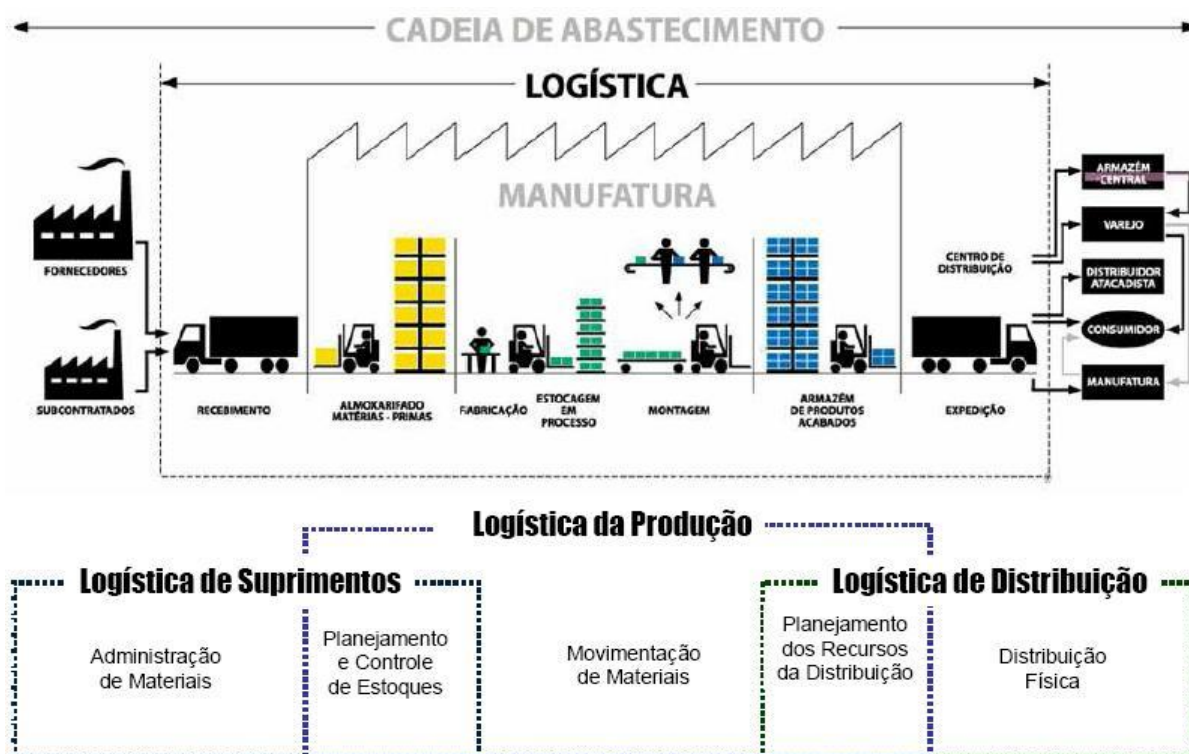


Figura 5 – Áreas funcionais da Cadeia de Suprimentos
Fonte: Martins (2006)

A Logística de Suprimentos é responsável por disponibilizar os insumos para a manufatura e tem como objetivo decidir a quantidade de materiais que serão armazenados, quando e como movimentá-los, de onde serão adquiridos, e onde deverão ser disponibilizados. Já a Logística de Produção é responsável por disponibilizar os insumos para o processo produtivo e os produtos acabados para a distribuição e tem como objetivo reduzir níveis de estoque, dar confiabilidade aos processos de produção, posicionar os estoques ao longo da cadeia e estabelecer parceria com os demais componentes da cadeia. Por fim, a Logística de Distribuição é responsável pela entrega do produto físico até a porta do cliente final ou fábrica ou um Centro de Distribuição (CD).

2.3 GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Para se chegar ao estágio de integração plena da cadeia de suprimentos, com benefícios globais expressivos, o caminho é árduo, requerendo a eliminação de inúmeras barreiras na cadeia. Uma delas é o esquema organizacional da empresa, que precisa ser revisto e modernizado. Outro requisito é a necessidade de um sistema de informações bem modelado e interligando todos os parceiros da cadeia. Também é preciso implantar nas empresas participantes, sistemas de custos adequados aos objetivos pretendidos, permitindo a transparência de informações entre os parceiros da cadeia. Esse tipo de operação logística integrada e moderna é o que se denomina *Supply Chain Management* (SCM), ou em português, Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.

Segundo Yoshizaki (2002), o gerenciamento de cadeia de suprimento exige um incremento da visão externa à companhia. Por exemplo, decisões devem ser tomadas considerando os impactos ao longo de toda a cadeia para aumentar a competitividade da mesma para o consumidor final. Nesse sentido, a parceria entre clientes e fornecedores é de fundamental importância no alcance da vantagem competitiva.

O Quadro 1 contempla diversas definições para o termo Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS), onde pode ser observada a evolução deste conceito nos últimos dez anos.

Fonte	Definição
Mentzer et al. (2001)	GCS é a coordenação estratégica e sistêmica das funções empresariais tradicionais e as táticas entre essas funções de uma empresa e entre negócios pertencentes a uma cadeia de suprimentos com o propósito de melhorar a longo prazo o desempenho das empresas individualmente e da cadeia de suprimentos como um todo.
Van der Vorst e Beulens (2002)	negócio e atividades na cadeia de suprimentos para entregar valor superior ao consumidor final no menor custo e satisfazendo os requerimentos de outras partes interessadas no negócio.
Simchi-Levi et al. (2003)	GCS é um conjunto de abordagens utilizadas para integrar eficientemente fornecedores, fabricantes, depósitos e armazéns, de forma que a mercadoria seja produzida e distribuída na quantidade certa, para a localização certa e no tempo certo, de forma a minimizar os custos globais do sistema ao mesmo tempo em que atinge o nível de serviço desejado.
Cigolini et al. (2004)	GCS é uma abordagem orientada por processos focada no abastecimento, produção e entrega de bens e serviços ao cliente final, através da coordenação e cooperação de vários atores pertencentes a uma mesma cadeia.
Christopher (2005)	GCS é uma rede de organizações que estão envolvidas a jusante e a montante nos diferentes processos e atividades que agregam valor aos produtos e/ou serviços ofertados ao cliente final.
Bowersox et al (2006)	GCS compreende empresas que colaboram para alavancar o posicionamento estratégico e para melhorar a eficiência das operações.
Russel (2007)	GCS são alianças estratégicas com parceiros da cadeia de suprimentos, processos enxutos com custos minimizados e a integração de processos-chave de negócio, como o desenvolvimento de produtos, o gerenciamento da demanda, entre outros.
Hartmut e Kilger (2008)	GCS é a tarefa de integrar as unidades organizacionais ao longo de uma cadeia de suprimentos e coordenar o fluxo financeiro, demateriais e de informações de forma a atender plenamente a demanda do cliente final.
Melo et al. (2009)	GCS é o processo de planejamento, implementação e controle de forma eficiente das operações pertencentes a cadeia de suprimentos.

Quadro 1 – Definições para Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos

2.4 PLANEJAMENTO LOGÍSTICO

O planejamento logístico se propõe a responder questões do tipo: o que, como, quando e onde produzir e distribuir. Em outras palavras, ele envolve a determinação do número, tamanho e localização das instalações; a designação dos produtos e clientes a estas instalações, em termos de origens e destinos; os níveis de estoques intermediários e finais; o tipo e os modais de transporte; como o transporte vai ser feito em termos de ligações, freqüências, tipos de veículos, dentre outras decisões. O objetivo do planejamento é encontrar a melhor forma de distribuir os produtos da fábrica para os clientes, ou seja, a otimização da rede de logística.

A importância do planejamento de rede logística tem aumentado muito por causa dos impactos econômicos e das melhorias nos níveis de serviço que um bom planejamento pode proporcionar, principalmente ao meio empresarial.

Segundo Ballou (2006), para a gestão logística, o processo de planejamento gira em torno de um triângulo de decisões de localização, de estoques e de transportes, com serviços ao cliente sendo resultado dessas decisões conforme mostra a Figura 6. O

objetivo do processo de planejamento logístico é realizar as operações logísticas de uma forma ótima e, como consequência, maximizar o valor para a empresa.



Figura 6 – Bases do planejamento logístico

Fonte: Ballou (2006)

A definição da localização dos pontos que formam uma cadeia de suprimentos é um dos aspectos mais importantes no planejamento de um sistema logístico. Estes pontos representam fornecedores, produtores, centros de distribuição, consumidores, ou quaisquer outros elementos de uma rede logística para os quais se possa demarcar sua posição geográfica (BITTENCOURT, 2005).

O planejamento logístico se desenvolve em três níveis: estratégico, tático e operacional. O planejamento estratégico é considerado de longo prazo, com horizonte temporal de mais de um ano. Envolve o mais alto nível de gerenciamento e requer alto investimento em capital no horizonte de longo prazo. As decisões de nível estratégico determinam geralmente o desenvolvimento de políticas para o funcionamento do sistema (BALLOU, 2006).

O planejamento tático tem um horizonte temporal intermediário, normalmente inferior a um ano. Envolve o planejamento eficiente e racional da alocação de recursos para o aumento da performance do sistema.

O planejamento operacional é o processo decisório de curto prazo, com decisões normalmente tomadas a cada hora, ou diariamente. A maior preocupação é encaminhar o produto de maneira efetiva e eficiente ao longo do canal logístico

estrategicamente planejado. A coordenação da rede para atender à demanda do consumidor é a meta principal.

O planejamento logístico considera quatro grandes áreas de problemas: níveis de serviços aos clientes, localização das instalações, decisões sobre estoques e decisões sobre transportes. Essas áreas de problemas são inter-relacionadas e deveriam ser planejadas como uma unidade, embora seja comum planejá-las em separado. Cada uma delas tem significativo impacto sobre o projeto do sistema (BALLOU, 2006).

As possíveis aplicações para os estudos de localização são muito amplas. Se as analisarmos em função do nível das decisões, temos os seguintes exemplos:

- Nível Estratégico: determinação do número, tamanho e localização de fábricas e depósitos;
- Nível Tático: definição da alocação dos clientes aos centros de distribuição e dos centros de distribuição às fábricas. Escolha de rotas, tipos de serviços oferecidos e alocação de mão-de-obra nos terminais. Inclui-se ainda neste nível de planejamento as decisões de produção das plantas industriais, políticas de produção e montagem, nível de inventário e tamanho de lotes;
- Nível Operacional: programação de serviços, manutenção de atividades e roteirização de veículos.

2.5 MODELAGEM MATEMÁTICA

De acordo com Pizzolato *et al.* (2004), para a solução de problemas logísticos, são utilizados modelos por meio dos quais toda rede logística pode ser representada.

Modelos são representações simplificadas ou aproximações abstratas da realidade, que procuram imitar as principais características da mesma. A simplificação ocorrida nos modelos origina-se do fato que a realidade pode ser muito complexa, sendo que muitas de suas partes podem ser irrelevantes para a análise de uma determinada situação (TURBAN, 1995).

Os modelos possuem papel importante no mundo dos negócios, sendo freqüentemente utilizados pelas organizações para dar suporte no processo de tomada de decisão (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

A utilização de modelos pode proporcionar diversos benefícios para as organizações como: a diminuição nos gastos feitos na análise, já que o custo de uma análise utilizando um modelo é inferior a uma utilizando um objeto real; a diminuição nos gastos de pesquisa e desenvolvimento, pois o custo de erros ocorridos durante testes é menor que os ocorridos em sistemas reais; uma redução no tempo de análise, posto que a mesma pode ser feita rapidamente através do computador; a utilização de uma grande quantidade de variáveis; a facilidade de manipulação de modelos, que podem ser adaptados facilmente a qualquer momento, sendo possível efetuar mudanças nas variáveis utilizadas (TURBAN, 1995; RASGDALE, 2004).

Stair e Reynolds (2002) citam quatro tipos diferentes de modelos: os modelos narrativos, os modelos físicos, os modelos esquemáticos e, por fim, os modelos matemáticos.

Para Bassanezi (2002, p. 20), um modelo matemático “[...] é um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam de alguma forma o objeto estudado”.

Em sua essência, os modelos matemáticos são representações simplificadas da situação original, expressas através de símbolos e expressões matemáticas (HILLIER; LIEBERMAN, 2006; ARENALES *et al.*, 2007).

Segundo Wermuth (2007, p. 79), um modelo matemático é:

[...] um modelo abstrato que utiliza linguagem matemática para descrever o comportamento de um sistema. Os modelos matemáticos são usados de forma especial nas ciências naturais e na engenharia (como na física, na biologia, na engenharia elétrica, e em outras), mas também nas ciências sociais (como na economia, na sociologia e em ciência política).

Os modelos matemáticos são utilizados quando um indivíduo ou uma organização se prontifica a analisar uma situação; para tanto, ele observa esta situação e busca leis que a reja.

Quando estas leis podem ser descritas em uma linguagem matemática, dá-se origem a um modelo matemático (ARENALES et al., 2007).

Bassanezi (2002) menciona que uma modelagem matemática eficiente: possibilita uma tomada de decisão mais eficaz; estimula a utilização de novas idéias e técnicas; permite fazer interpolações, extrapolações e previsões; serve como método de melhor entendimento da realidade; pode sugerir prioridades de aplicações de recursos; entre outros benefícios.

Um processo simplificado de análise e resolução de uma situação real utilizando a modelagem matemática pode ser visualizado na Figura 7, apresentada em seguida. Observam-se todas as etapas do processo, desde a etapa inicial de modelagem matemática da situação, quando são definidas as variáveis e as relações matemáticas que descrevem de maneira abstrata a situação, até a avaliação das conclusões finais, obtidas através do modelo matemático.

Ainda é possível visualizar as etapas de análise e interpretação. No estágio de análise são aplicadas técnicas matemáticas na resolução do modelo. Já na interpretação se analisa se os resultados obtidos pelo modelo são suficientes para obter conclusões finais da situação real.

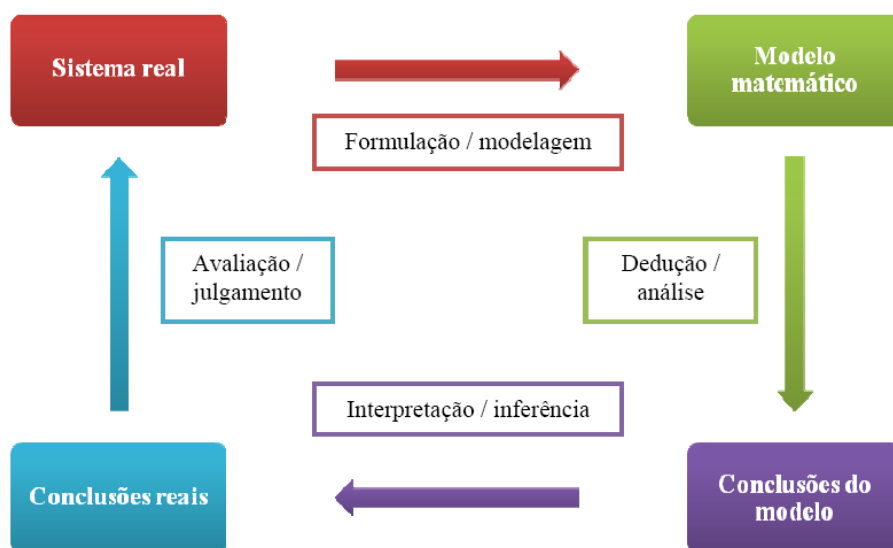


Figura 7 – Processo sintetizado de modelagem matemática
Fonte: Bassanezi (2002)

Segundo Bassanezi (2002, p. 20), “[...] os modelos matemáticos podem ser formulados de acordo com a natureza dos fenômenos ou situações analisadas e

classificadas conforme o tipo de matemática utilizada”. O autor classifica os modelos matemáticos como:

1. Linear ou não-linear: de acordo com as equações que os constituem;
2. Dinâmico ou estático: dinâmicos são os modelos que simulam situações, nas quais podem ocorrer variações como crescimento populacional. Estáticos são os modelos que representam a forma do objeto sem variações;
3. Educacional ou aplicativo: educacionais são os modelos com soluções simples e indutivas. Aplicativos são os modelos baseados na realidade, com um grande número de variáveis inter-relacionadas, tornando a equação matemática complexa;
4. Estocástico ou determinístico: estocásticos são os modelos que se utilizam de acontecimentos prováveis. São utilizados em situações aleatórias, como problemas de fila, e possibilitam a obtenção de soluções ótimas em probabilidade. Determinísticos são os modelos que possuem variáveis com relações bem definidas, com um conhecimento preciso das grandezas utilizadas; partem da suposição que existem informações suficientes para fazer uma previsão futura precisa. Modelos de programação linear são exemplos de modelos determinísticos.

Os modelos matemáticos podem ser baseados em diversas técnicas como: a programação linear, a programação não-linear, a análise de regressão, a análise discriminante, a simulação e a teoria das filas (RASGDALE, 2004).

2.6 ESTOQUES

Estoque, entre as inúmeras definições, pode ser definido como qualquer recurso armazenado (SLACK *et al.*, 2002). Os estoques representam um dos pilares para um bom planejamento logístico, sendo uma forma da organização proteger-se da imprevisibilidade dos processos com os quais lida ou está envolvida. Segundo Ballou (2006), estoques são acúmulos de matérias-primas, suprimentos, materiais em processo e produtos acabados ao longo da cadeia de suprimentos.

O estoque adiciona valor de tempo aos produtos ofertados por uma organização. É responsável por considerável parcela dos custos envolvidos em um sistema

logístico, sobretudo no Brasil, onde o custo de capital é alto. Segundo o Instituto ILOS (2010), os custos relativos à manutenção do estoque na cadeia de suprimentos, em 2010 no Brasil, representaram correspondeu a 3.5% do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro, contra 2.1% do PIB dos Estados Unidos. Este dado justifica a crescente necessidade pelo aperfeiçoamento no controle dos níveis otimizados de estoque nas cadeias de suprimentos. Desta forma, a manutenção de um nível adequado e confiável de estoque pode possibilitar a obtenção de diferencial competitivo e, acima de tudo, a sobrevivência do mercado.

Segundo Ballou (2006), os estoques podem ser categorizados em cinco formas distintas:

- Estoques em trânsito: correspondem aos estoques que estão em deslocamento no canal logístico, podendo estar transitando entre pontos de estocagem ou na produção;
- Estoques especulativos: podem ser de natureza especulativo-financeiras ou referentes à antecipação de políticas de compra;
- Estoques de ciclo: são de natureza regular, necessários para satisfazer a demanda média durante o tempo entre ressuprimentos sucessivos. Depende prioritariamente do tamanho do lote de ressuprimento;
- Estoques de segurança: servem como uma proteção excedente ao estoque regular devido às incertezas da demanda e do tempo de ressuprimento. O estoque de segurança é determinado pelos procedimentos estatísticos que tratam da natureza aleatória das variabilidades envolvidas. O nível do estoque de segurança depende do nível de disponibilidade de estoque que é oferecido e da extensão da variabilidade;
- Estoques obsoletos: são perdas de estoque e ocorrem quando o material tem a validade vencida, é roubado ou deteriorado.

Existem inúmeras vantagens em manter estoque, como afirma Ballou (2006):

- Melhoria do nível de serviço: o estoque é bom para os clientes que precisam imediatamente do produto e são atendidos, e benéfico para a empresa que diminui seu custo de falta do produto;

- Incentivo a economia de produção: quando há estoques, pode haver economia na produção. Isso se deve ao fato da fábrica produzir sem levar em conta a demanda. Assim é possível diminuir os custos na produção, já que a mesma ocorre em grandes lotes e é possível manter a força de trabalho em níveis estáveis;
- Economia de escala na compra e no transporte: um dos objetivos dos estoques é obter descontos nos transportes por se tratar de grandes lotes; e nas compras por se comprar grande quantidade de matéria-prima. Quando é preciso atender uma demanda imediata, que às vezes trata-se de um pequeno lote, a empresa perde esses descontos, tanto de transporte como de compra;
- Proteção contra alterações nos preços: quando há previsão de um aumento nos preços, a empresa pode antecipar a compra de matéria prima e mantê-la em estoque;
- Proteção contra oscilações na demanda ou tempo de ressuprimento: em muitos casos não é possível prever a demandas de produtos e seus tempos de ressuprimento. Sendo assim, a empresa pode manter estoques de segurança, para atender as necessidades de produção ou do mercado;
- Proteção contra contingências: a empresa pode manter estoques de reserva para garantir o fornecimento de seus produtos no caso de uma greve ou de um incêndio, por exemplo.

O departamento de logística da empresa deve ser coerente, pois são grandes os benefícios de se manter estoques. O único problema é o custo de se manter esse estoque. O ideal é investir cada vez menos em estoques desde que as necessidades dos clientes sejam atendidas.

2.6.1 Composição de Custos dos Estoques

De acordo com Tubino (2000), os custos relacionados aos estoques são formados por três classes: os custos diretos, os custos de manutenção de estoques e os custos de colocação de pedidos.

O custo direto é aquele incorrido diretamente com a compra ou fabricação do item.

$$CD = D * C$$

onde:

CD = Custo direto do período;

D = Demanda do item para o período;

C = Custo unitário de compra ou fabricação do item.

O custo de colocação de pedidos é formado por custos fixos e variáveis referentes ao processo de emissão de um pedido, ou seja, todos os custos referentes ao processo de reposição do item. Fazem parte destes custos os seguintes elementos: mão-de-obra para emissão e processamento das ordens de compra, materiais e equipamentos utilizados na confecção das ordens, custos indiretos dos departamentos envolvidos na reposição do item, como energia, comunicação, aluguéis, sistemas de informação entre outros. Portanto, o custo de colocação de um pedido está relacionado com o volume das requisições de compra que ocorrem em um período determinado.

$$CP = N. A$$

Como

$$N = D / Q$$

Tem-se que:

$$CP = D / Q * A$$

onde:

CP = Custo de colocação do pedido;

N = Número de requisições de compra ou fabricação durante o período;

Q = Tamanho do lote de reposição;

A = Custo unitário de colocação de pedido.

O custo de manutenção de estoques são aqueles que incorrem da necessidade de se manter estoque para o funcionamento do sistema produtivo. Isto implica em uma série de custos, tais como: mão-de-obra para armazenagem e movimentação dos itens, aluguel, energia, seguro, comunicação, sistemas computacionais e equipamentos do almoxarifado, custos de deterioração e obsolescência dos estoques, e, principalmente, o custo do capital investido. O custo de manutenção dos estoques é proporcional à quantidade de estoques médios no período de

planejamento, ao custo unitário do item e à taxa de encargos financeiros que incidem sobre os estoques.

$$CM = Q_m * C * I$$

onde:

CM = Custo de manutenção de estoques do período;

Q_m = Estoque médio durante o período;

I = Taxa de encargos financeiros sobre os estoques.

A taxa de encargos financeiros sobre os estoques é quantificada em termos de percentagem, e pode ser obtida dividindo-se os custos totais que incidem sobre a manutenção dos estoques no sistema produtivo pelo valor do estoque médio mantido no mesmo período de planejamento.

Segundo Ritzman e Krajewski (2005), a taxa de encargos financeiros sobre os estoques está dividida em três componentes:

- Custo de capital;
- Custo de armazenagem;
- Custo de risco.

O custo de capital é o dinheiro investido em estoque que não está disponível para outras utilizações e por isso representa o custo de uma oportunidade perdida (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2005).

No custo de armazenagem devem ser computados o espaço físicos necessário, os funcionários e equipamentos. Conforme aumenta o estoque, aumentam também esses custos (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2005).

Os custos de risco englobam os riscos de se manter o item em estoque, tais como a obsolescência, ocorrência de danos, furtos e deterioração (SLACK *et al.*, 2002).

O estoque médio é calculado encontrando-se a média entre o estoque final e o estoque inicial do período analisado.

A partir da definição desses três custos, é possível obter o custo total do sistema:

$$CT = CD + CP + CM$$

$$CT = D * C + D/Q * A + Q_m * C * I$$

Ballou (2006) e Bertaglia (2003) consideram ainda como um custo relevante os custos de falta de estoque que ocorrem quando um pedido não pode ser atendido em virtude da falta deste material em estoque. São dois os tipos principais desses custos: os das vendas perdidas e os de pedidos atrasados. Cada um deles pressupõe determinadas ações por parte do cliente, porém em função de sua intangibilidade fica difícil calculá-los com exatidão.

2.6.2 Influência dos Estoques no Planejamento de Redes

Segundo Wanke *et al.* (2009), a alocação de estoques lida com o grau de centralização dos mesmos na rede, traduzido pela quantidade de produtos em cada instalação, dado que determinado conjunto de mercados é atendido a partir da mesma. Por exemplo, uma rede de distribuição que apresenta um elevado grau de descentralização de estoques é composta naturalmente por um maior número de armazéns e pode ter, no limite, um armazém dedicado a cada mercado consumidor. Ao contrário, uma rede que apresenta um alto grau de centralização de estoques é composta por um menor número de armazéns, tendo no limite somente um armazém para atender todos os mercados. Dessa maneira espera-se que uma rede com alto grau de descentralização (mais armazéns) apresente maior custo total de manutenção de estoques do que uma rede com alto grau de centralização (menos armazéns).

Segundo Wanke *et al.* (2009), o custo total é normalmente composto pelos custos fixos das instalações, custo de transporte e custo de oportunidade de manter estoques. O comportamento esperado desses custos, em função do número de armazéns na rede de distribuição, é mostrado na Figura 8.

Percebe-se que à medida que a quantidade de armazéns aumenta o custo total com transporte é reduzido. Já o custo de oportunidade na manutenção de estoque aumenta até um determinado número de armazéns onde tal custo tende a estabilizar. O desafio de uma organização é identificar a quantidade de armazéns que proporciona o menor custo total da rede logística.

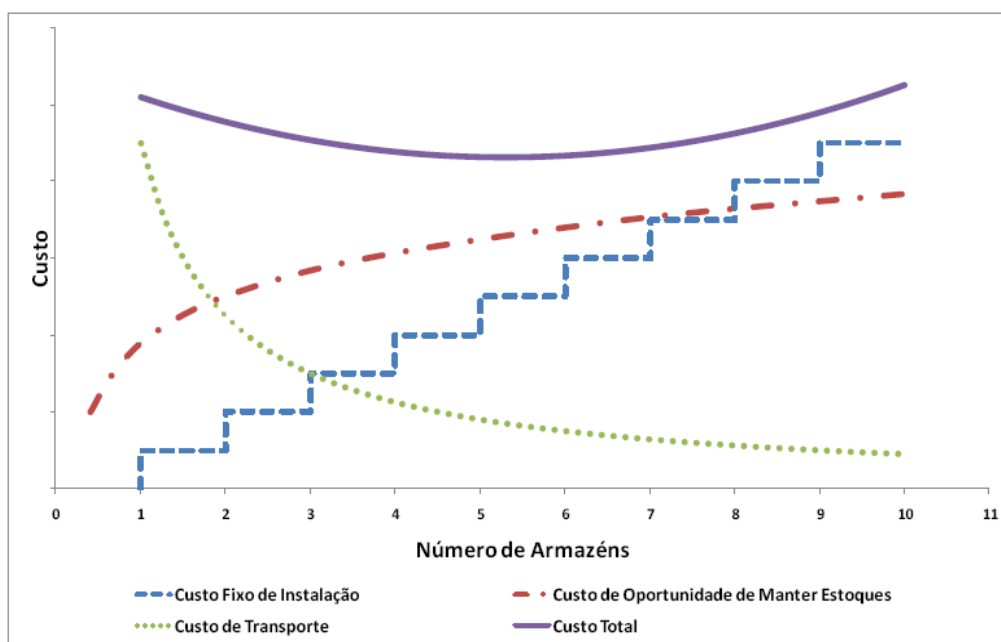


Figura 8 - Comportamento dos custos da rede de distribuição em função do número de armazéns
 Fonte: Montebeller Junior (2009).

Os estudos de Maister (1976) e Zinn *et al.* (1989) mostraram, por meio da regra da raiz quadrada, que a centralização pode reduzir o nível de estoques de segurança da rede, reduzindo o custo total de manutenção de estoques. A regra da raiz quadrada foi apresentada por Maister em 1976 e consiste na mensuração, por meio de equação matemática, da redução do custo com estoque de segurança quando se diminui o número n de armazéns em uma rede para somente um. Esta redução é proporcional à raiz quadrada de n .

Mahmoud (1992) defende que substanciais economias de escala resultam da consolidação do estoque de segurança sempre que os mesmos são centralizados. Das e Tyagi (1997) afirmam que a centralização dos estoques gera economia no que diz respeito ao transporte de suprimento, pois há maior consolidação do frete das fábricas para os armazéns.

Assim, pode-se notar que o grau de centralização dos estoques têm uma influência importante no custo total da rede, entretanto, Wanke (2001) destaca que a maior parte dos modelos matemáticos existentes para localização de armazéns falha a não incluir os custos com estoque como um componente de sua função objetivo. Croxton

e Zinn (2005) sustentam que a inclusão dos estoques nos modelos de localização de armazéns é tida como necessária na literatura. Das e Tyagi (1997) defendem que as questões de um problema de localização de armazéns somente serão corretamente respondidas se o modelo levar em conta os custos de estoque, tanto de ciclo quanto de segurança. Miranda e Garrido (2004) afirmam que a questão da política de estoques não pode ser negligenciada nas decisões estratégicas de localização de armazéns.

2.7 LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Localizar instalações ao longo de uma rede logística é considerado um problema complexo de tomada de decisão que envolve elevados níveis de investimento. Em um problema de localização procura-se definir uma posição geográfica onde será estabelecida uma ou mais instalações com o objetivo de atender uma determinada demanda de modo a minimizar uma medida de utilidade. Brandeau e Chiu (1989) definem um problema de localização como sendo uma alocação espacial de recursos.

Os problemas de localização são geralmente tratados por modelos matemáticos. Jayaraman (1998) ressalta que os modelos matemáticos de localização são desenhados para responder algumas questões, tais como:

- Quantas instalações devem operar em uma rede;
- Onde as instalações devem estar localizadas na rede;
- Como as demandas de clientes devem estar associadas às instalações na rede.

Jayaraman (1998) e Owen e Daskin (1998) apontam que o problema de localização corresponde a um aspecto crítico no planejamento estratégico de empresas públicas e privadas. As análises realizadas no setor privado geralmente objetivam a minimização dos custos ou a maximização dos lucros. Já no setor público, busca-se maximizar o benefício oferecido à sociedade ou minimizar o custo dos serviços ofertados (FIGUEIREDO, 2005; PIZZOLATO *et al.*, 2004) . Geralmente envolvem grandes investimentos na decisão de alocação de recursos, sendo que algumas

dessas decisões são difíceis de serem revertidas (por exemplo, uma decisão sobre instalar um centro de distribuição em um determinado local).

2.7.1 Teoria Clássica

Segundo Ballou (2006), os precursores da teoria sobre localização foram economistas rurais e geógrafos. O precursor, Johann Heinrich Von Thünen propôs um modelo teórico da distribuição dos alimentos, por meio do qual concluiu que a renda econômica depende da distância do mercado, ou seja, as terras mais próximas do centro consumidor têm maior renda em relação àquela mais distante. A renda de localização, portanto, tem uma relação inversa com a distância. Para ele, como os custos de transporte aumentavam com a distância, o afastamento do mercado determinava a seleção de culturas. Concluiu-se que os produtos se distribuíam, de maneira regular, em torno do mercado – forma conhecida como Anéis de Von Thünen. Nesse contexto, os produtos perecíveis ou difíceis de serem transportados se localizavam próximos ao centro consumidor. Nos demais anéis, estariam os cultivos da madeira, importante como fonte de energia e calor, seguidos pelas culturas de cereais e a pecuária. Nas áreas mais distantes não teriam muitas culturas, pois, os custos de transporte seriam maiores. A abordagem de Thünen inspirou vários teóricos do planejamento urbano. Os custos unitários de transporte e o preço do solo urbano são, até hoje, funções decrescentes da distância ao centro.

Posteriormente Alfred Weber estudou, em 1909, o problema de localizar em um plano uma fábrica entre dois recursos e um mercado. Nesse estudo, observou-se que certos processos, como a fabricação de aço, são perdedores de peso, isto é, o somatório dos pesos das matérias-primas é maior que o peso dos produtos acabados. A diferença de peso foi perdida durante o processo produtivo, devido a subprodutos não utilizáveis. Desta forma, como forma de evitar o transporte de produtos inúteis, as plantas produtivas, em geral, localizam-se próximo às fontes de matérias-primas (*apud Pizzolato et al.*, 2004).

Em contrapartida, os processos ganhadores de peso ocorrem quando matérias-primas como o ar ou a água são incorporados ao mesmo. Para redução do custo com transporte, o ideal é localizar a planta fabril o mais próximo possível dos

mercados consumidores. Um exemplo é o engarrafamento de refrigerantes, onde os xaropes são embarcados para as plantas de envasamento e misturados com água. Essas plantas devem estar localizadas próximas aos mercados consumidores. A Figura 9 ilustra o efeito do peso do produto sobre o processo de localização de uma planta fabril.

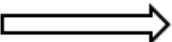
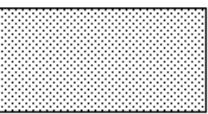
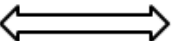
Tipos de processos de produção	Peso do material durante o processo produtivo		Localização a ser buscada	
	Peso anterior processamento	Peso após processamento	Fontes de matérias-primas	Mercados
Perda de peso				
Ganho de peso				
Nem perda nem ganho de peso				

Figura 9 - Efeitos do peso dos produtos sobre o processo de localização antes e depois do processamento

Fonte: adaptado de Ballou (2006)

Percebe-se que a teoria clássica dá importância excessiva aos custos de transporte, custos que vêm cada vez mais perdendo peso nos custos logísticos totais e na consideração de localização. Tal fato deve-se principalmente: a) aumento do número de empresas que trabalham com produtos de alto valor agregado e, portanto, têm pequena participação dos custos de transporte nos custos totais; b) o uso mais eficiente de materiais, em termos de tecnologia de processos, fazendo com que se reduza a importância das matérias-primas na localização; c) substituição de insumos tem reduzido restrições de transporte na localização e diminuído sua dependência a determinados insumos; d) o desenvolvimento de tecnologias associadas ao transporte.

Barquete (2008), ao estudar os fatores de localização de empreendimentos de alta tecnologia, confirmou tal crítica, segundo a autora a indústria de alta tecnologia tem

baixa sensibilidade a fatores clássicos de localização, tais como custos de transporte, o que é realçado pela miniaturização e pelo baixo peso dos produtos a serem transportados.

Apesar de diversas críticas, as teorias clássicas não podem ser desprezadas, isso porque ainda possuem grande poder de explicação das vantagens e desvantagens das regiões para atrair investimentos. Em algumas atividades nota-se que os argumentos quanto à perda de importância dos custos de transporte não se aplicam, uma vez que estes ainda se constituem como um dos mais importantes.

2.7.2 Classificação dos Modelos de Localização

Os problemas de localização podem ser classificados sob diversos aspectos. Segundo Francis (1992), existem duas categorias de modelos de localização a serem solucionados, os modelos que objetivam a minimização dos custos (ou maximização dos lucros e os que objetivam a minimização dos custos dos serviços oferecidos a sociedade.

A primeira categoria trata de problemas típicos do setor privado. Neste caso, o interesse é puramente financeiro, sendo todos os cálculos realizados no intuito de minimizar as distâncias, ainda que para isso uma ou mais instalações sejam prejudicadas em função do todo.

A segunda categoria trata de problemas típicos do setor público, onde existe uma preocupação no atendimento de todas as instalações. Estes problemas têm o objetivo de determinar a melhor localização de uma instalação de forma a minimizar a distância entre o ponto mais longínquo e a própria instalação. Exemplos disso são os problemas de localização de hospitais, bombeiros, ambulâncias entre outros. Os serviços ofertados pelo setor público são divididos em: serviços ordinários (escolas, correios, serviços de água e esgoto) e serviços extraordinários (bombeiros, polícia, ambulâncias e hospitais).

Owen e Daskin (1998) dividem os modelos de localização conforme segue: estocásticos ou probabilísticos (sujeitos a incertezas), determinísticos (não sujeitos a

incertezas), estáticos (não dependem do tempo) e dinâmicos (dependem do tempo). Os modelos de localização estáticos e determinísticos consideram como dados três partes: problemas das medianas, em que a soma das demandas entre os pontos de demanda e facilidades devem ser minimizada; problemas de cobertura, em que o tempo ou a distância máxima aceitável deve ser determinado; e problemas de centro, em que é requerida cobertura a todos os pontos de demanda e se busca localizar um determinado número de facilidades que venham minimizar a distância de cobertura. Já os problemas dinâmicos são tratados de forma mais real, levando em conta futuras incertezas no processo de tomada de decisão e são divididos em localização única (análise de única instalação) ou múltipla (análise mais de uma instalação).

Segundo Revelle e Eiselt (2005), para a localização em redes, o problema é subdividido em contínuos e discretos. Nos problemas contínuos, os pontos podem ser dispostos em qualquer local do plano ou da rede. Nos problemas discretos, além dos pontos a serem posicionados, as facilidades a serem localizadas estão sujeitas a determinado número de pontos elegíveis no plano ou na rede.

Segundo Figueiredo (2005), tais problemas de localização podem ser divididos em duas vertentes fundamentais: localização em uma rede e localização em um plano. Para os problemas de localização em rede, o conjunto de pontos elegíveis para a localização de depósitos é discreto, sendo possível, portanto, a representação dos pontos de localização pelos vértices de uma rede. Trata-se dos modelos de localização discreta que restringem a sua análise a um conjunto finito de pontos previamente selecionados através de estudos preliminares. A localização em rede considera toda e qualquer limitação existente no percurso (lagos, pontes, construções e outras). Por sua vez, os modelos de localização no plano consideram qualquer ponto no plano como um potencial candidato para a localização. Novaes e Neto (1995) ressaltam a existência de uma terceira classe de problemas. São os problemas de localização no plano com espaço de soluções finito. Nesta categoria, o espaço de soluções é limitado e as facilidades só podem ser localizadas em pontos previamente escolhidos.

Os problemas de localização podem ainda ser classificados em problemas capacitados e problemas não capacitados. Os capacitados correspondem aos casos em que as instalações a serem definidas possuem uma capacidade máxima de atendimento, enquanto os não capacitados são aqueles capazes de atender a toda demanda existente.

Já segundo Ballou (2006), os problemas de localização são divididos em cinco categorias, são elas: força direcionadora, número das instalações, descontinuidade das escolhas, grau de agregação de dados e horizonte de tempo. A categoria força direcionadora indica que geralmente a localização de uma instalação é definida por um fator fundamental. Em se tratando de fábrica e armazém predomina os fatores econômicos, onde se busca a redução de custos.

Na categoria número de instalações, os problemas são subdivididos em: instalação única e múltiplas instalações. A resolução de problemas de instalação única é mais simples em função de não se levar em consideração as forças competitivas, a divisão da demanda entre as instalações, os efeitos da consolidação dos estoques e os custos da instalação. Neste caso, o custo com o transporte é o fator mais importante. Na categoria descontinuidade das escolhas, os problemas são subdivididos em contínuos e discretos. Nos problemas contínuos, são analisados a melhor opção de localização ao longo de um espaço contínuo, enquanto que nos problemas discretos a escolha é realizada dentre uma relação de opções viáveis. Os problemas discretos são mais utilizados, visto que neste caso várias possibilidades são descartadas em razão de restrições de diversos tipos. A categoria grau de agregação de dados subdivide os problemas de localização quanto à agregação de dados. Com o intuito de tornar-se possível a solução de problemas, é em geral necessário utilizar as relações agregadas de dados quando das soluções de um problema prático de localização, porém quanto maior a agregação de dados pior será a solução do problema, pois podem limitar a localização a amplas áreas geográficas como cidades inteiras. Por outro lado, a pequena agregação de dados permite diferenciar as localizações apenas por uma rua da cidade. Este último aplica-se para a localização de varejos, além de fábricas e armazéns. E por fim a categoria horizonte de tempo subdivide os problemas de localização quanto à natureza do tempo dos métodos de localização em estática e dinâmica. Os métodos

de localização estática possibilitam análise de um determinado período. Em relação aos métodos dinâmicos, os planos de localizações podem considerar um panorama de mudança da instalação em períodos de tempo.

Pode-se ainda classificar os modelos em relação à quantidade de produtos a serem analisados em único produto ou múltiplos produtos.

Este trabalho caracteriza-se, segundo a taxonomia e a literatura apresentadas, como: modelo de minimização de custos; específico do setor privado; de natureza estocástica e estática; de localização múltipla; discreto; não capacitado; com predomínio de fatores econômicos, porém sem se descuidar com o nível de atendimento ao cliente; com baixa agregação de dados; e baseado na análise de um único produto.

2.8 MODELOS PARA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

A teoria da localização foi marcada por poucos trabalhos até meados da década de 1960. Nestas últimas quatro décadas, muito tem sido estudado e vários modelos têm sido desenvolvidos para localização de depósitos ou CDs tanto no exterior (GEOFFRION AND GRAVES, 1974; GEOFFRION AND POWERS, 1980; GEOFFRION, 1987; LOVE et. al, 1988; SYAM, 2002) como no Brasil (MEDINA, 1996; MARTOS, 2000; YOSHIZAKI, 2002; BRITO, 2004; VALLIM, 2004). A grande maioria dos trabalhos analisados foi desenvolvida para estudos acadêmicos com aplicações práticas esporádicas (BRAKLOW *et al.*, 1992; HAUG, 1992; MOHAMED, 1999).

Estudos acerca dos modelos de localização de instalações ganharam impulso considerável em 1964, com a publicação do trabalho de Hakimi (*apud* Brandeau e Chiu, 1989) que considerou o problema geral de localizar uma ou mais instalações em uma rede para minimizar a soma das distâncias ou a máxima distância entre as instalações e outros pontos da rede. A formulação assumia que as demandas não eram sensíveis ao nível de serviço e que havia um conjunto finito de localidades potenciais para os armazéns, o que caracterizava o problema como discreto. Nota-se que tais problemas somente lidavam com aspectos de transportes.

Segundo Bramel e Simchi-Levi (1997), a capacidade do depósito, na abordagem p-mediana, é infinita e o custo fixo para sua instalação em uma localização determinada é nulo. Esta suposição indica que o custo fixo para a instalação de um depósito é independente de sua localização.

Matematicamente, os problemas de P-Mediana são definidos com base na seguinte notação:

i = índice do nó de demanda;

j = índice do nó que representa a localidade potencial de uma instalação;

h_i = demanda no nó i ;

d_{ij} = distância entre o nó de demanda i e o nó j que representa a localidade potencial de uma instalação;

P = número de instalações a serem localizadas.

As variáveis de decisão do problema são dadas por:

$X_j = 1$ se uma localização é localizada na potencial localidade j e 0 caso contrário;

$Y_{ij} = 1$ se a demanda do nó i é atendida pela instalação localizada em j e 0 caso contrário.

O problema de programação linear inteira tem a seguinte função objetivo:

$$\text{Minimizar } \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij}, \quad (2.1)$$

Sujeita às seguintes restrições:

$$\sum_j X_j = P, \quad (2.2)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i, \quad (2.3)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j, \quad (2.4)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j, \quad (2.5)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j. \quad (2.6)$$

A restrição (2.2) garante que exatamente P instalações serão localizadas. A restrição (2.3) garante que toda a demanda será alocada a ao menos uma instalação. Já a restrição (2.4) permite a alocação da demanda somente a instalações abertas. Por fim, as restrições (2.5) e (2.6) garantem que as variáveis do problema assumam valores binários adequados.

Segundo Brandeau e Chiu (1989), Minieka (1970) estudou problemas de recobrimento. Neles, era determinado, para uma distância ou tempo máximo de atendimento, qual o número mínimo de instalações necessárias para que todas as demandas fossem atendidas (cobertas), minimizando-se o custo fixo das instalações. Tais problemas são conhecidos como *problemas de recobrimento de um conjunto de locais*.

A busca da maximização da demanda coberta para uma distância ou tempo máximos de atendimento, utilizando-se uma quantidade fixa de instalações, é uma variação do problema anterior. Esses problemas são conhecidos como *problemas de máxima cobertura* e foram apresentados por Church e Reville (1974).

Um modelo usando a Programação Linear Inteira Mista (PLIM) para a localização de CDs foi desenvolvido por Geoffrion e Graves (1974) e serviu de base para muitos outros que se seguiram.

Maister (1976), mostrou por meio de um efeito estatístico conhecido como Regra da Raiz Quadrada, que quando se diminui o número n de armazéns em uma rede para somente um, os estoques de segurança diminuem proporcionalmente à raiz quadrada de n .

Ballou (1984) incorporou o comportamento não-linear dos estoques de segurança, apresentando um modelo denominado DISPLAN. A solução encontrada era um ótimo local, devido às dificuldades de identificação de mínimos globais, inerentes aos problemas não-lineares.

Outro trabalho que também avalia e apresenta métodos para solucionar o problema de localização é o de LOVE *et al* (1988). São apresentados modelos diversos e feitas considerações sobre o gerenciamento adequado das capacidades mínimas e máximas de CDs.

Foi apresentada por Brandeau e Chiu (1989) uma ampla revisão de literatura dos problemas de localização existentes, indicando os tipos de aplicação dos modelos levantados. É apresentada ainda uma taxonomia para a classificação de 50 tipos diferentes de problemas de localização de acordo com os objetivos dos modelos, variáveis de decisão e parâmetros de sistema.

Adicionalmente, Brandeau e Chiu (1989) destacaram que, com o passar do tempo, os pesquisadores desenvolveram modelos que incorporaram funções-objetivo mais realistas e algumas vezes não-lineares, ainda que essas funções aumentassem a complexidade dos problemas, tornando-os não-convexos e de difícil resolução. Essas funções objetivo normalmente abrangem os custos fixos de abertura e operação das instalações, os custos de transporte e os custos de manutenção dos estoques.

No mesmo ano Zinn *et al.* (1989) apresentaram o conceito de Efeito Portifólio, com base na Regra da Raiz Quadrada, para medir a redução percentual proporcionada pela centralização do estoque de várias instalações em uma única. Para isso, utilizaram as seguintes premissas:

- Não há transferências de produtos entre os armazéns, seja antes ou depois da centralização;
- A variância do *lead-time* de ressuprimento é igual a zero para todos os armazéns;
- Todos os armazéns, antes ou depois da centralização, apresentam o mesmo fator de segurança k que especifica o nível de serviço;
- A demanda em cada armazém é uma variável aleatória independente e normalmente distribuída;
- As demandas podem apresentar correlação ($\rho_{ij} \neq 0$).

A equação (2.7) define o Efeito Portifólio (PE):

$$PE = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2 + 2 \sum_{i < j} \delta_i \delta_j \rho_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sigma_i}, \quad (2.7)$$

onde:

n = número de armazéns na rede;

k = fator de segurança ou nível de serviço. Reflete o nível de proteção em relação aos *stock-outs*;

σ_i, σ_j = desvio-padrão das demandas nos armazéns i e j ;

ρ_{ij} = fator de correlação entre as demandas dos armazéns i e j ;

SS_a = estoque de segurança agregado de um produto quando os estoques são centralizados;

SS_n = estoque de segurança de um produto no armazém n .

Posteriormente Mahmoud (1992) utilizou o Efeito Portifólio, apresentando a função utilizada para a centralização dos estoques de segurança de n armazéns em um número menor m de armazéns, tal que $2 \leq m \leq n$.

Foi proposta por Evers e Beier (1993) uma formulação mais generalizada do Efeito Portifólio que incluía incertezas no *lead-time* de ressuprimento, considerando diferentes *lead-times* para os diferentes armazéns. Era também permitido a centralização de um número n de armazéns em um número m , tal que $1 \leq m \leq n$.

Tallon (1993) apresentou uma formulação do Efeito Portifólio que considerava as correlações entre as demandas atendidas pelos armazéns, assim como as incertezas na demanda e no *lead-time* de ressuprimento.

Evers (1995) integrou os estoques de ciclo à análise de centralização dos estoques, ampliando a formulação do Efeito Portifólio de Evers e Beier (1993). O autor definiu então o Efeito de Consolidação (CE) como a redução percentual do estoque total médio devido à centralização dos estoques de ciclo e de segurança. Foram adotadas as mesmas premissas utilizadas por Evers e Beier (1993), são elas:

- Não há transferências de produtos entre os armazéns, seja antes ou depois da centralização;
- Todos os armazéns, seja antes ou depois da centralização, apresentam o mesmo fator de segurança k que especifica o nível de serviço;

- As demandas e os *lead-times* são variáveis aleatórias independentes e normalmente distribuídas;
- Não há correlação entre demandas;
- Não há correlação entre *lead-times*;
- A demanda média da rede continua a mesma após a centralização.

A equação (2.8) define o Efeito de Consolidação (CE):

$$CE = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{2} CS_{aj} + SS_{aj} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{2} CS_{bi} + SS_{bi} \right)}, \quad (2.8)$$

onde:

CS_{aj} = estoque de ciclo no armazém centralizado j ;

CS_{bi} = estoque de ciclo no armazém descentralizado i ;

SS_{aj} = estoque de segurança no armazém centralizado j ;

SS_{bi} = estoque de segurança no armazém descentralizado i .

Uma visão mais estratégica do assunto foi dada por Geoffrion e Powers (1995). Os autores analisaram a evolução do *design* estratégico de redes de distribuição. Foram listados seis grandes processos evolutivos que tiveram impacto no assunto. O primeiro deles foi a evolução da logística como uma função corporativa, já que as empresas passaram a prestar mais atenção nas questões relativas aos seus sub-sistemas de transporte e armazenagem, entre outros, enxergando possibilidades de melhorias. O segundo foi a evolução dos computadores e das tecnologias de informação, com o desenvolvimento das aplicações com interfaces gráficas mais amigáveis aos usuários; a diminuição do preço dos *desktops* e dos equipamentos de comunicação paralelamente à melhoria do seu desempenho; o surgimento do *Electronic Data Interchange (EDI)*; o aprimoramento da captura eletrônica de dados; e o desenvolvimento de programas para os *desktops* com desempenho superior àquele dos programas para *mainframes*. O terceiro, por sua vez, foi a evolução dos algoritmos, que passaram de métodos não otimizantes e/ou heurísticos, na década de 1970, a métodos otimizantes. O quarto foi a evolução dos sistemas de captura de

dados e das ferramentas computacionais de gerenciamento. Já o quinto foi a evolução dos modelos de rede e da capacidade dos *softwares*, uma vez que os modelos passaram a incorporar aspectos que os deixavam cada vez mais próximos das situações reais. O sexto e último foi como as companhias efetivamente usaram, e continuam usando os *softwares* para o *design* das suas redes de distribuição, já que as mesmas passaram a empregar sistematicamente essas ferramentas, encontrando inclusive novos meios de aplicá-las aos problemas enfrentados.

Em 1995, Geoffrion e Powers apontavam que, em 90% dos casos, os modelos criados para localização de instalações optavam pela Programação Linear Inteira Mista (PLIM) como algoritmo de otimização. Atualmente estima-se que o percentual de modelos que usam PLIM seja menor devido ao recente crescimento de pesquisas para o aprimoramento de heurísticas e metaheurísticas, tais como algoritmo genético, colônia de formigas, Lista tabu, redes neurais e outras. Essas heurísticas vêm recentemente ganhando destaque devido ao aumento na complexidade dos problemas e necessidade de se reduzir o tempo de solução apesar da perda de optimalidade das soluções (VALLIM, 2004).

Das e Tyagi (1997), em seu trabalho sobre centralização de instalações, desenvolveram um modelo que incorpora simultaneamente os estoques de ciclo e de segurança para determinar o número, a localização e a capacidade de instalações, juntamente com a alocação dos mercados consumidores às instalações. Os autores defendiam que nem a Regra da Raiz Quadrada nem o Efeito Portfólio eram adequados para responder a tais questões. A resolução do modelo consistia na minimização do custo total da rede, composto pelo custo de colocação de pedidos, pelo custo de manutenção dos estoques de ciclo e de segurança e pelo custo de transporte, assumindo que havia um conjunto pré-determinado de possíveis localidades para as instalações e que cada mercado era atendido por somente uma instalação. A política de estoques da rede era baseada no modelo de Lote Econômico de Compras (LEC) e Ponto de Pedido (PP).

Com enfoque mais estratégico, uma revisão da literatura sobre localização de instalações foi feita por Owen e Daskin (1998). Seu trabalho enfatizou as pesquisas que tratavam os problemas de localização de instalações com características

dinâmicas (considerando um horizonte de planejamento mais amplo, normalmente maior do que um ano) e estocásticas (utilizando distribuições probabilísticas que levam em conta incertezas de alguns dados de entrada do problema ou utilizando análise de cenários). Os autores destacam que as dificuldades computacionais impostas pelos dois tipos de problema citados impediam até recentemente sua resolução. Isso fazia com que os pesquisadores se concentrassem em problemas mais simples, de natureza estática e determinística, como aqueles de mediana, de recobrimento e de centralização.

Owen e Daskin (1998) também apresentaram o problema de centralização, onde se buscava a minimização da máxima distância entre os pontos de demanda e as instalações mais próximas dos mesmos. Esses problemas são conhecidos como problemas *MiniMax*. Neles, as instalações podem ser localizadas de duas formas. Na primeira, elas podem ser localizadas em nós específicos na rede, sendo o problema nesse caso conhecido como *vertex center problem*, que foi estudado, de acordo com Brandeau e Chiu (1989), por Halfin (1974), Hedetniemi *et al.* (1981) e Farley (1982). Na segunda, as instalações podem ser localizadas em qualquer lugar da rede, sendo o problema conhecido como *absolute center problem*, que foi estudado, ainda segundo Brandeau e Chiu (1989), por Hakimi (1964), Garfinkel *et al.* (1977) e Kariv e Hakimi (1979). Adicionalmente, nessa última forma do problema os pontos de demanda também podem ser atendidos por múltiplas instalações. Nota-se que a questão principal continua sendo o transporte.

Owen e Daskin (1998) mostraram, por fim, problemas que incorporam outros aspectos de custo da rede, tornando-se mais próximos da realidade. São os problemas de localização de instalações com custo fixo e sem capacidade, conhecidos na literatura como *Fixed Charge Facility Location Problems*. Neles, é adicionado a um problema de P-Mediana o custo fixo de uma dada instalação, relaxando-se a restrição que dita o número de instalações a serem localizadas. Busca-se, dessa maneira, o número de instalações que minimiza o custo total da rede, composto pelos custos fixos de construção e operação das instalações e pelos custos de transporte. Fazendo-se uma pequena modificação nesse modelo, através da adição das capacidades das instalações e da restrição de que a demanda total atribuída a uma instalação não ultrapasse sua capacidade, obtém-se os problemas

de localização de instalações com custo fixo e capacidade. Eles são conhecidos na literatura internacional, segundo Miranda e Garrido (2004), como *Capacitated Facility Location Problems*.

Entretanto, os modelos fundamentais mostrados por Owen e Daskin (1998) não tratam um componente importante dos custos de uma rede de distribuição, que são os custos de manutenção dos estoques. A importância da consideração dos custos de manutenção dos estoques de ciclo e de segurança nos problemas de localização de instalações é defendida, por exemplo, por Ballou (2001).

Jayaraman (1998) propôs um modelo chamado *FLITNET* que é bastante característico da classe de problemas que incorpora o custo de manutenção de estoques de maneira simplificada nos problemas de localização de instalações. Ele trata os estoques de ciclo e em trânsito simultaneamente, determinando qual modal de transporte a ser utilizado para cada produto, o número de instalações a serem localizadas e onde localizá-las (a partir de um conjunto pré-determinado de possíveis localidades) e os parâmetros do estoque de ciclo de cada instalação, minimizando os custos totais (por ano) da rede. Além disso, o autor realizou uma análise de sensibilidade com a otimização de diversos cenários, nos quais foram gerados valores aleatórios, a partir de distribuições uniformes, das seguintes variáveis:

- Número de potenciais localidades para fábricas e armazéns;
- Custos fixos de abertura das fábricas;
- Custos fixos de abertura dos armazéns;
- Custo unitário de manutenção dos estoques nas fábricas e armazéns;
- Custo unitário de manutenção dos estoques em trânsito;
- Capacidade dos armazéns;
- Capacidade das fábricas;
- Frequência de envio dos diferentes produtos das fábricas aos armazéns e destes últimos aos mercados;
- *Lead-time* médio de envio dos diferentes produtos das fábricas aos armazéns e destes últimos aos mercados;
- Demanda dos mercados.

Os custos totais por ano (CA) foram definidos por Jayaraman (1998) em seu modelo como sendo:

CA = Custos fixos de abertura e operação dos armazéns + Custos de transporte das fábricas aos armazéns + Custos de transporte dos armazéns aos mercados consumidores + Custos do estoque em trânsito + Custos de manutenção dos estoques de ciclo nas fábricas + Custos de manutenção dos estoques de ciclo nos armazéns + Custos fixos de abertura e operação das fábricas.

Jayaraman e Pirkul (2001) estenderam o modelo acima para a localização de instalações de produção e armazenagem em uma rede de distribuição que lida com múltiplas *commodities*. A rede é composta por fornecedores de diversas matérias-primas, fábricas, armazéns e mercados consumidores de produtos acabados. Dessa maneira eram tomadas decisões simultâneas sobre: (a) a localização das fábricas e dos armazéns; (b) a especificação de suas capacidades e os sistemas de distribuição das matérias-primas dos fornecedores às fábricas, dos produtos acabados das fábricas aos armazéns e destes aos mercados consumidores. O problema foi resolvido por meio de relaxação lagrangeana e métodos heurísticos.

Em sua tese de Doutorado, Yoshizaki (2002) estudou a influência de impostos, especificamente o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), na localização de centros de distribuição para indústrias de bens de consumo não duráveis. O modelo de apresentado contempla três elos da cadeia e analisa os dados sob o ponto de vista do cliente final. Nesse trabalho atesta-se a importância da análise dos impostos na definição de uma malha logística.

Dentre os modelos de localização mais comuns, encontram-se aqueles com foco na decisão de localização de instalações em escala regional. Modelos construídos para solução de problemas que envolvem localização de fábricas em escala global que possam atender a empresas transnacionais são menos frequentes e a grande maioria deles simplifica o problema para uma cadeia de valor de, no máximo, três elos (centro produtor, centro de transbordo e centro consumidor).

Em 2003, Bhutta, em conjunto com outros autores, apresenta esse modelo revisado e ampliado, mas ainda limitado a uma abordagem que abrange apenas dois elos da cadeia, a saber: centro produtor e mercados. Bhutta et. al (2003) apresentam um modelo temporal para localização de plantas industriais em escala global que contempla várias das variáveis importantes ligadas á globalização, tais como taxas de câmbio, custos de inventário, custos de instalação e desmobilização de fábricas. Bhutta (2004) faz uma excelente revisão dos modelos globais usados para a decisão de localização de fábricas e compara os modelos existentes.

Um modelo que incorpora os custos de manutenção dos estoques de segurança foi desenvolvido por Miranda e Garrido (2004). Ele é uma extensão do modelo clássico de localização de instalações com custo fixo e capacidade e deve ser resolvido através de programação não-linear inteira mista. Nele, um conjunto de mercados consumidores deveria ser alocado a um conjunto de armazéns. Sua resolução consistia na minimização do custo total da rede composto pelo custo fixo total das instalações, custo de manutenção do estoque de ciclo, custo de manutenção do estoque de segurança, custos de transporte e de colocação de pedidos. A política de estoques era baseada no modelo de *LEC* e *PP*. Era assumido que cada mercado consumidor seria servido por apenas um armazém e que haveria um conjunto pré-determinado de possíveis localidades para a instalação dos mesmos. Finalmente, os autores assumiam que as demandas dos diferentes consumidores não eram correlacionadas, ou seja, a correlação entre as demandas de um dado par de mercados valia zero.

A intenção dos autores era a aplicação do modelo para um grande número de possíveis pontos de localização dos armazéns e um grande número de mercados consumidores. Isso inviabilizaria a utilização de uma rotina de otimização não-linear, que poderia necessitar de um tempo muito longo na resolução do problema. Para superar esse obstáculo, Miranda e Garrido (2004) desenvolveram uma solução heurística baseada na Relaxação Lagrangeana e no Método do Subgradiente.

Ambrosino e Scutellà (2004) trouxeram uma abordagem alternativa para incorporar os custos do estoque de ciclo em um problema de localização de armazéns, apresentando modelos estáticos e dinâmicos. Nos problemas formulados foram

incluídos armazéns intermediários, o que gera diferentes níveis de distribuição (por exemplo, entre armazéns centrais e intermediários e entre os intermediários e os mercados consumidores). O modelo também considerava a determinação de rotas de distribuição que podem passar por vários mercados consumidores a cada envio de produtos. Assim, a distribuição não é necessariamente feita diretamente dos armazéns a cada um dos mercados.

Croxton e Zinn (2005) propuseram um modelo para a incorporação dos custos de manutenção dos estoques de segurança nos problemas de localização de armazéns que assume um conjunto pré-determinado de possíveis localidades para a instalação dos mesmos. A inclusão dos custos com a manutenção dos estoques de segurança se baseia na Regra da Raiz Quadrada. Mais precisamente, é calculado o custo de manutenção dos estoques de segurança para o caso de centralização em uma única instalação. Na otimização, esse custo é multiplicado pela raiz quadrada do número de instalações presentes, o que transforma o custo em uma função discreta, eliminando a não-linearidade da função objetivo. O modelo considera ainda os custos com transporte e custos de manutenção dos armazéns sem, entretanto, considerar a capacidade destes últimos.

A simplificação para inclusão dos custos de manutenção de estoques baseada na Regra da Raiz Quadrada é, na visão de Croxton e Zinn (2005), o atrativo do modelo proposto. No entanto, de acordo com Silva (2006), o modelo desconsidera justamente as relações não-lineares que podem gerar maior precisão nos problemas de localização.

Davariz (2006) apresentou um interessante procedimento de análise da rede de produção e distribuição do Biodiesel no Brasil, utilizando o modelo proposto por Jayaraman (1998) em sua dissertação de mestrado.

Na literatura brasileira, Silva (2006) apresenta em sua dissertação de mestrado uma interessante aplicação do modelo de Miranda e Garrido (2004) para a análise da rede de distribuição de uma empresa do setor siderúrgico brasileiro. Todavia, ao contrário de Miranda e Garrido (2004), Silva (2006) utilizou uma rotina comercial de

otimização não-linear em vez do procedimento de Relaxação Lagrangeana, uma vez que a magnitude do problema analisado o permitia.

Wanke (2009) estendeu a validade do Efeito de Consolidação de Evers (1995) aos casos onde os mercados apresentam diferentes demandas e correlações entre as mesmas, assim como diferentes *lead-times* de ressuprimento dos armazéns (médias e desvios-padrão). A prova da extensão do modelo foi realizada em uma rede com dois armazéns e dois mercados.

Wanke (2009) ainda determinou analiticamente as variáveis e *trade-offs* mais relevantes para o Efeito de Consolidação no caso estudado, confirmando-os por meio de análise de sensibilidade. Ainda por meio de análise de sensibilidade, o autor avaliou o impacto da centralização dos estoques nos custos totais da rede (custos de manutenção dos estoques, custo de distribuição e de colocação de pedidos).

De acordo com os resultados encontrados por Wanke (2009), o Efeito de Consolidação é maximizado quando ambos os estoques de ciclo e segurança são centralizados em um único armazém e quando a regra de alocação de estoque derivada de Tyagi e Das (1998) é utilizada. Além disso, o autor mostrou que a variável mais relevante para o Efeito de Consolidação no caso estudado é a relação entre os desvios-padrão dos *lead-times* de ressuprimento dos armazéns, sendo que os estoques devem ser centralizados no armazém que possui o menor desvio-padrão do *lead-time*.

Os problemas de localização de instalações em uma cadeia de suprimentos envolvem decisões estratégicas que por sua vez influenciam decisões táticas e operacionais. Por exemplo, a localização das instalações afeta a seleção dos modais de transporte e a definição dos modelos de gestão de estoque. Todas essas decisões afetam o custo total da cadeia e a qualidade do serviço prestado aos clientes (AMBROSINO e SCUTELLÀ, 2004).

Os custos de estoques foram incorporados, de maneira simplificada, a modelos de localização que empregam otimização realizada por meio de programação matemática. Em seus trabalhos, Jayaraman (1998), Jayaraman e Pirkul (1999),

Ambrosino e Scutellà (2004) e Davariz (2006), dentre outros, incorporaram os aspectos relativos aos estoques, de maneira simplificada, nos modelos propostos.

Os modelos de Jayaraman (1998), Jayaraman e Pirkul (1999) e Ambrosino e Scutellà (2004), todavia, consideravam os custos de manutenção dos estoques através de uma abordagem de cobertura, onde toda a demanda dos mercados atendidos por um armazém deve ser mantida em estoque no horizonte de análise. Dessa maneira, os estoques foram considerados dados de entrada do problema, não podendo ser assim otimizados.

No entanto, justamente porque os custos com estoques se comportam de maneira não-linear (proporcionais a uma raiz quadrada) quando o *LEC* é adotado, os mesmos não podem ser tratados de maneira adequada pelos modelos que utilizam programação linear inteira mista (BALLOU, 2001), como os de Jayaraman (1998), Jayaraman e Pirkul (1999) e Ambrosino e Scutellà (2004).

Montebeller Junior (2009), em sua Dissertação, desenvolveu um modelo de localização de instalações e alocação de estoques que permite determinar, através de programação matemática não-linear, a configuração da rede para a qual o custo total é mínimo. Os diferenciais do modelo são o tratamento simultâneo dos estoques de ciclo e segurança através da incorporação do Efeito de Consolidação a um problema de localização de instalações, a consideração das demandas dos mercados com correlações e desvios-padrão diferentes de zero, a consideração dos *lead-times* de ressuprimento dos armazéns com desvios-padrão também diferentes de zero e a adoção da premissa do *cross-filling* (ou transferência regular). Em seguida, foi conduzida uma análise de sensibilidade no intuito de se obterem *insights* gerenciais, onde foram gerados e otimizados diferentes cenários aleatórios, com o posterior tratamento estatístico dos resultados das otimizações.

Um resumo dos principais trabalhos mostrados na revisão é apresentado abaixo no Quadro 2.

Ano	Autores	Componente(s) de Rede Presente(s) no Estudo	Abordagem Matemática	Importância do Estudo
1964	Hakimi	Transporte (distribuição)	Programação linear inteira	Apresentou o modelo de P-Mediana para a localização de instalações através de programação matemática
1970	Minieka	Custo fixo da instalação; transporte (distribuição)	Programação linear inteira	Desenvolveu trabalho que utilizava o modelo de Cobertura para localização de instalações através de programação matemática
1974	Geoffrion e Graves	Transporte (distribuição)	Programação linear inteira mista	Desenvolveram um modelo usando a Programação Linear Inteira Mista (PLIM) para a localização de CDs
1974	Church e Revelle	Transporte (distribuição)	Programação linear inteira	Apresentaram o modelo da Máxima Cobertura para a localização de instalações através de programação matemática
1976	Maister	Estoques de Segurança	Desenvolvimento analítico	Concluiu que a redução nos estoques de segurança depende da relação $(m/n)^{1/2}$
1984	Ballou	Custos fixos de operação de armazéns e fábricas; transporte (ressuprimento e distribuição); estoques de ciclo e segurança	Programação linear inteira e métodos heurísticos	Apresentou o modelo DISPLAN para a localização de instalações através de programação matemática que tratava a não linearidade dos estoques através de métodos heurísticos
1989	Brandeau e Chiu	Dependente do estudo abordado	Dependente do estudo abordado	Realizaram uma revisão de literatura que mostrou mais de 50 tipos de problemas relacionados à localização de instalações
1989	Zinn et. al	Estoques de Segurança	Desenvolvimento analítico	Concluíram que a relação entre as incertezas da demanda nas localidades descentralizadas (magnitude) pode ser tão relevante quanto a correlação para o Efeito Portifólio
1992	Mahmoud	Estoques de Segurança	Programação linear inteira	Concluiu que o impacto da localidade escolhida para centralização tem um importante papel no Efeito Portifólio
1993	Evers e Beier	Estoques de Segurança	Programação linear inteira	Considerou incertezas no <i>lead time</i> de ressuprimento, considerando diferentes <i>lead times</i> para os diferentes armazéns.
1995	Evers	Estoques de ciclo e segurança	Programação não linear	Concluiu que o Efeito de Consolidação é maximizado quando as demandas das instalações descentralizadas n são igualmente divididas entre as instalações centralizadas m ($1/m$)
1995	Geoffrion e Powers	Dependente do estudo abordado	Dependente do estudo abordado	Analisaram a evolução do <i>design</i> estratégico de redes de distribuição realizado por otimização matemática entre 1975 e 1995
1997	Das e Tyagi	Transporte (distribuição); estoques de ciclo e segurança	Programação não linear	Apresentam um dos modelos iniciais para a localização de instalações através de programação matemática não linear que tratava estoques de ciclo e segurança utilizando o modelo de LEC e PP
1998	Jayaraman	Custos fixos de operação de armazéns e fábricas; transporte (ressuprimento e distribuição); estoques de ciclo	Programação linear inteira mista	Apresentou o modelo FLITNET para a localização de instalações através da programação matemática que englobou vários aspectos do problema de localização, em especial os estoques de ciclo
1998	Owen e Daskin	Dependente do estudo abordado	Dependente do estudo abordado	Realizaram uma revisão de literatura que mostrou problemas clássicos de localização de instalações, classificando-os em determinísticos, estocásticos e dinâmicos.
2001	Jayaraman e Pirkul	Custos fixos de operação de armazéns e fábricas; transporte (ressuprimento e distribuição); estoques de ciclo	Programação linear inteira mista	Estenderam o modelo FLITNET para a localização de instalações em uma rede que lida com múltiplas <i>commodities</i>
2002	Yoshizaki	Custos fixos de operação de armazéns e fábricas; transporte (ressuprimento e distribuição); Impostos (ICMS)	Programação linear inteira mista	Atestou a influência do ICMS na localização de centros de distribuição para indústrias de bens de consumo não duráveis.
2003	Bhutta et. al	Custos fixos de operação de armazéns e fábricas; transporte (ressuprimento e distribuição); taxas de câmbio, custos de inventário, custos de instalação e desmobilização de fábricas	Programação linear inteira mista	Apresentaram um modelo temporal para localização de plantas industriais em escala global que contempla várias das variáveis importantes ligadas à globalização, tais como taxas de câmbio, custos de inventário, custos de instalação e desmobilização de fábricas
2004	Bhutta	Dependente do estudo abordado	Dependente do estudo abordado	Realizou uma excelente revisão dos modelos globais usados para a decisão de localização de fábricas e compara os modelos existentes

Quadro 2 - Resumo dos principais trabalhos sobre localização de instalações

Ano	Autores	Componente(s) de Rede Presente(s) no Estudo	Abordagem Matemática	Importância do Estudo
2004	Miranda e Garrido	Custos fixos de operação de armazéns; transporte (ressuprimento e distribuição); estoques de ciclo e segurança	Programação não linear e relaxação lagrangeana	Apresentam um modelo para localização de instalações através de programação matemática não linear que tratava estoques de ciclo e segurança utilizando o modelo LEC e PP. O modelo foi desenhado para uso em redes em larga escala e era resolvido por relaxação lagrangeana
2004	Ambrosino e Scutellà	Custos fixos de operação de armazéns; transporte (ressuprimento e distribuição); estoques de ciclo	Programação linear inteira	Apresentaram modelos estáticos e dinâmicos para a localização de armazéns centrais e intermediários, assim como para a determinação de rotas de distribuição entre tais armazéns e os mercados consumidores
2005	Croxton e Zinn	Custos fixos de operação de armazéns e fábrica; transporte (ressuprimento e distribuição); estoques de segurança	Programação linear inteira mista	Apresentaram um modelo para localização de instalações através de programação matemática que linearizou a função-objetivo, no que diz respeito aos estoques de segurança, através da regra da raiz quadrada
2009	Wanke	Transporte (distribuição); estoques de ciclo e segurança	Programação não linear	Concluiu que o Efeito de Consolidação é maximizado quando ambos os estoques de ciclo e segurança são centralizados em um único armazém e quando a regra de alocação de estoque derivada de Tyagi e Das (1998) é utilizada. Mostrou que a variável mais relevante para o Efeito de Consolidação é a relação entre os desvios padrão dos <i>leads time</i> de ressuprimento dos armazéns, sendo que os estoques devem ser centralizados no armazém que possui o menor valor de desvio-padrão do <i>lead time</i>
2009	Montebeller Junior	Transporte (ressuprimento e distribuição); estoques de ciclo e segurança; custos de manutenção de estoques e nível de serviço	Programação não linear	Apresentou um modelo de localização de armazéns, onde foi abordado o o problema de alocação de estoques. Foram considerados simultaneamente os estoques de ciclo e de segurança, além da incorporação do Efeito de Consolidação aliado à premissa do cross-filling. Foram ainda considerados neste modelo incertezas nas demanda e nos led times de ressuprimento, além de serem consideradas as correlações entre as demandas do mercado.

Quadro 2 - Resumo dos principais trabalhos sobre localização de instalações (Continuação)

2.8.1 Modelo referencial

Esta seção apresenta o modelo de localização de instalações desenvolvido por Montebeller Junior (2009), modelo referencial para esta dissertação.

O autor tomou como base em seu trabalho um tipo de rede logística conforme mostra a figura 10. Esta rede é composta por três estágios: uma fábrica, cinco possíveis localidades para os armazéns e cinco mercados consumidores.

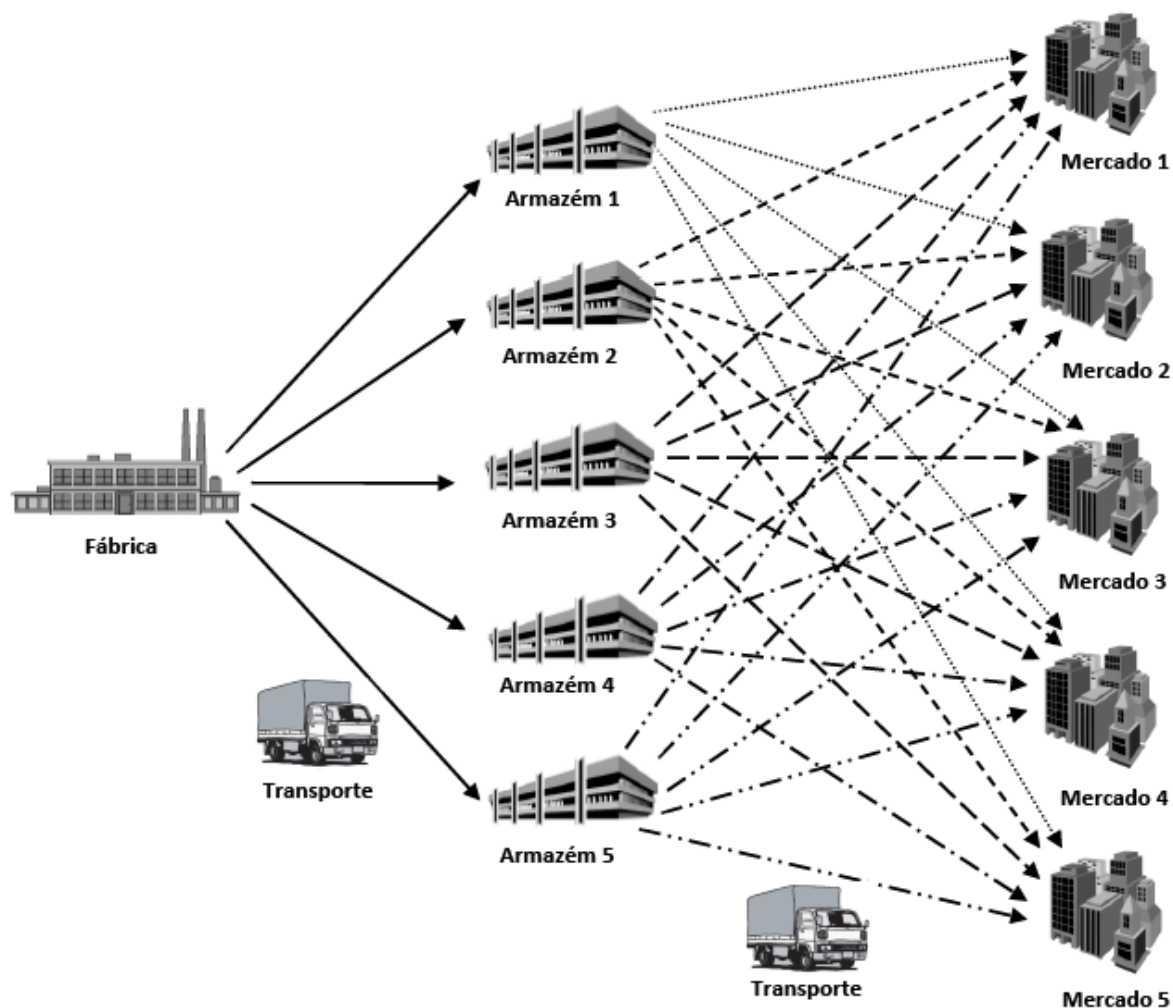


Figura 10 - Representação esquemática da rede logística estudada
 Fonte: Montebeller Junior (2009)

A solução propriamente dita do problema se constitui na minimização do custo total da rede, sujeito às restrições de demanda dos mercados consumidores, cuja equação é dada por:

$$CT_{\text{Rede}} = CT_{\text{Ressup.}} + CT_{\text{Dist.}} + CT_{\text{EC/CP}} + CT_{\text{ES}} \quad (2.9)$$

onde:

CT_{Rede} = custo total da rede,

$CT_{\text{Ressup.}}$ = custo de ressuprimento dos armazéns,

$CT_{\text{Dist.}}$ = custo de distribuição para os fornecedores de matéria-prima,

$CT_{\text{EC/CP}}$ = custo de manutenção dos estoques de ciclo e de colocação de pedidos,

CT_{ES} = custo de manutenção dos estoques de segurança.

O modelo a ser utilizado nesta pesquisa adota a seguinte notação:

n = número total de mercados;

m = número de possíveis localidades para um armazém;

i, l = índice de um mercado; $i, l = \{1, \dots, n\}$,

j = índice de um possível armazém na rede; $j = \{1, \dots, m\}$,

A_{aj} = custo unitário de colocação de pedido no armazém j ;

C_{aj} = custo unitário de manutenção de estoques no armazém j ;

D_{bi} = demanda média do mercado i ;

ρ_{il} = correlação entre as demanda médias dos mercados i e l ;

L_{aj} = *Lead-time* médio de ressuprimento no armazém j ;

σ_{Dbi} = desvio-padrão da demanda do mercado i ;

σ_{Laj} = desvio-padrão do *Lead-time* de ressuprimento no armazém j ;

k_{aj} = fator de segurança que reflete o nível de proteção em relação aos *stock-outs*, ou seja, o nível de serviço no armazém j ;

T_{ij} = custo unitário de transporte na distribuição entre mercado i e armazém j ;

S = custo unitário e diário de ressuprimento da fábrica para os armazéns (igual para todos os CDs).

A variável de decisão do modelo é tal que:

W_{ij} = proporção da demanda média do mercado i atendida pelo armazém j , tal que $0 \leq W_{ij} \leq 1$.

A função-objetivo do problema de programação não-linear é dada pela equação:

$$\begin{aligned} \text{MinCT}_{\text{Rede}} = & \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n S L_{aj} W_{ij} D_{bi} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n T_{ij} W_{ij} D_{bi} + \sum_{j=1}^m \sqrt{2 A_{aj} C_{aj} \sum_{i=1}^n W_{ij} D_{bi}} \\ & + \sum_{j=1}^m k_{aj} C_{aj} \sqrt{L_{aj} \left(\sum_{i=1}^n W_{ij}^2 \sigma_{Dbi}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^{i-1} W_{ij} W_{lj} \rho_{il} \sigma_{Dbi} \sigma_{Dbl} \right) + \sigma_{Laj}^2 \left(\sum_{i=1}^n W_{ij} D_{bi} \right)^2} \end{aligned}$$

sujeita a seguinte restrição:

$$\sum_{j=1}^m W_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2.10)$$

onde:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n S L_{aj} W_{ij} D_{bi} \quad (2.11)$$

é o custo de ressuprimento dos armazéns,

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n T_{ij} W_{ij} D_{bi} \quad (2.12)$$

é o custo de distribuição para os mercados,

$$\sum_{j=1}^m \sqrt{2A_{aj} C_{aj} \sum_{i=1}^n W_{ij} D_{bi}} \quad (2.13)$$

é o custo de manutenção de estoques de ciclo e de colocação de pedidos,

$$\sum_{j=1}^m k_{aj} C_{aj} \sqrt{L_{aj} \left(\sum_{i=1}^n W_{ij}^2 \sigma_{D_{bi}}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^{i-1} W_{ij} W_{lj} \rho_{il} \sigma_{D_{bi}} \sigma_{D_{bl}} \right) + \sigma_{L_{aj}}^2 \left(\sum_{i=1}^n W_{ij} D_{bi} \right)^2}$$

é o custo de manutenção dos estoques de segurança.

A função objetivo minimiza o total de custos logísticos da rede. Fazem parte desse custo total: o custo de ressuprimento dos armazéns (transporte da fábrica aos armazéns), o custo de distribuição do produto (transporte dos armazéns aos mercados consumidores) e os custos de manutenção dos estoques de ciclo e de segurança. Os custos de abertura dos armazéns não foram levados em consideração em função do modelo não os considerar. Pode-se interpretar a solução do problema como característica da reorganização da rede de distribuição de uma empresa. Além disso, uma vez que a capacidade dos armazéns não será levada em conta como uma restrição do modelo, o mesmo se caracteriza com um problema de localização não-capacitado.

É importante frisar que para o modelo em questão, foi considerado uma probabilidade de não ocorrência de *stock-out* de aproximadamente 85%, visto que o fator de segurança utilizado foi $k = 1$.

A variável de decisão do modelo (W_{ij}) responde respectivamente às seguintes questões:

- Quantos e quais armazéns operam;
- Quais armazéns atendem quais mercados.

A primeira resposta define qual a estrutura física da rede, ou seja, quais armazéns são abertos. Se a variável de decisão apresentar valores diferentes de zero, este armazém é aberto. Caso contrário o armazém é fechado. A segunda resposta do modelo define a demanda relativa que está associada a cada armazém. Em outras palavras, diz respeito à proporção da demanda de um mercado alocada a dado armazém aberto.

De posse dos valores obtidos para a variável de decisão, é obtido os valores ótimos para os estoques de ciclo, de segurança e para os custos de ressuprimento dos armazéns e de distribuição para os mercados. Isto feito, o cálculo do custo total da rede logística é obtido de forma imediata.

2.9 SOFTWARES PARA SOLUÇÃO DO MODELO DE LOCALIZAÇÃO

O desenvolvimento da capacidade de processamento e a redução dos preços dos computadores os tornaram populares e como efeito contribuiu para uma maior utilização das técnicas de pesquisa operacional nas empresas. Atualmente até mesmo problemas de otimização de grande porte são resolvidos em computadores pessoais.

A utilização de aplicativos de programação matemática vem crescendo conjuntamente com a utilização da pesquisa operacional. Tais aplicativos são formados pela conjunção de dois softwares, distintos um do outro, mas complementares nas suas funções: o primeiro é o *solver*, que recebe como dado de entrada a matriz que representa o problema de programação matemática com suas

restrições e função objetivo, aplica um ou mais métodos de otimização (simplex, simplex revisado, dual simplex, pontos interiores, branch and bound e outros), retornando os valores ótimos das variáveis.

O segundo *software*, a interface, tem a função básica de gerar esta matriz, a partir de um formato que dependerá da implementação, podendo ser uma linguagem de modelagem algébrica ou até uma planilha eletrônica. As interfaces possuem instrumentos para preparação de dados, análises de resultados, alteração e formulação de modelos.

Um modelo matemático consiste de um conjunto de variáveis a serem determinadas, chamadas de variáveis de decisão; um conjunto de restrições; e uma função objetivo a ser otimizada. A meta de um modelo matemático é encontrar uma solução, com o auxílio de um *solver*, tal que a função objetivo assuma um valor ótimo (mínimo ou máximo).

De acordo com Geoffring (1987) e Matura et al. (2004), os modelos matemáticos de otimização têm duas formas gerais de uso. Na primeira, o modelo é usado a nível estratégico, implicando em uma solução de problemas em longo prazo. Na segunda, o modelo atende a uma necessidade ao nível tático-operacional, os modelos de solução são usados periodicamente e neste nível de decisão, nem sempre há necessidade de profissionais especializados em pesquisa operacional. Para atender à demanda de desenvolvimento de ferramentas para cada um dos dois tipos de modelos matemáticos de otimização, existem atualmente diversos sistemas de modelagem que facilitam o processo de implementação e solução dos modelos utilizando linguagem algébrica, os chamados sistemas de Suporte Analítico à Decisão.

Em geral é necessário muito conhecimento para se usar um sistema de apoio à decisão, dominando-se a linguagem de modelagem e os parâmetros que controlam diferentes aspectos do *solver*. As pessoas experientes em Pesquisa Operacional compreendem bem os modelos e conseguem com facilidade realizar modificações e detectar erros. No entanto, a delegação dessas tarefas para usuários finais é muito complicada, já que são tarefas que requerem grande especialização.

O modelo matemático considerado nesta pesquisa é do tipo não-linear, tipo no qual será focado este estudo. A diversidade de sistemas para solução de modelos matemáticos de programação não-linear é grande, sendo os mais conhecidos: AIMMS (*Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software*), AMPL, GAMS (*General Algebraic Modeling System*), MPL (*Mathematical Programming Language*), *What's Best* (Lindo) e Xpress Mosel. O Quadro 6 a seguir apresenta os endereços dos *sites* onde podem ser obtidas informações mais detalhadas sobre cada um dos *softwares*, inclusive o *download* dos mesmos.

<i>Software</i>	<i>Site</i>	<i>Fornecedor</i>
AIMMS	http://www.aimms.com	Paragon Decision Technology
AMPL	http://www.ampl.com	Bell Laboratories
GAMS	http://www.gams.com	GAMS Development Corporation
MPL	http://www.maximal-usa.com/mpl	Maximal software
<i>What's Best</i>	http://www.lindo.com	Lindo System
Xpress Mosel	http://www.dashoptimization.com	Dash Optimization Ltda

Quadro 3 - *Softwares* para solução de modelos matemáticos não-lineares

Todos os *softwares* listados no quando acima estão aptos a solucionar o modelo apresentado neste estudo, porém dentre essa multiplicidade de *softwares*, a questão principal é, qual *software* escolher?

A literatura aborda comparativos entre algoritmos, porém entre *softwares* a existência de estudos é carente, sendo localizado somente o estudo de Ballou e Master (1993). Eles apresentaram uma classificação dos fatores de seleção de *software* baseado em sua importância que está apresentado no Gráfico 2.



Gráfico 1 - Importância dos fatores de seleção de softwares de otimização
Fonte: Ballou & Masters (1993)

Para a definição do software a ser utilizado nesta pesquisa, tomou-se como referência os critérios levantados na literatura. Os critérios elencados estão apresentados no gráfico 3 e apresentam-se classificados em ordem decrescente de ocorrência na literatura estudada.

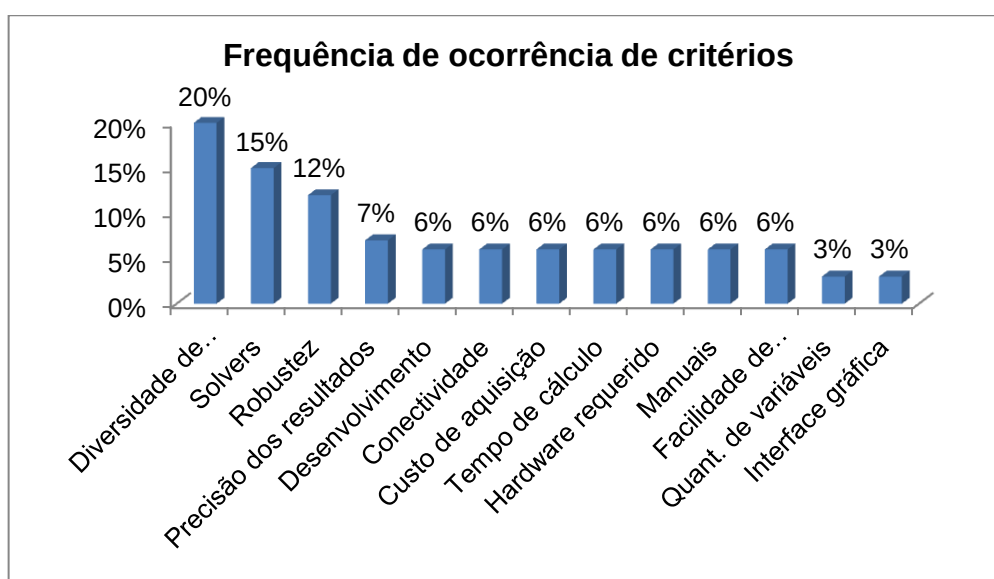


Gráfico 2 – Critérios de escolha de um software de otimização em ordem decrescente de ocorrência na literatura

Tais critérios são apresentados em seguida consolidados em quatro categorias: critérios técnicos, critérios de programação e critérios de utilização.

2.9.1 Critérios técnicos

O *solver* e a robustez são as principais características técnicas de um programa. O primeiro é um aplicativo formado por algoritmos matemáticos para solução do modelo matemático apresentado. Ele implementa numerosos algoritmos de programação. Os mais conhecidos são CEPLEX, MOZEC, LP/MIP, XPRESS, CONOPT e GUROBI. A robustez está ligada a estabilidade do *software* na solução de problemas complexos. Já a precisão dos resultados está ligada ao erro encontrado entre a solução apresentada e a solução ótima. Todos os *solvers* funcionam por meio de iterações em uma sequência finita de operações cujo resultado da operação n constitui o objeto da operação $n+1$.

2.9.2 Critérios de programação

O programador ou o usuário é o arquiteto do modelo. A linguagem de programação é seu material nessa construção. O *software* tem que se adaptar ao usuário e não o contrário, pois neste caso seria necessária uma formação especial para que o usuário possa programar. Numerosas linguagens são permitidas, dentre as mais comuns pode-se citar: Fortran, Visual Basic, C e C++.

A quantidade de variáveis é um critério importante, pois oferece a possibilidade de modelar problemas de qualquer tamanho. Este não deve ser um fator limitante na modelização.

Além disso, um ponto importante no sistema de modelagem é o livre desenvolvimento do *software* ou a flexibilidade em aceitar diferentes linguagens, também conhecido como *open-source*. Nesse sentido, a conectividade do *software* com outros também deve ser considerado. Isto é a capacidade do *software* a estar ligado com outro programa e em particular o Excel, pois apresenta-se como uma ferramenta muito prática, utilizada na maioria das empresas e oferece um suporte para a gestão de bases de dados.

A interface gráfica é outro critério a ser considerado e ajuda muito o usuário, oferecendo uma visão mais agradável e didática no trabalho. Essa mesma interface

envolve a capacidade de customização gráfica do modelo. Outro critério identificado na literatura é em relação aos manuais referentes aos *softwares*. Eles devem ser completos e de fácil entendimento. É uma ajuda crucial para familiarizar-se com o sistema e conhecer todas suas funções.

2.9.3 Critérios de utilização

O usuário almeja os melhores resultados, com menor tempo e menor custo, portanto o custo e o tempo de cálculo tornam-se requisitos importantes. Além disso, o *hardware* necessário para rodar o *software* não deve ser desconsiderado.

O último critério poderia ser considerado como o mais importante. No entanto, ele é o mais complicado a ser mensurado. Trata-se da facilidade de entendimento e rapidez na modelagem, isto é a capacidade de adaptação do *software* ao usuário.

2.9.4 Definição do *software* a ser utilizado

Dentre os *softwares* avaliados, segundo Ferreira Filho e Ignácio (2004), baseado nos critérios técnicos, do programador e do usuário, o *software* AIMMS demonstrou-se ser o mais completo dos *softwares* para solução de problemas de otimização não-linear, conforme pode ser constatado no Quadro 6.

	AIMMS	GAMS	OPL Studio	Xpress Mosel	AMPL	MPL	Lingo
Facilidades da Linguagem							
Programação Matemática	√	√	√	√	√	√	√
Controle de Fluxo	√	√	√	√	√		√
Procedimentos	√			√	√		
Gerência de Casos	√	√					
Calendário e Horizonte de Tempo	√						
Interface de Desenvolvimento							
Ferramentas de Diagnóstico (<i>Cross Reference / Debugger / Profiler</i>)	√	√			√		
Tipos de Solver							
LP/MIP (<i>Linear Programming / Mixed Integer Programming</i>)	√	√	√	√	√	√	√
QP (<i>Quadratic Program</i>)	√	√		√	√	√	√
NLP (<i>NonLinear Programming</i>)	√	√		√ (SLP)	√	√	√
MINLP (<i>Mixed Integer Nonlinear Program</i>)	√	√		√ (SLP)	√		√
MCP (<i>Mixed Complementarity Programming</i>)	√	√			√		
CP (<i>Constraint Programming</i>)			√				
Global		√					√
Características da Interface							
Interface Gráfica – Usuário Final	√		√				
Conectividade							
ODBC/OLE DB	√		√	√	√	√	
XML	√					√	
Funções Externas	√	√			√		
Desenvolvimento							
Unix / Linux		√	√	√	√	√	√

Quadro 4 – Comparação entre os principais sistemas de otimização
 Fonte: Ferreira Filho e Ignácio (2004)

O AIMMS fornece ferramentas para se desenvolver e se construir sistemas de apoio à decisão, desde procedimentos que ajudam na modelagem, até aplicativos com interface amigável para usuários finais. No que diz respeito ao desenvolvimento do sistema, o AIMMS fornece recursos para a modelagem de problemas, para a manipulação de dados, para a criação de cenários e para a resolução de formas exatas de modelos matemáticos, tudo isso através de uma linguagem que utiliza como instrução o *Solver*, que permite também a construção de heurísticas de solução para problemas computacionalmente caros. No que diz respeito à criação

de um sistema de apoio à decisão, o AIMMS fornece todo um conjunto de interfaces gráficas que possibilita, ao usuário final, uma melhor visualização do problema de forma abrangente.

2.9.5 Características do software AIMMS – *Advanced Integrated Multidimensional Modeling*

O AIMMS é uma ferramenta que inclui as duas formas gerais de uso dos modelos matemáticos, já que permite construí-los ao nível estratégico e ao nível tático operacional.

Este *software* oferece um ambiente de desenvolvimento, no qual pessoas experientes em modelagem podem criar aplicações funcionais, prontas para serem usadas por pessoas mais leigas ou usuários finais. Como um ambiente de desenvolvimento de apoio analítico à decisão, o AIMMS possibilita uma combinação de características de métodos matemáticos e de ferramentas de desenvolvimento, tais como: o explorador de modelos num ambiente gráfico para se construir e manter aplicações de modelagem complexa; os métodos de solução exata; os procedimentos que permitem interagir com as linguagens C, C++, Fortran e ferramentas de interface com diversas bases de dado.

O sistema AIMMS proporciona ambiente adequado para:

- Modelar problemas de otimização;
- Criar uma interface de usuário final ajustada às necessidades do usuário;
- Fornecer um ambiente de execução em tempo real para os que tomam as decisões.

O sistema AIMMS oferece uma notação de índice que possibilita capturar a complexidade de problemas reais. Além disso, permite expressar muitos cálculos complexos de uma maneira compacta, sem a preocupação com o gerenciamento da memória ou considerações de estocagem de dados. Uma das principais características do AIMMS é sua capacidade de especificar e resolver modelos de otimização com restrições lineares e não-lineares. Usando-se a mesma notação

compacta disponível para declarações de procedimentos, as restrições simbólicas podem ser formuladas de modo simples e conciso. Com apenas uma simples declaração, um modelo de otimização pode ser transferido para o *solver* e resolvido por ferramentas, tais como CPLEX, XA, CONOPT, LGO e XPRESS.

O AIMMS apresenta uma linguagem de programação que permite interagir com o usuário na modelagem e na construção de procedimentos que antecedem e/ou interagem na execução de um modelo matemático.

As características mais importantes dessa linguagem são:

- Conjunto de funções matemáticas, estatísticas e financeiras;
- Capacidade de expressar modelos baseados no tempo, através do uso de calendários e horizontes de tempo, inclusive suporte para intervalos de tempo dinâmico com agregação e desagregação automáticas;
- Capacidade de associar unidades de medida com identificadores de modelo, assegurando assim a consistência das unidades dentro das expressões;
- Suporte de modelagem para problemas mistos;
- Suporte de módulos, para facilitar o melhor desenvolvimento de um modelo AIMMS por múltiplos usuários. Os módulos são basicamente seções do modelo com um espaço de nome separado, prevenindo assim a ocorrência de colisão de nomes quando um ou mais módulos são importados em um modelo AIMMS;
- Os arquivos são salvos automaticamente a intervalos fixos de tempo, o que permite se retornar a versões anteriores com muita facilidade;
- Suporte de chamadas de funções e procedimentos externos que não estão implementados na linguagem AIMMS.

O AIMMS dispõe de um ambiente de desenvolvimento integrado com todas as facilidades de um ambiente gráfico apresentado pelas ferramentas do Windows.

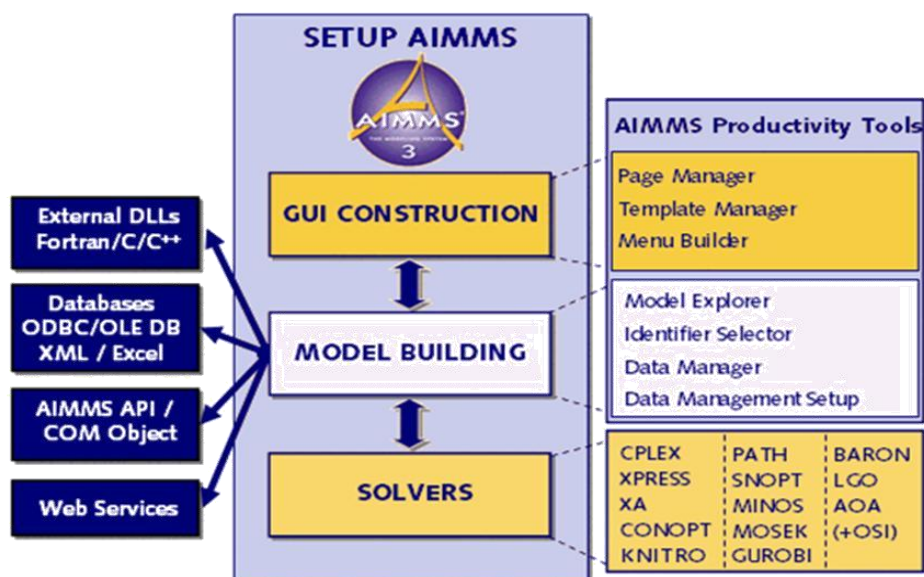


Figura 11 - Ambiente de desenvolvimento integrado do AIMMS

O AIMMS oferece uma ferramenta integrada para a construção de uma interface gráfica personalizada (GUI) para o usuário, em uma aplicação de apoio à decisão. A tela final do usuário pode ser criada de modo simples, clicando-se e arrastando-se, tanto objetos gráficos comuns como também tabelas, gráficos e curvas, todos associados aos identificadores multidimensionais no modelo do usuário. Outros objetos incluem gráficos Gantt para se visualizar no tempo, o fluxo de atividades.

A interface do usuário final é um aspecto importante na construção de diversos aplicativos. Esta ferramenta permite organizar todas as telas existentes em uma aplicação AIMMS, onde se pode ter aplicações em estrutura de árvore e o relacionamento das páginas definindo uma estrutura hierárquica, como páginas-pai, páginas-filho, próxima página ou página anterior. Esta ferramenta permite uma maneira fácil de navegar por todas as páginas de um determinado aplicativo como também adicionar outras, apagá-las ou modificá-las, respeitando-se uma política estrita de permissão.

Os modelos (*template*) das páginas são usados para se especificar propriedades de objetos. Usando-se esta ferramenta se pode criar e administrar grande número de objetos (páginas) com características similares, como por exemplo esquema de cores, criação de áreas para títulos, ícones ou logotipos. Os *templates* podem ser

organizados em estruturas hierárquicas, podendo ser administrados por esta ferramenta.

O editor de menus é uma das ferramentas que permite se construir e se manter menus personalizados como menu de barras (*menubars*, *toolbars* e *popup*). Quaisquer *templates* ou *pages* podem ser embutidos em um *menu* personalizado com estruturas hierárquicas.

As facilidades de gerenciamento de dados do AIMMS estão concentradas em conceitos de *Cases* e Conjunto de Dados. Os *Cases* são um conjunto de dados associados com os identificadores dos modelos matemáticos e o Conjunto de Dados corresponde a um conjunto de informações relacionadas a uma categoria como demanda, suprimento entre outros. Uma associação de Conjunto de Dados pode formar um *Case* ou cada Conjunto de Dados pode ser compartilhado por mais de um *Case*, permitindo análises com critérios condicionais (*if...then*) que podem ser realizadas através de um grande número de *Cases* e serem executadas em *batch*.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Os estudos científicos têm por objetivo encontrar respostas para fatos ou soluções para problemas nos diversos campos de atuação da ciência. Dessa forma, a pesquisa pode ser definida como procedimentos que orientam o processo de investigação, portanto entende-se que o método científico é um conjunto de atividades que possibilita alcançar, de forma racional, conhecimentos válidos por meio de uma estratégia de pesquisa pré-definida (LAKATOS e MARCONI, 1995). No mesmo sentido, Gil (2010) define pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos.

Neste capítulo será apresentada a classificação da metodologia adotada nesta pesquisa, além da apresentação do método proposto.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Nesta seção é apresentada a classificação desta pesquisa sob alguns aspectos metodológicos. Segundo Ventura (2002), são incontáveis e absolutamente diversas as classificações da metodologia que se pode encontrar na literatura especializada.

A classificação desta pesquisa tem como referência o autor Gil (2010) e abordará os seguintes critérios: área de conhecimento, finalidade, natureza dos dados, objetivos gerais e delineamento.

3.1.1 Quanto à área de conhecimento

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico – CNPq classifica as pesquisas em sete grandes áreas: Ciências Exatas e da Terra; Ciências Biológicas; Engenharias; Ciências da Saúde; Ciências Agrárias; Ciências Sociais Aplicadas; Ciências Humanas.

Quanto à área de conhecimento, esta pesquisa pertencente à área das Engenharias.

3.1.2 Quanto à finalidade

Do ponto de vista de sua finalidade, classifica-se esta pesquisa como aplicada, pois, segundo Gil (2010), objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos.

3.1.3 Quanto à natureza dos dados

Do ponto de vista da natureza dos dados obtidos, esta pesquisa é classificada tanto como qualitativa quanto quantitativa. Primeiramente é classificada como qualitativa, pois ocorre:

- A exploração do tema localização de instalações;
- A revisão bibliográfica e;
- A definição das variáveis.

Esta pesquisa é também classificada como quantitativa, pois ocorre:

- A definição da amostra, que no caso em estudo corresponderá à definição de variáveis e parâmetros;
- A coleta e análise de dados;
- O levantamento e análise comparativa de dados;
- A análise dos resultados e
- A redação do relatório.

3.1.4 Quanto aos objetivos gerais

Do ponto de vista dos objetivos gerais, segundo Gil (2010), esta pesquisa pode ser classificada como exploratória, descritiva e explicativa. Primeiramente é classificada como exploratória, pois tem como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito.

Esta pesquisa é também classificada como descritiva, pois também tem a finalidade de identificar relações entre variáveis, e pretende determinar a natureza dessa relação.

E por fim, esta pesquisa ainda é considerada explicativa, pois tem o propósito de identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos. Ainda segundo Gil (2010), estas pesquisas são as que mais aprofundam o conhecimento da realidade, pois tem como finalidade explicar a razão, o porquê das coisas. Pode-se dizer que o conhecimento científico está assentado nos resultados oferecidos pelos estudos explicativos.

3.1.5 Quanto ao delineamento da pesquisa

O delineamento de pesquisa leva em consideração o ambiente de pesquisa, a abordagem teórica e as técnicas de coleta e análise de dados. No que diz respeito ao delineamento, segundo Gil (2010), esta pesquisa é classificada das seguintes formas:

- Bibliográfica, pois foi elaborada a partir de material já publicado constituído principalmente de livros, artigos de periódicos, dissertações e teses;
- Documental, pois foram utilizados materiais originários da empresa pesquisada, tais como: relatórios, boletins, compilações estatísticas e outros documentos;
- Levantamento, pois se caracteriza pela interrogação direta das pessoas, onde foram solicitadas informações acerca do problema estudado para, em seguida, mediante análise quantitativa, obter as conclusões correspondentes aos dados coletados;
- Estudo de Caso: envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento. Aastrup e Halldórsson (2008) defendem a utilização da estratégia de estudo de caso em pesquisas na área de logística porque esse método pode:
 - Alcançar o conhecimento profundo necessário para revelar o funcionamento de determinadas atividades da logística;

- Revelar as causas de determinados fenômenos em determinados sistemas abertos e
- Possibilitar a correlação de causa e efeito de ocorrências na logística.

3.1.6 Síntese do método adotado

O Quadro 4 tem por objetivo apresentar de forma sintética a classificação desta pesquisa, destacando os elementos do método adotado.

Síntese do método de pesquisa	
Área de conhecimento	Engenharias
Finalidade da pesquisa	Aplicada
Natureza dos dados	Qualitativa e quantitativa
Objetivos gerais	Exploratória, descritiva e explicativa
Delineamento	Bibliográfica, documental, levantamento e estudo de caso

Quadro 5 - Classificação da pesquisa

3.2 MÉTODO DE ANÁLISE PARA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Nesta seção é proposta uma sistemática de análise para o problema de localização de instalações. São apresentadas abaixo as etapas que a compõe:

1. **Identificação do problema:** esta etapa consiste no entendimento detalhado do problema e de seu escopo. Nesta etapa será levantada a rede logística atual, as instalações que a compõe e o produto estudado.
2. **Definição dos objetivos da pesquisa:** identificado o problema, passa-se para a próxima fase que consiste na definição do objetivo geral e dos objetivos específicos. Nesta etapa é sintetizado o que se pretende alcançar com a pesquisa.
3. **Definição e pesquisa do referencial teórico:** esta etapa é fundamental, pois fornece elementos para se evitar a duplicação de pesquisas sobre o mesmo enfoque do tema, além de definir os contornos mais precisos do problema a ser estudado. Nesta fase são respondidas às seguintes questões: quem já

escreveu e o que já foi publicado sobre o assunto, que aspectos já foram abordados, quais as lacunas existentes na literatura.

4. **Escolha do modelo matemático de localização de instalações:** a escolha do modelo matemático para solução do problema de localização deve ser realizada baseada em critérios, tais como: características da rede logística estudada, objetivos do estudo, variáveis, parâmetros e restrições do modelo matemático e custo-benefício do modelo. Em se tratando de pesquisa científica, a escolha do modelo é realizada na fase de levantamento e estudo do referencial teórico.
5. **Identificação das variáveis do modelo:** a identificação das variáveis é realizada diretamente do modelo a ser utilizado. Nesta etapa cada uma das variáveis será analisada.
6. **Coleta de dados:** os dados coletados serão de natureza quantitativa e qualitativa. Deve-se buscar a maior acurácia possível desses dados. Segundo Plunkett (2003), a acurácia dos dados coletados deve ser, no mínimo, de 80 a 90%. Muitas vezes é necessária uma investigação trabalhosa para coletá-los, pois, esses dados não são estruturados, devido a inexistência de sistemas de informação voltados para sua geração. A tabulação dos dados a serem utilizados na análise deve ser realizada com extremo cuidado, de forma a permitir a identificação de possíveis erros.
7. **Escolha do *software* para solução do modelo de localização escolhido:** nesta etapa deve-se escolher o *software* mais apropriado para resolver o modelo matemático a ser utilizado na solução do problema estudado.
8. **Escolha dos potenciais pontos de localização:** a escolha desses pontos é essencial para início do processo de modelagem. Tal escolha dependerá dos critérios e objetivos do estudo, porém é comum a utilização de modelos heurísticos que permitem selecionar rapidamente dentre várias alternativas as que mais se aproximam do objetivo proposto.

9. **Construção do modelo de localização:** com base na opção realizada na etapa 8, passa-se ao desenvolvimento do modelo que é a ferramenta para análise de localização de instalações.
10. **Validação do modelo:** tanto os modelos desenvolvidos quanto os softwares comerciais aplicados devem ser devidamente validados para verificar se os resultados correspondem à realidade. O processo de validação de um modelo baseia-se na reconstrução da configuração atual da rede logística, de modo que seja possível a comparação entre o resultado da análise e os dados reais coletados.
11. **Implementação do modelo:** após a construção do modelo (etapa 9) e validação do mesmo (etapa 10), passa-se a etapa de implementação do modelo no *software* definido na etapa 7.
12. **Análises de resultados e de sensibilidade:** nesta etapa devem ser analisados os resultados otimizados pelo modelo matemático e os gerados frente a variações nos principais parâmetros do modelo matemático.

Esse método consiste na coexistência entre uma vertente teórica e outra empírica. A vertente teórica é composta de uma intensa pesquisa bibliográfica, sobretudo aos principais periódicos relacionados ao tema em estudo. A vertente teórica da pesquisa contou, ainda, com a consulta a livros, dissertações, teses e artigos científicos.

A vertente empírica, por sua vez, conta com quatro frentes. A primeira corresponde ao planejamento da pesquisa, ou seja, a identificação do problema e a definição dos objetivos da pesquisa. A segunda refere-se ao levantamento de dados referentes às variáveis do modelo e a escolha dos pontos de localização dos centros de distribuição.

A terceira frente da vertente empírica corresponde à construção do modelo adaptado à realidade e sua validação, além da implementação do mesmo. Por fim, a quarta frente refere-se às análises de sensibilidade e às análises dos resultados.

A Figura 11 apresenta um fluxograma da metodologia relacionado às vertentes teórica e empírica.

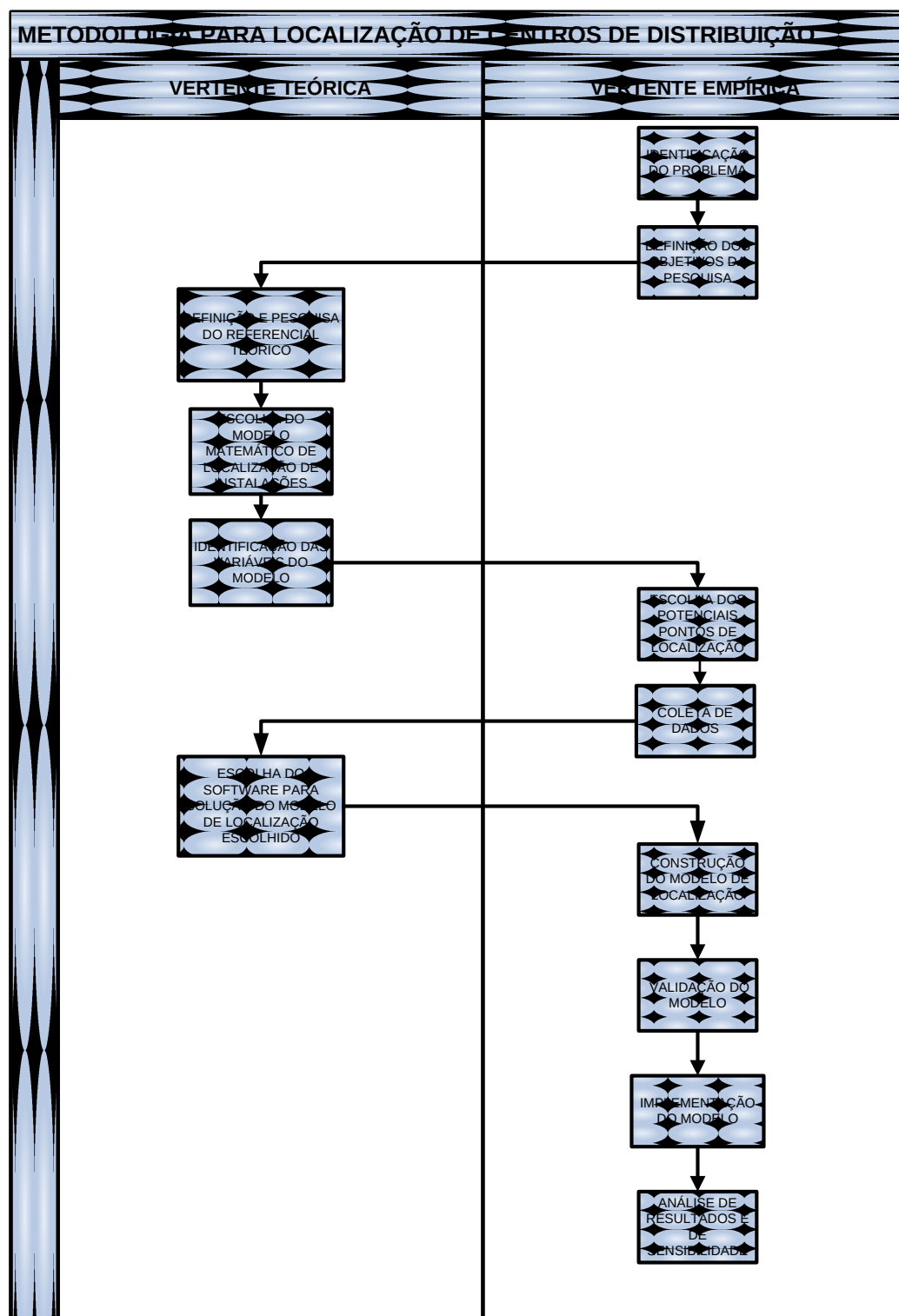


Figura 12 – Fluxograma da metodologia proposta

No próximo capítulo é onde o estudo de caso é desenvolvido, ou seja, as etapas metodológicas são apresentadas em detalhes.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é apresentado o estudo de caso real de reorganização de uma rede logística estabelecida, onde será definida a quantidade de centros de distribuição ideal, assim como as respectivas localizações de forma a minimizar o custo total da rede logística. Cada uma das etapas da metodologia apresentada no capítulo anterior é detalhada a seguir.

4.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Nesta etapa é realizada a contextualização da empresa estudada e de seu mercado de inserção, assim como de sua rede logística.

Uma tarefa importante que auxilia na identificação dos elementos do problema em uma abordagem quantitativa é uma análise qualitativa do ambiente (Wagner apud SILVA, 2006). O diagnóstico do ambiente é descrito com base na vivência do autor da dissertação no contexto estudado.

A empresa pesquisada pertence à cadeia de suprimentos da indústria do Petróleo e localiza-se na região da Grande Vitória no Estado do Espírito Santo, possuindo mais de 1.300 colaboradores. Esta empresa encontra-se em processo de expansão, onde sua capacidade produtiva está em constante crescimento desde o ano de 2000. Por questão de sigilo, a empresa é identificada como EP, a sigla representa o termo Empresa Pesquisada (EP).

Até o final da década de 90, a EP adquiria diretamente de um único fornecedor peças acabadas para utilização em sua linha de produção. Nos anos 2000, em virtude da necessidade de redução do custo de aquisição, aumentando assim sua competitividade frente ao mercado, a EP realizou uma análise da composição de custos para fabricação desta peça acabada. Chegou-se à conclusão que a principal matéria prima desta peça acabada, o aço, representava aproximadamente 50% do custo total do produto final.

Em função da alta representatividade da matéria-prima (barra de aço trepanada) e como, a empresa tomou a decisão de adquirir esta matéria-prima diretamente da

usina onde essas barras são produzidas, passando a assumir a gestão da cadeia de suprimento desde o fornecimento das barras de aço até a entrega das peças acabadas na linha de produção e posteriormente ao cliente final.

A configuração atual da rede logística a ser estudada é formada por dois elos: um deles composto por um fornecedor de matéria-prima denominado Usina, localizado na cidade de Sumaré-SP, e outro por um único fornecedor de produto acabado denominado Fornecedor, localizado na cidade de Guarulhos-SP, conforme representação mostrada na Figura 12.

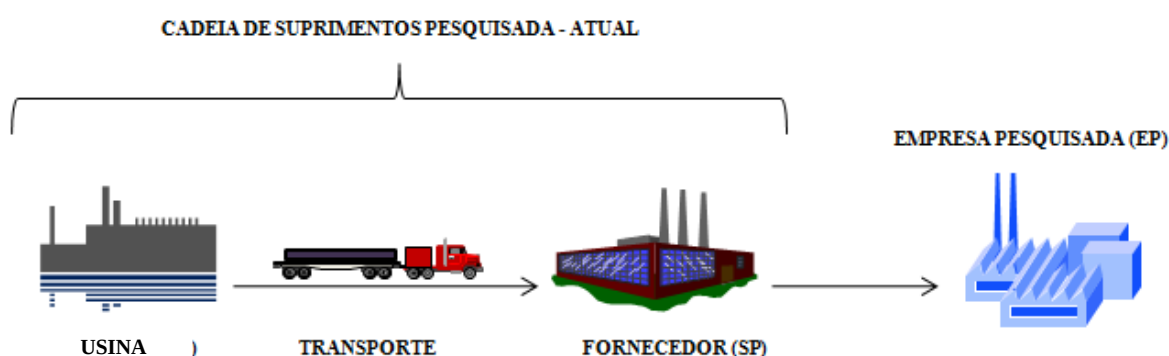


Figura 13 - Representação esquemática da rede logística atual.

A configuração física da rede logística atual é mostrada na figura 13.

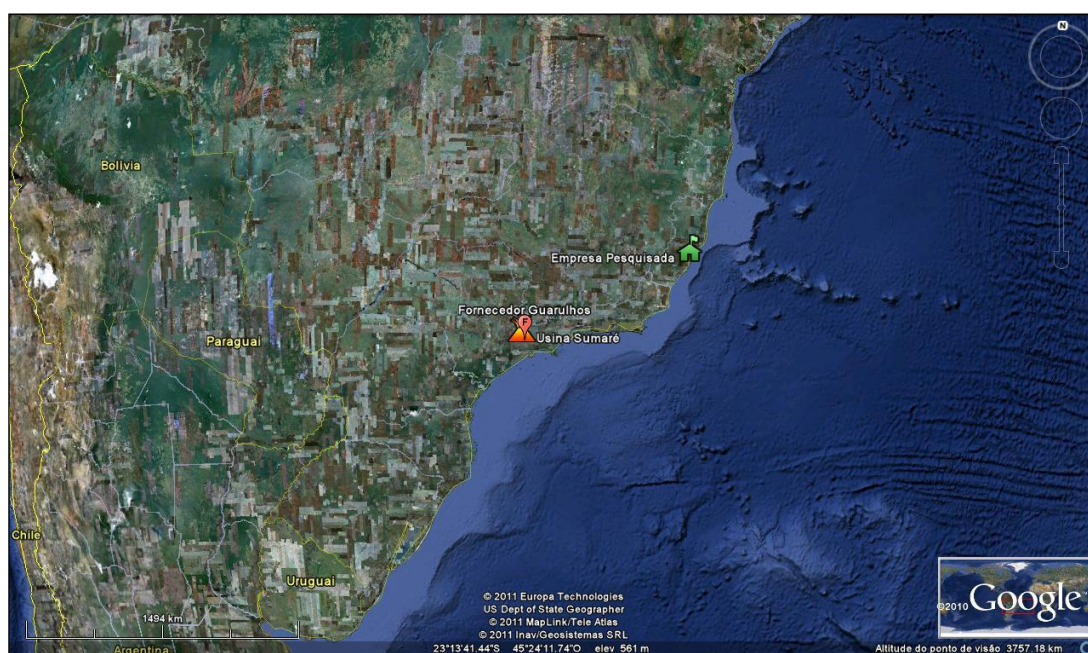


Figura 14 – Configuração física da rede logística atual

Atualmente todo aço fornecido pela fábrica é entregue, armazenado e transformado pelo fornecedor único localizado na cidade de Guarulhos. Nesta configuração logística, em função da matéria-prima estar armazenada no próprio fornecedor que irá transformá-la, não há necessidade de um Centro de Distribuição.

No ano de 2011, a EP iniciou um estudo buscando um aumento da competitividade frente ao mercado cada vez mais acirrado e a redução da dependência de um fornecedor único. Ela busca redesenhar sua rede logística em função do desenvolvimento de novos fornecedores. Com mais fornecedores, espera-se a redução do preço das peças acabadas e a redução da dependência do fornecedor. Para isso, foi escolhido um modelo matemático de localização de instalações para reorganização da rede logística estabelecida.

Após a qualificação de novos fornecedores, esta quantidade aumentará para um total de quatro, tornando-se necessária a adoção de um ou mais Centros de Distribuição para armazenamento da matéria-prima que será encaminhada posteriormente aos fornecedores de acordo com a demanda dos mesmos. Desta forma, a rede logística passará de dois para três elos: um fornecedor de matéria prima, denominado Usina, localizado na cidade de Sumaré - SP, um ou mais centros de distribuição em localização a ser definida e quatro fornecedores localizados nas cidades de Guarulhos-SP, Jundiaí-SP, Serra-ES e Diadema-SP, conforme representado a Figura 14.

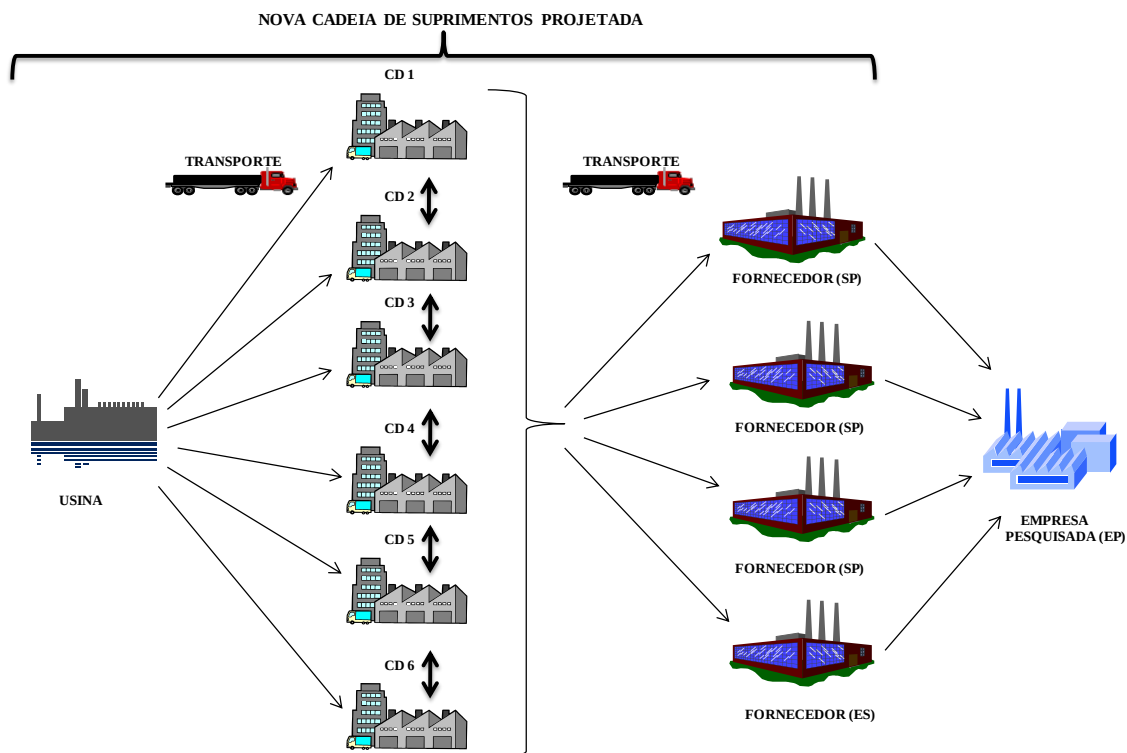


Figura 15 - Representação esquemática da rede logística a ser estudada

A nova configuração da rede logística a tornou mais complexa. À montante da cadeia logística está localizada uma Usina responsável pelo fornecimento do aço para os Centros de Distribuição. Neles, as barras de aço trepanadas são armazenadas e em seguida são cortadas e transportadas até os fornecedores para que passem pelo processo de usinagem. À jusante da cadeia de suprimento encontram-se quatro fornecedores responsáveis pela transformação das barras de aço em peças acabadas para posterior transporte à Empresa Pesquisada para que seja montada e entregue ao cliente final.

A nova configuração física da rede logística está apresentada na Figura 15, sendo comporta por uma Usina, seis possíveis Centros de Distribuição e quatro Fornecedores.

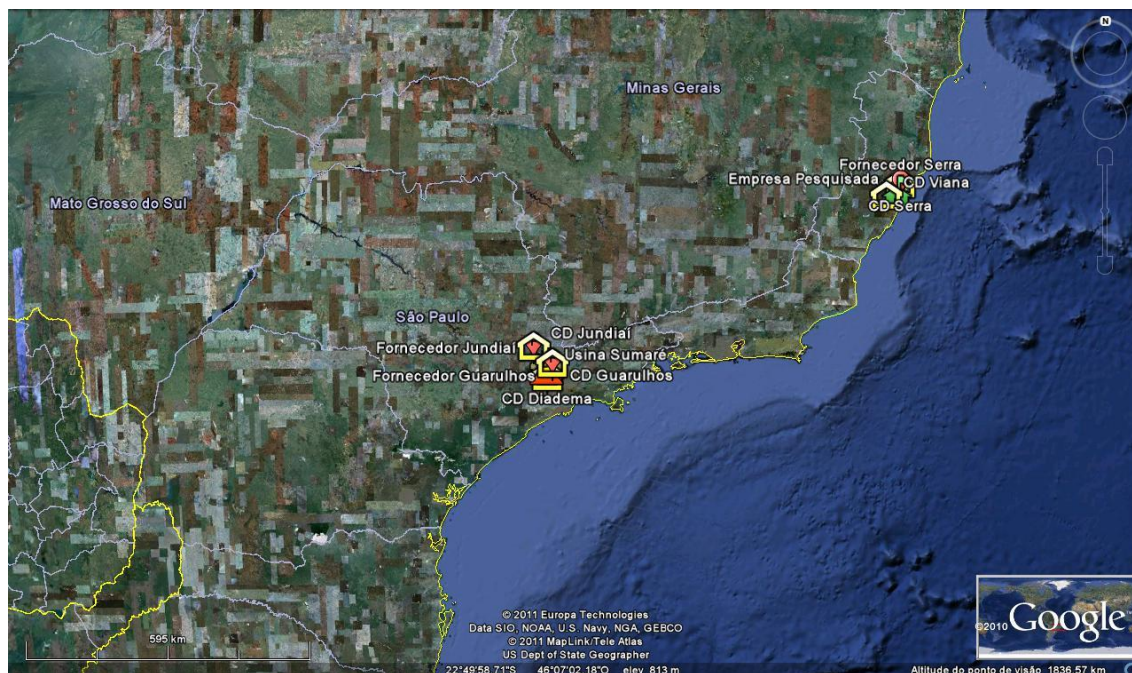


Figura 16 – Nova configuração física da rede logística a ser estudada

4.2. ESCOLHA DO MODELO MATEMÁTICO DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Dentre os modelos de localização apresentados no referencial teórico, o modelo de localização de instalações de Montebeller Junior (2009) foi o escolhido para aplicação nesta pesquisa e seu detalhamento encontra-se apresentado no referencial teórico. Este modelo trata o problema de localização de instalações em uma rede de distribuição de modo a minimizar o custo total da rede logística.

O grande diferencial do modelo apresentado é a apresentação mais abrangente do problema de localização de instalações e alocação de estoques que considera simultaneamente os estoques de ciclo e de segurança na otimização dos custos não-lineares da rede.

Um segundo diferencial consiste no tratamento mais realístico do problema de localização, através da captura das incertezas inerentes ao mesmo. Isso é possível uma vez que a formulação apresentada considera as demandas probabilísticas dos fornecedores, com desvios-padrão e correlações diferentes de zero. Além disso, ela

também considera que os *leads-time* de ressuprimento dos armazéns são probabilísticos, com desvios-padrão diferentes de zero.

E por fim, o terceiro diferencial é quanto à análise do problema de localização de armazéns e alocação de estoques assumindo a premissa do *cross-filling* ou transferência de estoques de um centro de distribuição para outro. Essa contribuição é importante, pois muitos dos trabalhos previamente realizados assumiram apenas a premissa de sistemas independentes, ou seja, quando não existe o *cross-filling*, o que restringe o escopo da análise e pode ocultar importantes implicações gerenciais.

4.3. IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO

Escolhido o modelo matemático, passa-se a etapa de identificação das variáveis que o compõem. Com base no diagnóstico do ambiente e na definição dos objetivos, características e premissas que devem cercar o modelo a ser formulado, é possível identificar quais elementos devem estar presentes na modelagem.

4.3.1 Variáveis de entrada ou parâmetros

As variáveis de entrada que compõem o modelo são:

- Demanda média: é a demanda média de aço em um fornecedor. Esta variável é mensurada em toneladas/dia;
- *Lead-time* médio: é o tempo de ressuprimento entre a usina e os centros de distribuição. Esta variável é mensurada em dias;
- Desvio-padrão: a variabilidade associada ao padrão estocástico da demanda de aço em um fornecedor e ao *Lead-time* médio de ressuprimento. O desvio-padrão referente à demanda média é mensurada em toneladas/dia. Já o desvio-padrão referente ao *Lead-time* médio de ressuprimento é mensurado em dias;
- Correlação: representa a correlação entre as demandas médias nos fornecedores. Esta variável é adimensional;

- Nível de serviço: define a probabilidade de não ocorrer falta de estoque em um centro de distribuição. É considerado o mesmo para todos os centros de distribuição no modelo. Esta variável é adimensional;
- Custo unitário de colocação de pedido: também chamado de custo de aquisição de estoques. São custos decorrentes de processamento dos pedidos nos centros de distribuição. Este custo é mensurado em R\$/tonelada de aço adquirido;
- Custo unitário de manutenção de estoques: são aqueles que incorrem da necessidade de se manter estoque para o funcionamento do sistema produtivo. Este custo é mensurado em R\$/tonelada de aço em estoque;
- Custo unitário de transporte: são custos decorrentes do transporte entre os centros de distribuição e os fornecedores. Este custo é mensurado em R\$/tonelada de aço transportado.
- Custo unitário de ressuprimento: são custos decorrentes do fornecimento de aço entre a usina e os centros de distribuição. Este custo é mensurado em R\$/tonelada de aço transportado.

4.3.2 Variável de decisão

Variáveis de decisão são as incógnitas a serem determinadas pela solução do modelo. A variável de decisão que compõe o modelo é:

- Proporção da demanda média de aço gerada em cada um dos fornecedores e atendida por cada centro de distribuição.

4.3.3 Variáveis de saída ou de resposta

As variáveis de saída são calculadas com base na variável de decisão. As variáveis de saída que compõem o modelo matemático são:

- Custo total de ressuprimento: representa o somatório dos custos de ressuprimento entre a usina e os centros de distribuição;

- Custo total de manutenção de estoques de ciclo e colocação de pedidos: representa o somatório dos custos de manutenção de estoque nos centros de distribuição e dos custos de aquisição de aço ou colocação de pedidos;
- Custo total de manutenção de estoques de segurança: representa o somatório dos custos com o estoque de segurança dos centros de distribuição;
- Custo total de distribuição: representa o somatório de todos os custos gerados no transporte entre os centros de distribuição e os fornecedores;
- Custo total da rede logística: é expresso pela soma dos custos de ressuprimento, dos custos manutenção de estoques de ciclo e colocação de pedidos, dos custos de manutenção do estoque de segurança e os custos de distribuição.

4.4. ESCOLHA DOS POTENCIAIS PONTOS DE LOCALIZAÇÃO

Com base na rede existente, nos objetivos do estudo e em características qualitativas, foram levantados os potenciais pontos para localização dos centros de distribuição. Para este trabalho, são consideradas somente localidades de propriedade da EP ou de algum de seus fornecedores, pois, nessas localidades já existem infra-estrutura para instalação de um centro de distribuição. A empresa estudada não tem interesse na aquisição e construção de um centro de distribuição nos próximos 10 anos.

Os potenciais pontos de localização elencado em conjunto com a superintendência de *procurement* são:

- Diadema: instalação localizada no Estado de São Paulo e de propriedade de um fornecedor;
- Guarulhos: instalação localizada no Estado de São Paulo e de propriedade de um fornecedor;
- Jundiaí: instalação localizada no Estado de São Paulo e de propriedade de um fornecedor;
- Serra: instalação localizada no Estado do Espírito Santo e de propriedade de um fornecedor;

- Sumaré: instalação localizada no Estado de São Paulo e de propriedade da usina;
- Viana: instalação localizada no Estado do Espírito e de propriedade da EP.

A Tabela 1 apresenta as distâncias aproximadas, em quilômetros, entre os centros de distribuição e os fornecedores, considerando-se que a distância entre os mesmos em uma mesma localidade vale zero.

Localidade	Distâncias aproximadas em Km entre CDs e fornecedores			
	Forn.-Diadema	Forn.-Guarulhos	Forn.-Jundiaí	Forn.-Serra
CD-Diadema	0	38	74,9	927
CD-Guarulhos	38	0	67,6	896
CD-Jundiaí	74,9	67,6	0	958
CD-Serra	927	896	958	0
CD-Sumaré	137	132	67,8	1021
CD-Viana	952	917	980	52,7

Tabela 1- Distâncias aproximadas em km entre centros de distribuição e fornecedores
Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

4.5. COLETA DE DADOS

São destacados por Yin (2001) seis instrumentos ou técnicas que são aplicáveis para coleta de dados em estudo de caso, são eles:

- Documentação: relatórios, indicadores e procedimentos operacionais;
- Registros em arquivo: são registros coletados de forma eletrônica;
- Entrevistas: esta é uma das principais fontes de coleta de dados;
- Observação direta: as observações podem ser formais ou informais para a coleta de dados, as formais podem estar incluídas no protocolo do estudo de caso e as informais são coletadas indiretamente na visita;
- Observação participante: tipo de coleta de dados em que o pesquisador participa de eventos no estudo de caso. Esse tipo de instrumento é utilizado quando se identifica a necessidade de participar efetivamente de um processo para poder coletar os dados;
- Artefatos físicos: forma utilizada comumente na pesquisa antropológica, apresentando, normalmente, menor importância para coleta de dados em estudo de caso.

Na presente pesquisa foram utilizadas as seguintes técnicas de coleta de dados: primeiramente a leitura e estudo de livros, revistas, dissertações, teses e artigos, também chamada de pesquisa bibliográfica, cujo produto é o referencial teórico deste trabalho. Posteriormente, foram utilizadas as técnicas de análise de documentação (relatórios, indicadores e procedimentos) e a análise de registros em arquivo (banco de dados, sistemas de informação e planilhas eletrônicas). Os dados coletados através dessas técnicas são classificados como secundários, visto que já se encontram disponíveis para serem coletados nos bancos de dados oficiais da empresa estudada.

Ainda foi utilizada a técnica de coleta de dados através da entrevista. Foram realizadas entrevistas do tipo aberta com colaboradores do departamento de logística, planejamento e compras. A entrevista aberta é utilizada quando o pesquisador deseja obter o maior número possível de informações sobre determinado tema, segundo a visão do entrevistado, e também para obter um maior detalhamento do assunto em questão.

Por fim, foram ainda utilizadas as técnicas da observação do tipo participante e direta. Para a coleta de dados de responsabilidade do departamento de logística, foi utilizada a observação participante. Em relação aos dados coletados nos departamentos de compras e planejamento, foram utilizadas as observações diretas formais e informais.

4.5.1 Coleta e cálculo dos parâmetros de entrada

Para Martins (2006), um instrumento de coleta de dados deve seguir as seguintes etapas:

- Listar as variáveis que se pretende medir;
- Revisar os conceitos de cada variável elencada;
- Definir como cada variável será medida;
- Determinar uma técnica e dar início à coleta de dados.

Esta pesquisa se apóia em fontes de dados primários e secundários. Os dados primários foram obtidos através das entrevistas, dos relatórios, documentos e das

observações diretas da empresa estudada. Os dados secundários foram obtidos diretamente dos bancos de dados internos da Empresa Pesquisada.

Em função da inexistência de sistemas de informações voltados para a geração de valores estruturados referentes aos parâmetros do modelo, necessitou-se de uma investigação trabalhosa para que fosse possível o levantamento de tais dados.

As coletas de dados referentes aos parâmetros de entrada do modelo de localização foram realizadas no período de quatro meses e ocorreram entre 15 de janeiro de 2011 e 15 de abril de 2011. Para a obtenção dos dados foram envolvidos superintendentes, gerentes, coordenadores e analistas das áreas de logística, compras e planejamento. As entrevistas ocorreram no local de funcionamento da empresa, em data e horário previamente agendados. Os valores dos parâmetros de entrada a serem utilizados no modelo são denominados valores base.

O modelo matemático de localização considera o custo total da cadeia logística estudada como o somatório dos custos de ressuprimento dos centros de distribuição, custos de distribuição para os fornecedores, custos de manutenção de estoques de ciclo e de colocação de pedidos e os custos de manutenção dos estoques de segurança. Segue abaixo a metodologia de coleta dos dados e cálculo dos parâmetros de entrada:

a) Custo de ressuprimento dos centros de distribuição

O custo total de ressuprimento dos centros de distribuição é calculado por meio da seguinte equação:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_r L_{tj} W_{ij} D_i ,$$

onde:

m = número de possíveis localidades para um centro de distribuição;

n = número total de fornecedores;

j = índice de um possível centro de distribuição na rede, $j = \{1, \dots, m\}$;

i = índice de um fornecedor, $i = \{1, \dots, n\}$;

c_r = custo unitário e diário de ressuprimento da fábrica para os centros de distribuição j (igual para todos os CDs).

Lt_j = *Lead-time* médio de ressuprimento no centro de distribuição j ;

W_{ij} = proporção da demanda média do fornecedor i atendida pelo centro de distribuição j , tal que $0 \leq W_{ij} \leq 1$;

D_i = demanda média do fornecedor i .

Cada parâmetro de entrada é obtido como se segue:

- Custo unitário e diário médio de ressuprimento da usina para os centros de distribuição j (c_r)

Para o cálculo do custo unitário e diário médio de ressuprimento da usina para os centros de distribuição, foram levantados em sistemas de informação internos da EP o valor médio mensal gasto com ressuprimento do fornecedor único existente e a quantidade média mensal de aço entregue pela usina no período de 10 de janeiro a 10 de abril de 2011 (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores coletados para cálculo do custo unitário e diário médio de ressuprimento

Gasto médio mensal com ressuprimento (A)	Suprimento médio mensal de aço (B)
R\$ 15.600,00/mês	165 toneladas/mês

Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

$$c_r = \frac{\left(\frac{A}{B}\right)}{30} = \frac{\frac{15.600}{165}}{30} = \text{R\$} \frac{3,2}{\text{tonelada}} / \text{dia}$$

O custo unitário e diário de ressuprimento é considerado o mesmo para todos os CDs. O denominador (30) é utilizado para transformar o custo de mensal para diário.

- *Lead-time* médio de ressuprimento no centro de distribuição j (Lt_j)

O *Lead-time* médio de ressuprimento junto aos CDs foram coletados junto a sistemas de informação da Empresa Pesquisada e junto à transportadora contratada no período de janeiro a março de 2011. Tais valores coletados apresentam-se na Tabela 3.

Tabela 3 - *Lead-time* médio de ressuprimento junto a cada CD

Lead time médio de ressuprimento (dias)						
Origem (Usina)	Destino (Centro de Distribuição)					
	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5	j = 6
	Diadema	Guarulhos	Jundiaí	Serra	Sumaré	Viana
	Lt ₁	Lt ₂	Lt ₃	Lt ₄	Lt ₅	Lt ₆
Sumaré	0,095	0,092	0,047	0,876	0	0,847

Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

Dentre as seis potenciais localizações para os CDs, os localizados em Guarulhos e Sumaré tiveram os *lead-times* coletados por meio de sistemas de informação da EP. Em relação ao CD de Sumaré, o *Lead-time* é zero em função da Usina e do CD estarem situados no mesmo local. Para os demais CDs, em virtude de não existirem atualmente, os valores foram estimados pela transportadora contratada pela EP.

- Demanda média do fornecedor i (D_i)

A demanda média de aço para cada fornecedor foi estimada juntamente com a Superintendência de *Planning* e *Procurement* para o período de um ano e meio (janeiro 2012 a junho 2013). Segue abaixo a estatística da demanda mensal média de aço pelos fornecedores (Tabela 4).

Tabela 4 - Demanda média diária de aço distribuída por fornecedor

Estatística da demanda diária de aço (toneladas)				
Estatística	Forn.-Diadema	Forn.-Guarulhos	Forn.-Jundiaí	Forn.-Serra
Média	0,56	2,93	0,93	1,07
Máximo	1,20	4,47	1,47	1,60
Mínimo	0,27	1,60	0,53	0,53
Desvio Padrão	0,23	0,90	0,29	0,32

Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

As estimativas dos valores mensais da demanda média de aço para cada fornecedor estão apresentados no Gráfico 1 e totalizam a demanda média mensal de 165 toneladas.

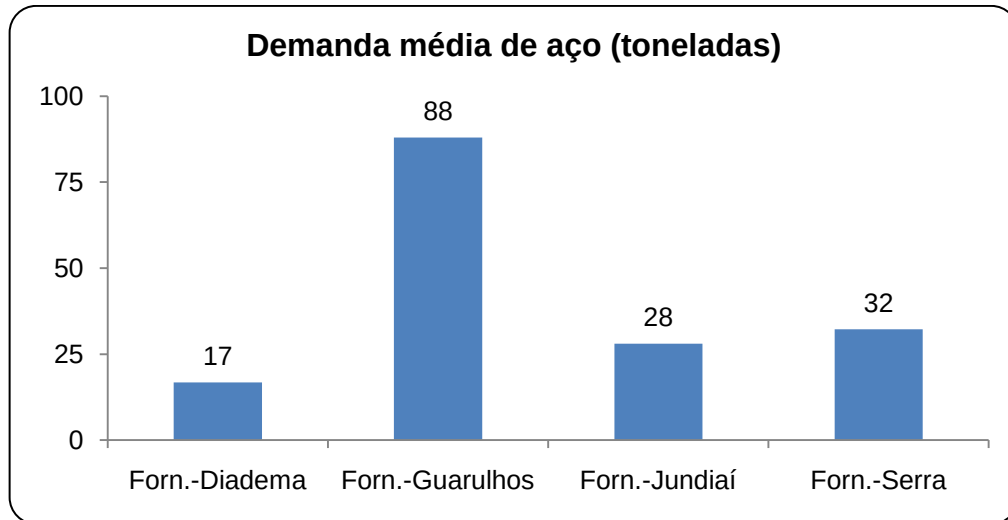


Gráfico 3 - Distribuição da demanda média mensal de aço entre os fornecedores
Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

b) Custo de distribuição para os fornecedores

O custo total de distribuição para os fornecedores é calculado por meio da seguinte equação:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_{T_{ij}} W_{ij} D_i ,$$

onde:

m = número de possíveis localidades para um centro de distribuição;

n = número total de fornecedores;

$c_{T_{ij}}$ = custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor i e o CD j ;

W_{ij} = proporção da demanda média do fornecedor i atendida pelo centro de distribuição j , tal que $0 \leq W_{ij} \leq 1$;

D_i = demanda média do fornecedor i .

Cada parâmetro de entrada deve ser obtido como se segue:

- Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor i e o CD j ($c_{T_{ij}}$)

Para o cálculo do custo unitário de transporte entre os CDs e os fornecedores é necessário o custo do frete. Na Tabela 5 estão apresentados esses custos.

Tabela 5 - Custo de transporte entre os CDs e os fornecedores

Custo de transporte em R\$ entre CDs e fornecedores				
Localidade	Forn.-Diadema	Forn.-Guarulhos	Forn.-Jundiaí	Forn.-Serra
CD-Diadema	0	473	473	1753
CD-Guarulhos	473	0	473	1753
CD-Jundiaí	473	473	0	1753
CD-Serra	1753	1753	1753	0
CD-Sumaré	473	473	473	1753
CD-Viana	1570	1570	1570	315

Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

O custo de transporte entre os centros de distribuição de mesma localidade é nulo, pois localizam-se na mesma área.

Para o transporte de aço são utilizadas carretas com capacidade máxima de transporte de 33 toneladas, porém para este estudo será considerado uma ocupação de 85% da capacidade máxima das carretas, ou seja, uma carga de 28 toneladas.

Para o cálculo do custo unitário de transporte entre os CDs e os fornecedores, os valores de frete apresentados na Tabela 5 foram divididos pela capacidade de transporte das carretas (28 toneladas). A Tabela 6 apresenta os resultados desta operação.

Tabela 6 - Custo por tonelada transportada entre os CDs e os fornecedores

Custo em R\$ por tonelada transportada entre CDs e fornecedores				
Localidade	Forn.-Diadema	Forn.-Guarulhos	Forn.-Jundiaí	Forn.-Serra
CD-Diadema	0	17	17	63
CD-Guarulhos	17	0	17	63
CD-Jundiaí	17	17	0	63
CD-Serra	63	63	63	0
CD-Sumaré	17	17	17	63
CD-Viana	56	56	56	11

Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

Tais valores traduzem o custo, em reais, de transporte por tonelada entre um determinado CD e um fornecedor.

c) Custo de manutenção de estoques de ciclo e colocação de pedidos

O custo total de manutenção de estoques de ciclo e colocação de pedidos é calculado por meio da seguinte equação:

$$\sum_{j=1}^m \sqrt{2 c_{cpj} c_{mj} \sum_{i=1}^n W_{ij} D_i} ,$$

onde:

m = número de possíveis localidades para um centro de distribuição;

n = número total de fornecedores;

j = índice de um possível centro de distribuição na rede, $j = \{1, \dots, m\}$;

i = índice de um fornecedor, $i = \{1, \dots, n\}$;

c_{cpj} = custo unitário de colocação de pedido no centro de distribuição j ;

c_{mj} = custo unitário de manutenção de estoque no centro de distribuição j ;

W_{ij} = proporção da demanda média do fornecedor i atendida pelo centro de distribuição j , tal que $0 \leq W_{ij} \leq 1$;

D_i = demanda média do fornecedor i .

Cada parâmetro de entrada deve ser obtido como se segue:

- Custo unitário de colocação de pedido no centro de distribuição j (c_{cpj})

Foram envolvidas no levantamento do valor desse parâmetro as áreas de compras, contas a pagar e logística. Para a formação do custo de um pedido de compra, foram considerados os seguintes custos: pessoal, encargos sociais, comunicação, energia, tecnologia da informação, administrativos e aluguel. Foi ainda levado em consideração que a área de contas a pagar dispõe de 20% de alocação de seu tempo para o pagamento de faturas referente ao produto estudado e a área de logística utiliza 23% de seu tempo nos processos de armazenagem, inspeção e conferência. Devido à existência de uma célula de compras específica para o produto estudado, o percentual de alocação da área de compras considerado para o

estudo foi de 100%. Esse levantamento foi realizado entre os dias 1 e 31 do mês de março de 2011.

O cálculo do custo unitário de colocação de pedido deve ser realizado para cada um dos seis centros de distribuição. Está apresentada na Tabela 7 a metodologia de cálculo do custo unitário de colocação de pedido para o centro de distribuição localizado na cidade de Guarulhos.

Tabela 7 - Cálculo do custo unitário de colocação de pedido no CD-Guarulhos

CÁLCULO DO CUSTO UNITÁRIO DE COLOCAÇÃO DE PEDIDO NO CD-GUARULHOS				
CUSTOS	COMPRAS	CONTAS A PAGAR	RECEPÇÃO, INSPEÇÃO E CONFERÊNCIA	
Pessoal	R\$ 4.000,00	R\$ 2.300,00	R\$	6.900,00
Enc. Sociais	R\$ 4.000,00	R\$ 2.300,00	R\$	6.900,00
Comunicação	R\$ 100,00	R\$ 50,00	R\$	500,00
Energia	R\$ 300,00	R\$ 100,00	R\$	100,00
TI	R\$ 300,00	R\$ 150,00	R\$	250,00
Administrativo	R\$ 150,00	R\$ 50,00	R\$	100,00
Aluguel	R\$ -	R\$ -	R\$	38.000,00
% DE ALOCAÇÃO	100%	20%	23%	
TOTAL	R\$ 8.850,00	R\$ 990,00	R\$	11.988,64
TOTAL GERAL			R\$ 21.828,64 (A)	
Número de pedidos emitidos			220 (B)	
Custo unitário de colocação de pedido			A / B = R\$ 99,22	

Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

A linha “TOTAL” totaliza os valores gastos pelas áreas de compras, contas a pagar e recepção/inspeção/conferência. A linha “% DE ALOCAÇÃO” exprime a alocação de todo o recurso disponibilizado por cada área na colocação de pedidos de compra de aço. As áreas de contas a pagar e recepção/inspeção/conferência apresentam um percentual de alocação respectivamente de 20% e 23%. Isto significa que os recursos dessas áreas estão disponíveis parcialmente no processo de colocação de pedidos de compra.

A Tabela 8 apresenta os custos de colocação de pedido para cada um dos centros de distribuição. A metodologia de cálculo é a mesma apresentada para o CD localizado em Guarulhos.

Tabela 8 - Custo de colocação de pedido (R\$/tonelada)

CD	Custo unitário de colocação de pedido
CD-Diadema	R\$ 95,33
CD-Guarulhos	R\$ 99,22
CD-Jundiaí	R\$ 84,96
CD-Serra	R\$ 78,25
CD-Sumaré	R\$ 88,89
CD-Viana	R\$ 75,67

Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

- Custo unitário de manutenção de estoque no centro de distribuição j (c_{mj})

O custo unitário de manutenção de estoque é calculado multiplicando o custo de aquisição de cada tonelada de aço pelos encargos financeiros sobre os estoques. A Tabela 9 apresenta o custo de manutenção de estoque em cada um dos CDs.

Tabela 9 - Custo unitário e diário de manutenção de estoque

CD	c_u (R\$/ton)	i_{ad}	$c_{mj} = c_u * i$ (R\$/ton/dia)
CD-Diadema	16.000,00	0,07%	10,67
CD-Guarulhos	16.000,00	0,07%	11,11
CD-Jundiaí	16.000,00	0,06%	10,22
CD-Serra	16.000,00	0,05%	8,44
CD-Sumaré	16.000,00	0,07%	10,67
CD-Viana	16.000,00	0,06%	9,78

Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

onde:

c_u = custo unitário do aço;

i_{ad} = encargos financeiros sobre o estoque ao dia;

c_{mj} = custo unitário e diário de manutenção de estoque.

Os encargos financeiros sobre o estoque são compostos pelo custo de capital ou de oportunidade, pelo custo de armazenagem e pelo risco. O custo de capital e de risco é o mesmo para cada um dos CDs. O custo financeiro de armazenagem é diferente para cada um dos CDs.

d) Custo de manutenção dos estoques de segurança

O custo total de manutenção dos estoques de segurança é calculado por meio da seguinte equação:

$$\sum_{j=1}^m k_j c_{mj} \sqrt{Lt_j \left(\sum_{i=1}^n W_{ij}^2 \sigma_{Di}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^{i-1} W_{ij} W_{lj} \rho_{il} \sigma_{Di} \sigma_{Dl} \right) + \sigma_{Lt_j}^2 \left(\sum_{i=1}^n W_{ij} D_i \right)^2},$$

onde:

m = número de possíveis localidades para um centro de distribuição;

n = número total de fornecedores;

i, l = índice de um fornecedor; $i, l = \{1, \dots, n\}$,

j = índice de um possível centro de distribuição na rede; $j = \{1, \dots, m\}$,

c_{mj} = custo unitário de manutenção de estoques no centro de distribuição j ;

Lt_j = *Lead-time* médio de ressuprimento no centro de distribuição j ;

W_{ij} = proporção da demanda média do fornecedor i atendida pelo centro de distribuição j , tal que $0 \leq W_{ij} \leq 1$;

σ_{Di} = desvio-padrão da demanda do fornecedor i ;

ρ_{il} = correlação entre as demanda médias dos fornecedores i e l ;

σ_{Lt_j} = desvio-padrão do *Lead-time* de ressuprimento no centro de distribuição j ;

k_j = fator de segurança que reflete o nível de proteção em relação aos *stock-outs*, ou seja, o nível de serviço no centro de distribuição j ;

D_i = demanda média do fornecedor i .

Cada parâmetro de entrada deve ser obtido como se segue:

- Nível de serviço no centro de distribuição j (k_j)

O ponto de partida para o cálculo dos estoques de segurança, segundo Wanke (2008), é a determinação da probabilidade de não faltar produto, ou seja, a probabilidade de não ocorrência de um *stock-out*. Baseando-se nessa probabilidade, é possível calcular o estoque de segurança. A determinação do estoque de segurança deve considerar, dessa maneira, a variabilidade (desvio-padrão) da demanda durante o *lead-time* desde a colocação do pedido até o reabastecimento e a distribuição de probabilidade da demanda durante o *lead-time*.

Bowersox e Closs (2001) afirmam que, para serem calculados a probabilidade de não faltar produto e os estoques de segurança, é necessário determinar a distribuição de freqüências da demanda durante o *lead-time* e, em seguida, verificar a aderência desta a uma distribuição de probabilidades. Wanke (2001) afirma que a demanda durante o *lead-time* é freqüentemente considerada aderente à distribuição normal.

Considerando-se demanda durante o *lead-time* aderente à distribuição normal, pode-se determinar facilmente a probabilidade de não faltar produto. Ela é a densidade acumulada (área abaixo da curva) da distribuição normal até o limite estabelecido por PP' , como mostra a Figura 16.

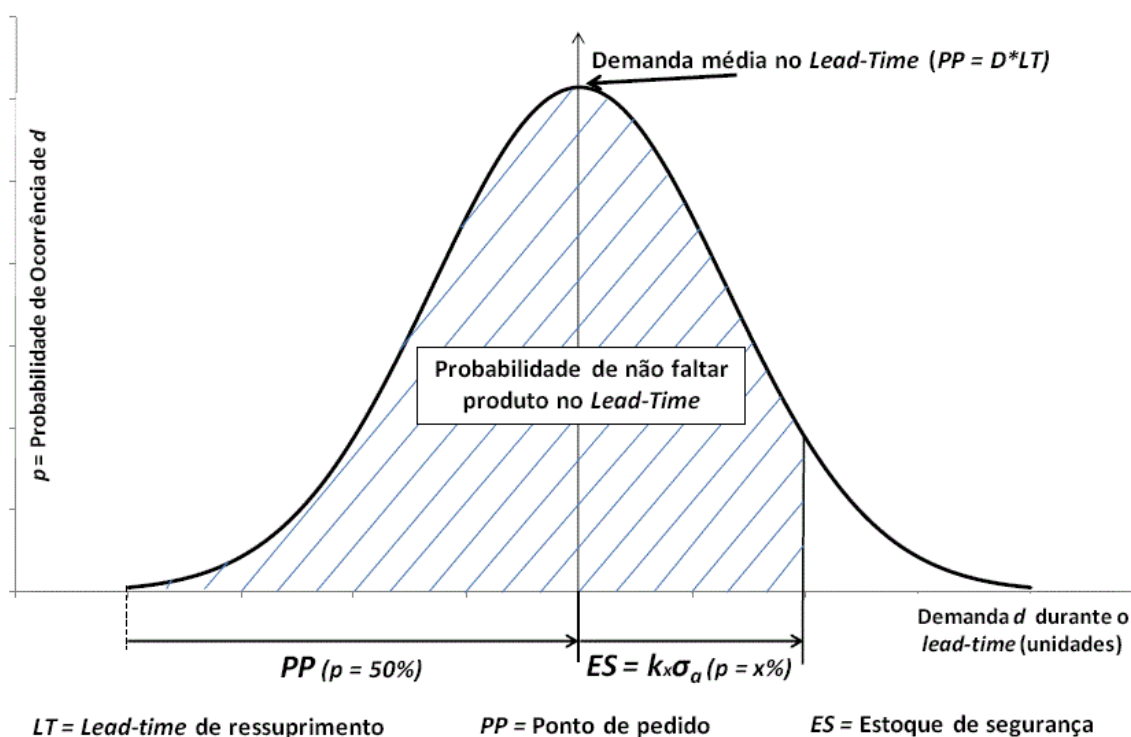


Figura 17 – Efeito da adição de ES a PP na determinação da probabilidade de não faltar produto durante o *lead-time* de ressuprimento
Fonte: Montebeller Junior (2009)

O estoque de segurança ES pode ser definido, segundo Tallon (1993), de acordo com a equação:

$$ES = k\sigma_a$$

onde:

k = nível de serviço, ou seja, fator de segurança que reflete o nível de proteção em relação a falta de produto ou stock-outs;

σ_a = desvio-padrão da demanda durante o *lead-time* desde a colocação do pedido até o reabastecimento.

Estatisticamente, quanto se mantém um estoque durante o *lead-time* igual a *PP*, há uma probabilidade de 50% de não acontecer um stock-out, uma vez que *PP* é a própria média da demanda durante o *lead-time* e que a distribuição de probabilidades de tal variável é considerada aderente à distribuição normal. Ao se aumentar o estoque durante o *lead-time*, somando-se $k\sigma_a$ a *PP*, aumenta-se a probabilidade de não haver um stock-out (Wanke, 2008). Isso é ilustrado graficamente na Figura 16.

O ponto de interesse, no que diz respeito ao nível de serviço que se deseja prestar aos clientes, é a probabilidade de não faltar produto durante o *lead-time*, garantida pela adição de uma determinada quantidade k de desvios-padrão da demanda durante o *lead-time* a *PP*. Uma vez que a demanda durante o *lead-time* é considerada aderente à distribuição normal, é possível se determinar a relação entre os valores de k e a probabilidade de não faltar produto (Wanke, 2008), como mostra o Quadro 4.

Probabilidade de não faltar produto	k
80%	0,84
85%	1,04
90%	1,28
95%	1,65
98%	2,06
99%	2,33
99,99%	3,62

Quadro 6 – Probabilidade de não faltar produto em estoque em função de k .
Fonte: Montebeller Junior (2009)

- Desvio-padrão da demanda do fornecedor i (σ_{D_i})

O desvio-padrão é uma medida de dispersão usada com a média. Mede a variabilidade dos valores à volta da média. O valor mínimo do desvio-padrão é 0 indicando que não há variabilidade, ou seja, que todos os valores são iguais à média.

A fórmula de cálculo do desvio-padrão para os valores $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ de uma amostra é a seguinte:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.1)$$

onde, $\bar{x}$ é a média da amostra.

A Tabela 10 apresenta os valores do desvio-padrão da demanda diária de aço em cada um dos fornecedores.

Tabela 10 - Desvio-padrão da demanda de aço

Desvio padrão da demanda diária de aço (toneladas)			
Forn.-Diadema	Forn.-Guarulhos	Forn.-Jundiaí	Forn.-Serra
0,23	0,90	0,29	0,32

Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

- Correlação entre as demanda médias dos fornecedores (ρ_{il})

A correlação, ou a relação mútua entre as demanda de dois fornecedores, é mensurada por meio do fator de correlação. Este coeficiente assume apenas valores entre -1 e 1 ($-1 < \rho_{il} < 1$).

$\rho_{il} = 1$ significa uma correlação positiva perfeita entre as duas variáveis;

$\rho_{il} = -1$ significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis;

$\rho_{il} = 0$ significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra.

O coeficiente de correlação é calculado por meio da seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

onde $x_1, x_2, \dots, x_n$ e $y_1, y_2, \dots, y_n$ são os valores medidos de ambas as variáveis

A análise correlacional indica a relação entre 2 variáveis lineares e os valores sempre serão entre +1 e -1. O sinal indica a direção, se a correlação é positiva ou negativa e o tamanho da variável indica a força da correlação.

Os fatores de correlação são calculados entre as demandas dos fornecedores dois a dois e estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Fatores de correlação entre as demandas de aço

Correlação entre as demandas dos fornecedores			
pil	i	l	Valor
p11	Forn.-Diadema	Forn.-Diadema	1,00
p12	Forn.-Diadema	Forn.-Guarulhos	-0,28
p13	Forn.-Diadema	Forn.-Jundiaí	0,20
p14	Forn.-Diadema	Forn.-Serra	-0,22
p21	Forn.-Guarulhos	Forn.-Diadema	-0,28
p22	Forn.-Guarulhos	Forn.-Guarulhos	1,00
p23	Forn.-Guarulhos	Forn.-Jundiaí	0,39
p24	Forn.-Guarulhos	Forn.-Serra	0,04
p31	Forn.-Jundiaí	Forn.-Diadema	0,20
p32	Forn.-Jundiaí	Forn.-Guarulhos	0,39
p33	Forn.-Jundiaí	Forn.-Jundiaí	1,00
p34	Forn.-Jundiaí	Forn.-Serra	0,27
p41	Forn.-Serra	Forn.-Diadema	-0,22
p42	Forn.-Serra	Forn.-Guarulhos	0,04
p43	Forn.-Serra	Forn.-Jundiaí	0,27
p44	Forn.-Serra	Forn.-Serra	1,00

Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

- Desvio-padrão do *Lead-time* de ressuprimento no centro de distribuição j (σ_{Lt_j})

O desvio-padrão do lead-time médio de ressuprimento de cada um dos centros de distribuição é calculado por meio da equação 4.1 da mesma forma que o desvio-padrão da demanda média dos fornecedores.

A Tabela 12 apresenta os valores do desvio-padrão do *lead-time* médio de ressuprimento de cada um dos centros de distribuição.

Tabela 12 - Desvio-padrão da lead-time médio de ressuprimento

Desvio Padrão do <i>lead time</i> médio de ressuprimento (dias)						
Origem (Usina)	Destino (Centro de Distribuição)					
	Diadema	Guarulhos	Jundiaí	Serra	Sumaré	Viana
Sumaré	0,0417	0,0417	0,0208	0,1667	0	0,1458

Fonte: Empresa Pesquisada (2011)

A Tabela 13 mostra a relação dos valores base de todos os parâmetros de entrada a serem utilizados no modelo matemático de localização considerado neste estudo.

Tabela 13 - Relação dos valores base de todos os parâmetros de entrada do modelo de localização

Variável	Valor Base	Notação	Unidade
Custo unitário de colocação de pedido no CD em Diadema	95,33	c_{cp_1}	R\$/pedido
Custo unitário de colocação de pedido no CD em Guarulhos	99,22	c_{cp_2}	R\$/pedido
Custo unitário de colocação de pedido no CD em Jundiaí	84,96	c_{cp_3}	R\$/pedido
Custo unitário de colocação de pedido no CD em Serra	78,25	c_{cp_4}	R\$/pedido
Custo unitário de colocação de pedido no CD em Sumaré	88,89	c_{cp_5}	R\$/pedido
Custo unitário de colocação de pedido no CD em Viana	75,63	c_{cp_6}	R\$/pedido
Custo unitário de manutenção de estoques no CD em Diadema	10,67	c_{m_1}	R\$/ton/dia
Custo unitário de manutenção de estoques no CD em Guarulhos	11,11	c_{m_2}	R\$/ton/dia
Custo unitário de manutenção de estoques no CD em Jundiaí	10,22	c_{m_3}	R\$/ton/dia
Custo unitário de manutenção de estoques no CD em Serra	8,44	c_{m_4}	R\$/ton/dia
Custo unitário de manutenção de estoques no CD em Sumaré	10,67	c_{m_5}	R\$/ton/dia
Custo unitário de manutenção de estoques no CD em Viana	9,78	c_{m_6}	R\$/ton/dia
<i>Lead-time</i> médio de ressuprimento no CD em Diadema	0,095	Lt_1	dias
Desvio-padrão do <i>Lead-time</i> médio de ressuprimento em Diadema	0,0417	σ_{Lt_1}	dias
<i>Lead-time</i> médio de ressuprimento no CD em Guarulhos	0,092	Lt_2	dias

Variável	Valor Base	Notação	Unidade
Desvio-padrão do <i>Lead-time</i> médio de ressuprimento em Guarulhos	0,0417	σ_{Lt_2}	dias
<i>Lead-time</i> médio de ressuprimento no CD em Jundiaí	0,047	Lt_3	Dias
Desvio-padrão do <i>Lead-time</i> médio de ressuprimento em Jundiaí	0,0208	σ_{Lt_3}	Dias
<i>Lead-time</i> médio de ressuprimento no CD em Serra	0,876	Lt_4	Dias
Desvio-padrão do <i>Lead-time</i> médio de ressuprimento em Serra	0,1667	σ_{Lt_4}	Dias
<i>Lead-time</i> médio de ressuprimento no CD em Sumaré	0	Lt_5	Dias
Desvio-padrão do <i>Lead-time</i> médio de ressuprimento em Sumaré	0	σ_{Lt_5}	Dias
<i>Lead-time</i> médio de ressuprimento no CD em Viana	0,847	Lt_6	Dias
Desvio-padrão do <i>Lead-time</i> médio de ressuprimento em Viana	0,1458	σ_{Lt_6}	dias
Custo unitário e diário de ressuprimento da fábrica para os CDs	3,2	c_r	R\$/ton/dia
Nível de serviço no CD (igual para todos)	3,62	k_j	n de desvios
Demanda média do fornecedor em Diadema	0,56	D_1	ton/dia
Desvio-padrão da demanda do fornecedor em Diadema	0,23	σ_{D_1}	ton/dia
Demanda média do fornecedor em Guarulhos	2,93	D_2	ton/dia
Desvio-padrão da demanda do fornecedor em Guarulhos	0,90	σ_{D_2}	ton/dia
Demanda média do fornecedor em Jundiaí	0,93	D_3	ton/dia

Variável	Valor Base	Notação	Unidade
Desvio-padrão da demanda do fornecedor em Jundiaí	0,29	σ_{D_3}	ton/dia
Demanda média do fornecedor em Serra	1,07	D_4	ton/dia
Desvio-padrão da demanda do fornecedor em Serra	0,32	σ_{D_4}	ton/dia
Correlação entre as demandas média dos fornecedores de Diadema e Guarulhos	-0,28	ρ_{12}	adimensional
Correlação entre as demandas média dos fornecedores de Diadema e Jundiaí	0,20	ρ_{13}	adimensional
Correlação entre as demandas média dos fornecedores de Diadema e Serra	-0,22	ρ_{14}	adimensional
Correlação entre as demandas média dos fornecedores de Guarulhos e Diadema	-0,28	ρ_{21}	adimensional
Correlação entre as demandas média dos fornecedores de Guarulhos e Jundiaí	0,39	ρ_{23}	adimensional
Correlação entre as demandas média dos fornecedores de Guarulhos e Serra	0,04	ρ_{24}	adimensional
Correlação entre as demandas média dos fornecedores de Jundiaí e Diadema	0,20	ρ_{31}	adimensional
Correlação entre as demandas média dos fornecedores de Jundiaí e Guarulhos	0,39	ρ_{32}	adimensional
Correlação entre as demandas média dos fornecedores de Jundiaí e Serra	0,27	ρ_{34}	adimensional
Correlação entre as demandas média dos fornecedores de Serra e Diadema	-0,22	ρ_{41}	adimensional
Correlação entre as demandas média dos fornecedores de Serra e Guarulhos	0,04	ρ_{42}	adimensional
Correlação entre as demandas média dos fornecedores de Serra e Jundiaí	0,27	ρ_{43}	adimensional

Variável	Valor Base	Notação	Unidade
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Diadema e o CD em Diadema	0	$c_{T_{11}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Diadema e o CD em Guarulhos	17	$c_{T_{12}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Diadema e o CD em Jundiaí	17	$c_{T_{13}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Diadema e o CD em Serra	63	$c_{T_{14}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Diadema e o CD em Sumaré	17	$c_{T_{15}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Diadema e o CD em Viana	56	$c_{T_{16}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Guarulhos e o CD em Diadema	17	$c_{T_{21}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Guarulhos e o CD em Guarulhos	0	$c_{T_{22}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Guarulhos e o CD em Jundiaí	17	$c_{T_{23}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Guarulhos e o CD em Serra	63	$c_{T_{24}}$	R\$/ton

Variável	Valor Base	Notação	Unidade
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Guarulhos e o CD em Sumaré	17	$c_{T_{25}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Guarulhos e o CD em Viana	56	$c_{T_{26}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Jundiaí e o CD em Diadema	17	$c_{T_{31}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Jundiaí e o CD em Guarulhos	17	$c_{T_{32}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Jundiaí e o CD em Jundiaí	0	$c_{T_{33}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Jundiaí e o CD em Serra	63	$c_{T_{34}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Jundiaí e o CD em Sumaré	17	$c_{T_{35}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Jundiaí e o CD em Viana	56	$c_{T_{36}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Serra e o CD em Diadema	63	$c_{T_{41}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Serra e o CD em Guarulhos	63	$c_{T_{42}}$	R\$/ton

Variável	Valor Base	Notação	Unidade
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Serra e o CD em Jundiaí	63	$c_{T_{43}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Serra e o CD em Serra	0	$c_{T_{44}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Serra e o CD em Sumaré	63	$c_{T_{45}}$	R\$/ton
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor em Serra e o CD em Viana	11	$c_{T_{46}}$	R\$/ton

4.6. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE LOCALIZAÇÃO

O modelo matemático deve responder a quantidade e a localização de centros de distribuição de forma a estabelecer a rede logística de mínimo custo total. É preciso agora definir quais são os elementos de entrada e de saída do modelo, e quais as equações matemáticas entre esses elementos visando a construção da função objetivo do modelo.

A seguir são definidos os índices e as variáveis de entrada e saída do modelo.

4.6.1. Variáveis de entrada, parâmetros ou variáveis independentes

Definem-se os seguintes dados de entrada com suas respectivas notações:

Para os centros de distribuição:

m = número de possíveis localidades para um centro de distribuição;

j = índice de um possível centro de distribuição na rede; $j = \{1, \dots, m\}$,

c_{cp_j} = custo unitário de colocação de pedido no centro de distribuição j ;

c_{m_j} = custo unitário de manutenção de estoques no centro de distribuição j ;

Lt_j = *Lead-time* médio de ressuprimento no centro de distribuição j ;

σ_{Lt_j} = desvio-padrão do *Lead-time* médio de ressuprimento no centro de distribuição j ;

c_r = custo unitário e diário de ressuprimento da fábrica para os centros de distribuição j (igual para todos os CDs).

k_j = fator de segurança que reflete o nível de proteção em relação aos *stock-outs*, ou seja, o nível de serviço no centro de distribuição j ;

Para os fornecedores:

n = número total de fornecedores;

i, l = índice de um fornecedor; $i, l = \{1, \dots, n\}$,

D_i = demanda média do fornecedor i ;

σ_{D_i} = desvio-padrão da demanda do fornecedor i ;

ρ_{il} = correlação entre as demanda médias dos fornecedores i e l ;

$c_{T_{ij}}$ = custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor i e o centro de distribuição j ;

4.6.2. Variáveis de saída, de resposta ou variáveis dependentes

As variáveis de saída definem as respostas do modelo cujo comportamento se pretende analisar. Devem, portanto, orientar a tomada de decisão gerencial levantada para o problema. Definem-se os seguintes dados de saída com suas respectivas notações:

W_{ij} = proporção da demanda média do fornecedor i atendida pelo centro de distribuição j , tal que $0 \leq W_{ij} \leq 1$.

$CT_{\text{Ressup.}}$ = custo total de ressuprimento;

$CT_{\text{ME/CP}}$ = custo total de manutenção de estoques de ciclo e colocação de pedidos;

CT_{MES} = custo total de manutenção de estoques de segurança;

$CT_{\text{Dist.}}$ = custo total de distribuição;

CT_{Rede} = custo total da rede logística.

O Quadro 7 resume todas as definições de dados de entrada e saída para o modelo, a notação definida e a unidade a ser considerada:

Variável	Tipo	Notação	Unidade
Custo unitário de colocação de pedido no CD j	Entrada	c_{cpj}	R\$/pedido
Custo unitário de manutenção de estoques no CD j	Entrada	c_{mj}	R\$/ton/dia
<i>Lead-time</i> médio de ressuprimento no CD j	Entrada	Lt_j	dias
Desvio-padrão do <i>Lead-time</i> médio de ressuprimento no CD j	Entrada	σ_{Lt_j}	dias
Custo unitário e diário de ressuprimento da usina para os CDs	Entrada	c_r	R\$/ton/dia
Nível de serviço no CD j	Entrada	k_j	n de desvios
Demanda média do fornecedor i	Entrada	D_i	ton/dia
Desvio-padrão da demanda do fornecedor i	Entrada	σ_{D_i}	ton/dia
Correlação entre as demanda médias dos fornecedores i e l	Entrada	ρ_{il}	adimensional
Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor i e o CD j	Entrada	$c_{T_{ij}}$	R\$/ton
Proporção da demanda média do fornecedor i atendida pelo CD j	Saída	W_{ij}	Adimensional
Custo total de ressuprimento	Saída	$CT_{\text{Ressup.}}$	R\$
Custo total de manutenção de estoques de ciclo e colocação de pedidos	Saída	$CT_{\text{ME/CP}}$	R\$
Custo total de manutenção de estoques de segurança	Saída	CT_{MES}	R\$
Custo total de distribuição	Saída	$CT_{\text{Dist.}}$	R\$
Custo total da rede logística	Saída	CT_{Rede}	R\$

Quadro 7 - Síntese das variáveis do modelo

4.6.3. Modelo de programação não-linear

É apresentado nesta seção o modelo matemático para abordagem ao problema dessa dissertação.

As seguintes premissas foram consideradas na modelagem:

- a. a usina têm sua localização fixa e predeterminada;
- b. os fornecedores têm sua localização fixa e predeterminada;
- c. as possíveis localidades dos CDs são pré-determinadas e finitas;
- d. o número de CDs é finito e no máximo igual ao número de possíveis localidades;
- e. há somente um produto a ser transportado e estocado na rede;
- f. as demanda dos fornecedores são variáveis aleatórias independentes, com correlação e desvios-padrão diferentes de zero;
- g. os *Lead-times* de ressuprimento entre a usina e os CDs são variáveis aleatórias independentes, com desvio-padrão diferente de zero;
- h. os fornecedores podem ser servidos por mais de um CD, ou seja, pode haver *cross-filling*;
- i. são considerados os estoques de ciclo e estoques de segurança nos CDs;
- j. não são considerados estoques para a usina e fornecedores;
- k. são considerados os níveis de serviço requeridos por cada fornecedor na forma de um fator de segurança que garante determinada probabilidade de não ocorrência de *stock-outs*. Além disso, o fator é o mesmo para todos os CDs;
- l. é assumido um modelo de gestão de estoques nos CDs do tipo LEC (Lote Econômico de Compra) / PP (Ponto de Pedido);
- m. os custos unitários de ressuprimento são função do *Lead-time* da usina para cada CD, sendo medidos em R\$/unidade/dia;
- n. os custos unitários de transporte entre os CDs e os fornecedores dependem das distâncias entre os mesmos. Eles são medidos em R\$/tonelada.

A solução propriamente dita do problema se constitui na minimização do custo total da rede, sujeito às restrições de demanda dos fornecedores, cuja equação é dada por:

$$CT_{\text{Rede}} = CT_{\text{Ressup.}} + CT_{\text{Dist.}} + CT_{\text{ME/CP}} + CT_{\text{MES}} \quad (4.2)$$

onde:

- CT_{Rede} = custo total da rede;
- $CT_{\text{Ressup.}}$ = custo de ressuprimento dos CDs;
- $CT_{\text{Dist.}}$ = custo de distribuição para os fornecedores;
- $CT_{\text{ME/CP}}$ = custo de manutenção dos estoques de ciclo e de colocação de pedidos;
- CT_{MES} = custo de manutenção dos estoques de segurança.

A variável de decisão do modelo é tal que:

W_{ij} = proporção da demanda média do fornecedor i atendida pelo CD j , tal que $0 \leq W_{ij} \leq 1$.

A função-objetivo do problema de programação não-linear é dada pela equação:

$$\begin{aligned} \text{Min } CT_{\text{Rede}} = & \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_r L_{tj} W_{ij} D_i + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_{Tij} W_{ij} D_i + \\ & \sum_{j=1}^m \sqrt{2c_{cpj} c_{mj} \sum_{i=1}^n W_{ij} D_i} \\ & + \sum_{j=1}^m k_j c_{mj} \sqrt{L_{tj} \left(\sum_{i=1}^n W_{ij}^2 \sigma_{Di}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^{i-1} W_{ij} W_{lj} \rho_{il} \sigma_{Di} \sigma_{Dl} \right) + \sigma_{L_{tj}}^2 \left(\sum_{i=1}^n W_{ij} D_i \right)^2} \quad (4.3) \end{aligned}$$

sujeita a seguinte restrição:

$$\sum_{j=1}^m W_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (4.4)$$

onde:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_r L_{tj} W_{ij} D_i \quad (4.5)$$

é o custo de ressuprimento dos centros de distribuição,

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_{Tij} W_{ij} D_i \quad (4.6)$$

é o custo de distribuição para os fornecedores,

$$\sum_{j=1}^m \sqrt{2c_{cpj} c_{mj} \sum_{i=1}^n W_{ij} D_i} \quad (4.7)$$

é o custo de manutenção de estoques de ciclo e de colocação de pedidos,

$$\sum_{j=1}^m k_j c_{mj} \sqrt{L_{tj} \left(\sum_{i=1}^n W_{ij}^2 \sigma_{Di}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^{i-1} W_{ij} W_{lj} \rho_{il} \sigma_{Di} \sigma_{Dl} \right) + \sigma_{L_{tj}}^2 \left(\sum_{i=1}^n W_{ij} D_i \right)^2} \quad (4.8)$$

é o custo de manutenção dos estoques de segurança.

A restrição 4.4 garante que toda a demanda dos fornecedores seja atendida, ou seja, que o somatório da proporção da demanda média de cada fornecedor atendida pelos CDs seja igual a 1.

4.7. VALIDAÇÃO DO MODELO

Validação é o processo de checagem dos resultados iniciais do modelo em relação a situações já conhecidas. Este é um importante passo final antes que os resultados do modelo sejam utilizados como suporte à decisões reais. Tudo que a validação precisa fazer é verificar se o comportamento do modelo e do mundo real ocorre sob as mesmas condições. Se sim, o modelo é válido. Se não, o modelo não é válido.

Em função do problema se tratar do planejamento de uma nova rede logística, esta não existe. Desta forma a validação do modelo foi realizada na cadeia logística atual formada por uma usina e um fornecedor, ou seja, considerado uma cadeia de 2 elos.

A validação do modelo matemático estudado foi realizada por meio de duas técnicas: a validação qualitativa e a quantitativa. A validação qualitativa foi realizada

por meio de validações subjetivas de desempenho como testes de campo e análises de sensibilidade, enquanto que a validação quantitativa foi realizada por meio de técnicas estatísticas para comparar o modelo com casos práticos de teste.

Na validação quantitativa foi encontrado um erro entre o valor real e o calculado por meio do modelo matemático de aproximadamente 11%, o que foi considerado um resultado satisfatório.

4.8. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

O modelo de programação não-linear apresentado na seção 4.9, baseado no modelo de Montebeller Junior (2009), foi implementado no software AIMMS (*Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software*) na versão 3.10 desenvolvido pela empresa Paragon Decision Technology., sendo que a solução ótima foi obtida em um tempo de processamento de 0,72 segundos

Uma característica que torna o modelo matemático particularmente complexo é o fato de ser não-linear. Esta particularidade exige um esforço computacional maior para resolução do modelo do que quando comparado a modelos lineares convencionais. Outro ponto de preocupação em relação à resolução do modelo consiste nas condições de otimalidade da solução. As condições de otimalidade global (mínimo global) de um problema de programação matemática estão condicionadas às premissas adequadas de convexidade do problema. A função objetivo 4.3 do modelo proposto apresenta componentes de custos côncavos (raiz quadrada), tornando em teoria a obtenção da solução ótima global mais complicada.

O *software* apresenta poderosas rotinas de cálculo que garantem que os mínimos globais sejam encontrados. Mais especificamente, a rotina LGO 1.0 (*Lipschitz-continuous Global Optimizer*), desenvolvida pela empresa Pinter Consulting Services é utilizada pelo AIMMS para resolver problemas não-lineares e foi empregada para a otimização dos cenários apresentados.

Para a implementação do modelo, primeiramente foi necessário declarar os Conjuntos (*Sets*) que são os índices dos CDs e fornecedores. Em seguida, foram declarados os Parâmetros (*Parameters*) que representam os valores das variáveis

de entrada e saída. Os Parâmetros podem ser indexados pelos Conjuntos, representando assim características dos elementos presentes nestes últimos (por exemplo, demandas médias dos mercados ou *lead-times* de ressuprimento dos CDs). Foram ainda declaradas as Variáveis (*Variables*) propriamente ditas, que são calculadas pelas rotinas de otimização. No modelo em questão, elas são W_{ij} , CT_{Ressup} , CT_{Dist} , $CT_{ME/CP}$, CT_{MES} e CT_{Rede} .

Finalmente o Problema Matemático (*Mathematical Problem*) deve ser declarado, onde se especificam a função objetivo (CT_{Rede}) e o tipo de programação matemática utilizada. Isto feito, e com todos os valores das variáveis de entrada carregados no programa, a otimização pôde ser realizada. O passo seguinte foi o carregamento dos valores das variáveis de entrada e a coleta das variáveis de saída por meio do *software* MS EXCEL™. O código para a otimização na linguagem do *software* AIMMS está apresentado no ANEXO B.

4.9. ANÁLISES DE RESULTADOS E DE SENSIBILIDADE

Nesta seção são apresentados os resultados referentes à aplicação do modelo matemático de localização de centros de distribuição ao escopo delimitado na seção 4.9.3 junto a Empresa Pesquisada (EP). São ainda descritos os testes de cenários realizados através da variação controlada de alguns parâmetros para avaliação do comportamento do modelo.

4.9.1. Análise de resultados

Nesta seção são apresentados os resultados referentes ao estudo de caso da EP apresentado no capítulo 4 deste trabalho. O *software* AIMMS encontrou satisfatoriamente a configuração da rede que proporcionava o valor mínimo global do custo total da rede. De acordo como o modelo de otimização e com as premissas adotadas, a configuração da rede logística adequada seria composta por dois centros de distribuição, localizados no município da Serra e em Guarulhos. Em relação a configuração atual, os resultados propõem a abertura de dois centros de distribuição. Vale frisar que o referido modelo não considera os custos de abertura

de um CD. A política de atendimento aos fornecedores pelos centros de distribuição está apresentada no Quadro 8.

CENÁRIO OTIMIZADO			W_{ij} Ótimo					
			CD j					
			Diadema	Guarulhos	Jundiaí	Serra	Sumaré	Viana
			1	2	3	4	5	6
Fornecedor i	Diadema	1		1				
	Guarulhos	2		1				
	Jundiaí	3		1				
	Serra	4				1		

Quadro 8 - Configuração otimizada da rede logística

Esse conjunto de variáveis traz consigo duas informações importantes sobre a configuração da rede. A primeira delas é a informação sobre quais CDs foram abertos. Se um ou mais valores na linha correspondente a um CD forem diferentes de zero, isso indica que tal armazém foi aberto. A segunda informação diz respeito à proporção da demanda de um fornecedor alocada a um dado CD aberto. Na coluna correspondente a um determinado fornecedor, os valores das células indicam a proporção da demanda de tal mercado servida por cada armazém, variando de zero (indicando que o CD não serve o fornecedor) a um (indicando que o CD atende toda a demanda do fornecedor). A soma dos valores das linhas deve ser igual a 1, de acordo com a restrição (4.4) do modelo proposto de que toda a demanda dos fornecedores deve ser servida.

Esta configuração mostra a existência de uma política centralizada de estoque no atendimento aos fornecedores localizados no Estado de São Paulo por meio de um CD localizado em Guarulhos. Já em relação fornecedor localizado no Estado do Espírito Santo, no município da Serra, seria necessária a abertura de um CD localizado neste mesmo município. O parâmetro custo de transporte na distribuição entre o CD e o fornecedor localizado em Serra foi o fator decisivo na escolha do CD também localizado em Serra.

A configuração obtida apresenta um custo logístico total R\$ 3.191.000,00, sendo que 74% deste custo é representado pelo custo de manutenção de estoque. Os valores totais de cada um dos custos estão apresentados no Gráfico 4.

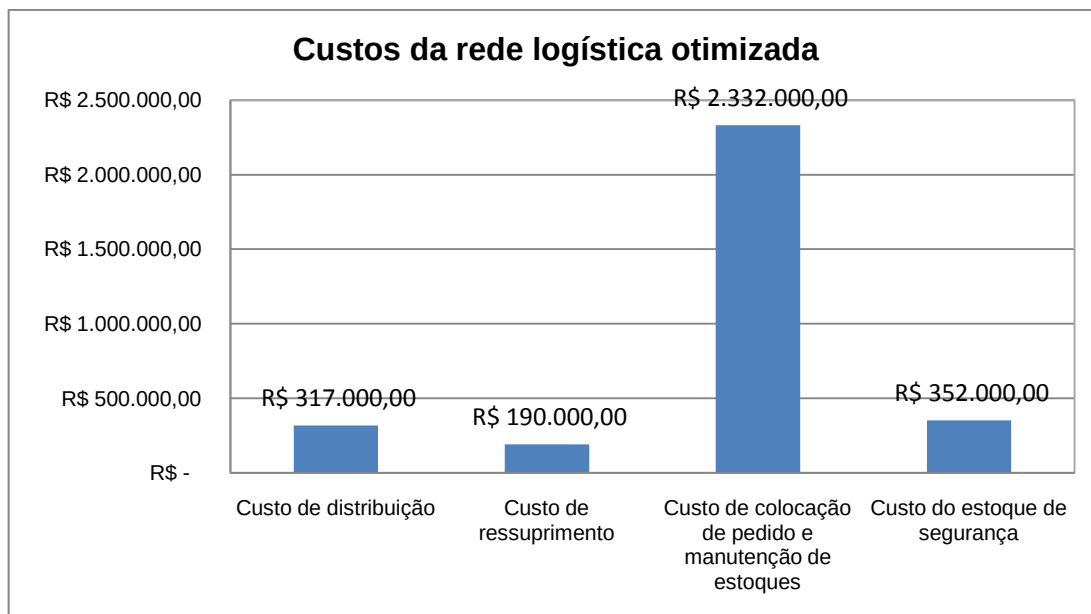


Gráfico 4 – Valores dos custos totais otimizados pelo modelo matemático

Desta forma, as duas primeiras questões de pesquisa (a) e (b) foram respondidas. A primeira delas referente a quantidade de centros de distribuição adequada para a rede logística apresentada e a outra referente ao melhor local para cada dos centros de distribuição.

A terceira e última questão de pesquisa (c) referente à influência dos principais parâmetros de entrada do problema nos componentes de custo da rede apresenta-se respondida na seção a seguir.

4.9.2. Análise de sensibilidade

Esta seção tem a intenção de descrever o comportamento do modelo sob diversas condições operacionais, visando responder a questões do tipo *what-if* e analisar os resultados obtidos. Das e Tyagi (1997) desenvolveram em seu trabalho uma análise segmentada do impacto dos diferentes fatores de custo da função objetivo.

Para isso, são considerados cenários através da variação controlada de alguns parâmetros. Tal variação terá como referência os valores base calculados para o estudo de caso apresentado.

Foram desenvolvidos três cenários, todos eles relevantes para a tomada de decisão de um problema de localização de CDs e definidos em conjunto com a Empresa Pesquisada:

- Variação da demanda;
- Variação do custo de colocação de pedido e de manutenção de estoque;
- Variação do custo de ressuprimento, *lead-time* de ressuprimento e custo de transporte na distribuição.

Os três cenários envolvem 12 simulações conforme apresentado no Quadro 9.

Parâmetros Variados	Variação dos Parâmetros			
Demanda dos fornecedores	- 60%	- 30%	+ 30%	+ 60%
Custo de colocação de pedidos e de manutenção de estoque				
Custo e lead time de ressuprimento e custo de transporte na distribuição				

Quadro 9 - Plano de simulação

Visando uma ilustração mais sintetizada dos resultados do modelo para cada simulação, convencionou-se a notação apresentada no Quadro 10 para identificar a configuração da rede logística.

NOTAÇÃO			Centros de Distribuição j					
			Diadema	Guarulhos	Jundiaí	Serra	Sumaré	Viana
$i \setminus j$			1	2	3	4	5	6
Fornecedor i	Diadema	1	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)	(1,6)
	Guarulhos	2	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)	(2,6)
	Jundiaí	3	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)	(3,6)
	Serra	4	(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)	(4,5)	(4,6)

Quadro 10 – Notação de configuração da rede logística

O par ordenado (i,j) representa o que o fornecedor i é atendido pelo CD j . Exemplo: uma solução do tipo (1,2); (2,2); (3,2) e (4,2) representa a decisão do modelo em centralizar o estoque, ou seja, o atendimento a todos os fornecedores está centralizado no CD localizado em Guarulhos.

A seguir são analisados os cenários propostos nesta pesquisa:

Cenário 1 – Demanda média dos fornecedores (D_i)

Pretende-se analisar como se comporta a solução do modelo apenas tendo em vista a demanda média dos fornecedores. Foram analisadas várias alterações em relação na demanda atual, tanto de redução como de aumento (60%, - 30%, + 30% e + 60%). Os fatores de alteração de demanda utilizados foram aplicados igualmente ao parâmetro analisado.

Para a análise referente ao crescimento de 30% na demanda, não são necessários investimentos, porém para o crescimento de 60%, investimentos serão necessários, pois o parque fabril instalado não suporta tal acréscimo de produtividade. A tabela 14 resume os resultados obtidos com a variação controlada dos valores da demanda.

Tabela 14 - Respostas para simulações do cenário 1

Variação	- 60%	- 30%	+ 30%	+ 60%
Custo de distribuição	R\$ 148.990,00	R\$ 247.260,00	R\$ 424.780,00	R\$ 548.410,00
Custo de ressuprimento	R\$ 89.300,00	R\$ 148.200,00	R\$ 254.600,00	R\$ 328.700,00
Custo de colocação de pedido e manutenção de estoques	R\$ 1.445.840,00	R\$ 1.935.560,00	R\$ 2.775.080,00	R\$ 3.101.560,00
Custo do estoque de segurança	R\$ 235.840,00	R\$ 306.240,00	R\$ 401.280,00	R\$ 202.450,00
Custo total	R\$ 1.919.970,00	R\$ 2.637.260,00	R\$ 3.855.740,00	R\$ 4.181.120,00
Localização CD	(1,2); (2,2); (3,2); (4,4)	(1,2); (2,2); (3,2); (4,4)	(1,2); (2,2); (3,2); (4,4)	(1,2); (2,2); (3,2); (4,2)

Com a variação de + 60% nos valores da demanda, ocorreu a centralização total do estoque no CD localizado em Guarulhos, ou seja, este centro de distribuição ficaria responsável por servir todos os fornecedores. O Quadro 11 ilustra a localização ótima para o cenário 1, considerando a variação positiva de 60%.

VARIAÇÃO: + 60%			Centros de Distribuição <i>j</i>					
			Diadema	Guarulhos	Jundiaí	Serra	Sumaré	Viana
		<i>i \ j</i>	1	2	3	4	5	6
Fornecedor <i>i</i>	Diadema	1		1				
	Guarulhos	2		1				
	Jundiaí	3		1				
	Serra	4		1				

Quadro 11 - W_{ij} ótimos para o cenário 1 com a variação de + 60% no parâmetro

Com as variações de - 60%, - 30% e + 30%, a configuração da rede logística permaneceu a mesma apresentada no estudo de caso, ou seja, os fornecedores de São Paulo atendidos pelo CD de Guarulhos e o fornecedor da Serra atendido pelo CD também localizado na Serra. As proporções das demandas dos mercados atendidas pelos CDs abertos são mostradas no Quadro 12.

VARIAÇÃO: - 60%, - 30%, + 30%			Centros de Distribuição <i>j</i>					
			Diadema	Guarulhos	Jundiaí	Serra	Sumaré	Viana
<i>i \ j</i>			1	2	3	4	5	6
Fornecedor <i>i</i>	Diadema	1		1				
	Guarulhos	2		1				
	Jundiaí	3		1				
	Serra	4				1		

Quadro 12 - Wj ótimos para o cenário 1 com a variação de - 60%, - 30% e + 30% no parâmetro

É apresentada na Tabela 15 a proporção dos componentes de custo da função objetivo em relação aos valores base, calculados para a variação de parâmetro do cenário 1.

Tabela 15 - Proporção dos componentes de custo para o cenário 1

PROPORÇÃO DOS CUSTOS EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO DOS VALORES BASE - CENÁRIO 1				
Componente de Custo	- 60%	- 30%	+ 30%	+ 60%
Custo de distribuição	47%	78%	134%	173%
Custo de ressuprimento	47%	78%	134%	173%
Custo de colocação de pedido e manutenção de estoques	62%	83%	119%	133%
Custo do estoque de segurança	67%	87%	114%	58%
Custo total	60%	83%	121%	131%

Pode-se perceber, em função da centralização do estoque, a redução do custo total do estoque de segurança, representando 58% do custo total do estoque de segurança considerando os valores base.

Cenário 2 – Custo unitário de colocação de pedido nos CDs (c_{cpj}) e Custo unitário de manutenção de estoques nos CDs (c_{mj})

Neste cenário, pretende-se analisar como se comporta a solução do modelo tendo em vista os custos de colocação de pedido e o custo de manutenção de estoques. Foram analisadas várias alterações, tanto de redução como de aumento (- 60%, - 30%, + 30% e + 60%). Os fatores de alteração utilizados foram aplicados igualmente aos parâmetros analisados. As Tabelas 16 e 17 resumem os resultados obtidos, com a variação conjunta e controlada dos parâmetros citados.

Tabela 16 - Respostas para simulações do cenário 2

Variação	- 60%	- 30%	+ 30%	+ 60%
Custo de distribuição	R\$ 139.500,00	R\$ 232.000,00	R\$ 417.000,00	R\$ 498.000,00
Custo de ressurgimento	R\$ 79.800,00	R\$ 134.900,00	R\$ 245.100,00	R\$ 319.200,00
Custo de colocação de pedido e manutenção de estoques	R\$ 1.026.080,00	R\$ 1.562.440,00	R\$ 3.101.560,00	R\$ 3.404.720,00
Custo do estoque de segurança	R\$ 259.424,00	R\$ 336.864,00	R\$ 401.280,00	R\$ 440.000,00
Custo total	R\$ 1.504.804,00	R\$ 2.266.204,00	R\$ 4.164.940,00	R\$ 4.661.920,00
Localização CD	(1,1); (1,2); (2,2); (3,2); (4,4)	(1,1); (1,2); (2,2); (3,2); (4,4)	(1,1); (1,2); (2,2); (3,2); (4,4)	(1,2); (2,2); (3,2); (4,2)

Tabela 17 - Proporção dos componentes de custo para o cenário 2

PROPORÇÃO DOS CUSTOS EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO DOS VALORES BASE - CENÁRIO 2				
Componente de Custo	- 60%	- 30%	+ 30%	+ 60%
Custo de distribuição	44%	73%	132%	157%
Custo de ressurgimento	42%	71%	129%	168%
Custo de colocação de pedido e manutenção de estoques	44%	67%	133%	146%
Custo do estoque de segurança	74%	96%	114%	125%
Custo total	47%	71%	131%	146%

Com o aumento do custo de colocação de pedidos e do custo de manutenção de estoque, a tendência de solução padrão nesse cenário é de centralizar os estoques de ciclo, visando obtenção de ganhos de escala. Nota-se que à medida que o valor do parâmetro aumenta, o sistema tende a aumentar a centralização de estoques no CD localizado em Guarulhos. O Quadro 13 ilustra a localização ótima para o cenário 2, considerando as variações dos parâmetros de: - 30%, + 30% e + 60%.

VARIAÇÃO: - 30%, + 30% e + 60%			Centros de Distribuição <i>j</i>					
			Diadema	Guarulhos	Jundiaí	Serra	Sumaré	Viana
<i>i \ j</i>			1	2	3	4	5	6
Fornecedor <i>i</i>	Diadema	1		1				
	Guarulhos	2		1				
	Jundiaí	3		1				
	Serra	4		1				

Quadro 13 - W_{ij} ótimos para o cenário 2 com a variações dos parâmetros de - 30%, + 30% e + 60%

Quando a redução dos parâmetros foi negativa de 60%, favoreceu a política descentralizada do estoque, com a pulverização da demanda por mais de um CD, sendo abertos os CD localizados em Diadema, Guarulhos e Serra. Tal descentralização é favorecida em virtude do custo de abertura do CD não ser considerada no modelo de Montebeller Junior (2009). Ocorreu ainda o aparecimento da política de *cross-filling*, onde o fornecedor localizado em Diadema foi servido por dois CD, um localizado em Diadema e responsável por servir 40% da demanda deste fornecedor e outro CD localizado em Guarulhos e responsável por servir 60%

da demanda deste fornecedor. As proporções das demandas dos mercados atendidas pelos CDs abertos são mostradas no Quadro 14.

VARIAÇÃO: - 60%			Centros de Distribuição j					
			Diadema	Guarulhos	Jundiaí	Serra	Sumaré	Viana
$i \setminus j$			1	2	3	4	5	6
Fornecedor i	Diadema	1	0,4	0,6				
	Guarulhos	2		1				
	Jundiaí	3		1				
	Serra	4				1		

Quadro 14 - W_{ij} ótimos para o cenário 2 com a variação de - 60% no parâmetro

O custo de manutenção de estoques, segundo Wanke e Saliby (2009), reflete o valor dos produtos armazenados, sendo que altos custos de manutenção de estoques representam produtos de alto valor, e vice-versa. Assim, as informações obtidas em relação aos custos de manutenção de estoques indicam que produtos de alto valor favorecem a política de centralização total, devendo ser preferencialmente centralizados em um único CD.

Cenário 3 – Custo unitário e diário de ressuprimento da usina para os CDs (c_r), *lead-time* médio de ressuprimento para os CDs (Lt_j) e custo unitário de transporte na distribuição entre fornecedores e CDs ($c_{T_{ij}}$)

Neste cenário, pretende-se analisar como se comporta a solução do modelo tendo em vista os custos de ressuprimento, os *lead-times* médios de ressuprimento e o custo de transporte na distribuição. Foram analisadas várias alterações, tanto de redução como de aumento (- 60%, - 30%, + 30% e + 60%). Os fatores de alteração utilizados foram aplicados igualmente aos parâmetros analisados. As Tabelas 18 e 19 resumem os resultados obtidos, com a variação conjunta e controlada dos parâmetros citados.

Tabela 18 – Respostas para simulações do cenário 3

Variação	- 60%	- 30%	+ 30%	+ 60%
Custo de distribuição	R\$ 180.690,00	R\$ 244.090,00	R\$ 386.740,00	R\$ 424.780,00
Custo de ressuprimento	R\$ 91.200,00	R\$ 134.900,00	R\$ 243.200,00	R\$ 266.000,00
Custo de colocação de pedido e manutenção de estoques	R\$ 1.958.000,00	R\$ 2.154.000,00	R\$ 2.623.000,00	R\$ 2.854.000,00
Custo do estoque de segurança	R\$ 179.520,00	R\$ 271.040,00	R\$ 418.880,00	R\$ 506.880,00
Custo total	R\$ 2.409.410,00	R\$ 2.804.030,00	R\$ 3.671.820,00	R\$ 4.051.660,00
Localização CD	(1,5); (2,5); (3,5); (4,5)	(1,2); (2,2); (3,2); (4,4)	(1,2); (2,2); (3,2); (4,4)	(1,2); (2,2); (3,2); (4,4)

Tabela 19 - Proporção dos componentes de custo para o cenário 3

PROPORÇÃO DOS CUSTOS EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO DOS VALORES BASE - CENÁRIO 3				
Componente de Custo	- 60%	- 30%	+ 30%	+ 60%
Custo de distribuição	57%	77%	122%	134%
Custo de ressuprimento	48%	71%	128%	140%
Custo de colocação de pedido e manutenção de estoques	84%	92%	112%	122%
Custo do estoque de segurança	51%	77%	119%	144%
Custo total	76%	88%	115%	127%

O custo total da rede logística cresce com a variação positivas dos parâmetros analisados e decresce com a redução dos mesmos. Percebe-se uma redução quase que linear dos custos de distribuição em relação à redução no valor dos parâmetros em 60%. Neste caso o custo de distribuição decresceu em 57%.

Com a variação de - 60% nas variações dos parâmetros, percebe-se que a localização dos CDs tendem a se centralizar em Sumaré. Essa informação é explicada por três fatores: custos de ressuprimento e do *lead-time* de ressuprimento sofrerem a mesma variação; *lead-time* da usina até o CD localizado em Sumaré ser nulo; e pelos custos com transporte até os fornecedores localizados no Estado de São Paulo (Diadema, Guarulhos e Jundiaí), responsáveis por 81% da demanda, serem pequenos. O Quadro 15 ilustra a localização ótima para o cenário 3, considerando a variação negativa de 60%.

VARIAÇÃO: - 60%			Centros de Distribuição <i>j</i>					
			Diadema	Guarulhos	Jundiaí	Serra	Sumaré	Viana
		<i>i \ j</i>	1	2	3	4	5	6
Fornecedor <i>i</i>	Diadema	1					1	
	Guarulhos	2					1	
	Jundiaí	3					1	
	Serra	4					1	

Quadro 15 - W_{ij} ótimos para o cenário 3 com a variação de - 60% nos parâmetros

Com a variação de - 30%, o reduzido custo de transporte de distribuição contribui para a abertura do CD localizado em Serra com atendimento exclusivo ao fornecedor desta mesma localidade. A variação positiva (+ 30% e + 60%) aumenta o custo total da rede logística e não interfere na localização dos CDs em relação à condição ótima apresentada no estudo de caso. O Quadro 16 ilustra a localização ótima para o cenário 3, considerando a variação negativa de 30% e as variações positivas de 30% e 60%.

VARIAÇÃO: - 30%, + 30% e + 60%			Centros de Distribuição <i>j</i>					
			Diadema	Guarulhos	Jundiaí	Serra	Sumaré	Viana
<i>i \ j</i>			1	2	3	4	5	6
Fornecedor <i>i</i>	Diadema	1		1				
	Guarulhos	2		1				
	Jundiaí	3		1				
	Serra	4				1		

Quadro 16 - W_{ij} ótimos para o cenário 3 com a variação de - 60%, + 30% e + 60% nos parâmetros

Uma vez que na política de centralização total os armazéns abertos apresentam menor *lead-time*, é coerente se esperar que os custos de ressuprimento também sejam menores nessa política, corroborando as observações de Tyagi e Das (1997). Isso indica que os fornecedores também foram alocados aos armazéns abertos em se considerando sua proximidade aos mesmos, o que resulta em menores custos de transporte. Apesar do clássico *trade-off* existente entre os custos de ressuprimento e distribuição nas duas políticas, o custo total de transporte foi menor na política de centralização total (variação de - 60%).

Assim, a terceira e última questão de pesquisa (c) referente à influência dos principais parâmetros de entrada do problema nos componentes de custo da rede apresenta-se respondida.

5 CONCLUSÃO

Apresentam-se neste capítulo as conclusões finais quanto aos objetivos e resultados alcançados pelo presente estudo, suas limitações, além de sugestões para trabalhos futuros.

5.1. QUANTO AOS OBJETIVOS

Foi proposta nesta dissertação uma abordagem quantitativa por meio de um modelo de programação matemática utilizado na reorganização de uma rede logística estabelecida, a fim de determinar a quantidade e a localização de um ou mais centros de distribuição que minimize os custos totais associados à cadeia de suprimento. Para isso foi proposto um método de análise para o problema de localização de instalações, além de terem sido analisadas a influência dos custos envolvidos e realizadas algumas variações de parâmetros como forma aferir a sensibilidade sobre as respostas do modelo.

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, foram desenvolvidos cinco objetivos específicos. O primeiro objetivo específico (OE 1) foi de identificar e elaborar o referencial teórico aderente ao estudo. Desta forma foram apresentados os conceitos de Logística, Cadeia de Suprimentos e Gestão da Cadeia de Suprimentos e a respectiva evolução de conceito na última década. Em seguida foi abordado o conceito de planejamento logístico, assim como as bases que giram em torno de uma rede logística otimizada: estratégia de estoque, de transporte e de localização. A consideração de questões de estoque, transporte e localização no modelo proposto está em acordo com os fundamentos de logística empresarial, que considera o conjunto dessas três decisões integradas fundamental para um bom planejamento de redes logísticas. Foram ainda apresentados os tipos de modelos matemáticos e a função dos mesmos na análise de um fenômeno. Por fim, a importância da localização de instalações na competitividade de uma cadeia de suprimentos foi demonstrada, assim como foram apresentados os principais modelos de localização pesquisados.

O segundo objetivo específico (OE 2) permitiu planejar o estudo e propor a futuros pesquisadores uma metodologia de análise para o problema de localização de instalações, onde foi apresentado um fluxograma de um método de análise para localização composto por doze fases divididas em duas vertentes: uma empírica e outra teórica.

O terceiro objetivo específico (OE 3) possibilitou a escolha de um modelo matemático de localização de centros de distribuição a ser utilizado no estudo de caso real da Empresa Pesquisada. A pesquisa bibliográfica identificou que os modelos de desenho de redes de distribuição, consideram, na maioria das vezes, custos de transportes e custos de instalação; porém os custos de estoque são geralmente simplificados, seja por aproximações lineares ou premissas que não representam a realidade. Em vista disso, o modelo referencial adotado neste trabalho foi o de Montebeller Junior (2009), que embora demande um esforço computacional maior para resolução, se apresenta mais próximo à realidade do problema.

O quarto objetivo específico (OE 4) possibilitou a coleta e cálculo dos parâmetros de entrada e elaboração do modelo matemático que foi implementado no *software* AIMMS, um pacote computacional que permite a resolução de problemas não-lineares, por meio do qual foi utilizada uma rotina que garante soluções ótimas globais.

O quinto objetivo específico (OE 5) pode ser dividido em duas partes: uma referente a análise dos resultados obtidos no estudo de caso com os parâmetros reais do modelo e outra parte referente a análise de sensibilidade por meio de simulação de cenários.

Em relação aos resultados apresentados, o modelo de localização apresentou como configuração ótima a abertura de dois centros de distribuição, um localizado em Guarulhos e outro na cidade de Serra. Esta configuração apresentou um custo total da rede logística de R\$ 3.191.000,00.

Foram ainda realizadas doze simulações por meio de três cenários. Em cada um dos cenários os parâmetros apresentados tiveram os valores base (valores coletados junto a Empresa Pesquisada) variados ao mesmo tempo conforme os seguintes valores: - 60%, - 30%, + 30% e + 60%. Inicialmente, foi testado somente um parâmetro: a demanda de aço dos fornecedores. No segundo cenário, foram feitas alterações combinadas de parâmetros de forma a se compreender a influência dos mesmos nos resultados do modelo. A seguir foram testados dois parâmetros: o custo de colocação de pedido e o custo de manutenção de estoque. No terceiro e último cenário, também foram feitas alterações combinadas de parâmetros, porém foram testados três parâmetros: o custo de ressuprimento, o *lead-time* de ressuprimento e o custo de transporte na distribuição.

Percebeu-se que a política de *cross-filling* total, na qual todos os fornecedores seriam servidos por todos os CDs não foi observada em nenhum dos cenários, ao contrário do que foi observado por Ballou e Burnetas (2003), Wanke e Saliby (2009) e Wanke (2009) em seus estudos de redes mais simples. Ballou e Burnetas (2003) afirmam que tal política apresenta um *trade-off* intrínseco no que diz respeito aos estoques de segurança e de ciclo. Por um lado, ela proporciona reduções substanciais no nível do estoque de segurança agregado da rede. Entretanto, por outro lado ela pode proporcionar o maior nível de estoque de ciclo agregado da rede, já que a demanda total poderia estar dividida igualmente entre todos os CDs, caracterizando a condição necessária para a maximização dos estoques agregados de ciclo quando se utiliza o *LEC*. Além disso, tal política pode ter um efeito negativo em termos de custos de transporte quando comparada à política dos sistemas independentes, como observaram Ballou e Burnetas (2003) e Wanke e Saliby (2009). Esse efeito é facilmente compreendido, uma vez que todos os CDs devem receber ressuprimento e que há distribuição para todos os fornecedores a partir de todos os CDs.

Tais *trade-offs* parecem indicar que, quando se emprega o *cross-filling* total em redes de maior complexidade, os ganhos obtidos em termos de redução dos custos dos estoques de segurança não são suficientes para compensar os prejuízos ocorridos em termos dos custos dos estoques de ciclo, dos custos de ressuprimento

dos armazéns e dos custos de distribuição para os mercados, fazendo com que a política não possibilite a obtenção de resultados ótimos para o custo total da rede.

Assim, a presente pesquisa atingiu o objetivo geral apresentando a configuração logística de menor custo total por meio do modelo matemático de Montebeller Junior (2009) que foi simulado no software AIMMS e considerando as variáveis apresentadas no modelo o escopo delimitado nesse estudo.

Pode-se concluir que o estudo da localização de instalações é de extrema importância para as organizações, considerado um instrumento primordial para o planejamento de redes logísticas, possibilitando, por meio da minimização de riscos nas tomadas de decisões das empresas e por meio da melhora no nível de serviço, a obtenção de vantagem competitiva extremamente crucial para sua perpetuidade.

O problema de localização de instalações de uma forma otimizada é e sempre será um dos desafios mais complexos na arte do gerenciamento de uma cadeia de suprimentos. Existem diversos modelos de localização de instalações, porém nenhum deles é capaz de considerar todas as variáveis que impactam nesta decisão. A escolha do modelo deve se basear nas características da rede logística estudada, nas informações existentes, no conhecimento do pesquisador e no tempo dispensado para a análise.

A contribuição à Empresa Pesquisada na proposta de reorganização de sua rede logística foi alcançada com sucesso. Os maiores diferenciais do estudo na sua proposta de expandir o conhecimento científico da área estudada são:

- Utilização do modelo de localização de instalações de Montebeller Junior (2009) em um estudo de caso real;
- Proposição de um método de análise para localização de instalações;
- Elaboração de material para escolha de um software para otimização de problemas não lineares, tema com pouquíssimo material publicado;
- Incentivo ao estudo do tema localização de centros de distribuição.

5.2. LIMITAÇÕES DA PESQUISA E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Um fator limitante desta pesquisa está ligado ao modelo de localização de instalações que não considera os custos de abertura das instalações e nem as respectivas capacidades. Além disso, o modelo considera o mesmo valor de custos unitários de ressuprimento o mesmo para todas as instalações. Tais limitações originam também sugestões para trabalhos futuros: a consideração de custos de abertura das instalações, a consideração de capacidades para as instalações e/ou a consideração de custos unitários de ressuprimentos para cada uma das instalações.

Outra recomendação importante para a realização de trabalhos futuros com a utilização da modelagem aqui proposta é a implementação de técnicas computacionais (como métodos heurísticos) para resolução de instâncias de dimensões mais elevadas, de forma a se obter boas soluções em tempos de processamento razoáveis.

E por fim, outros aspectos que podem ser importantes na definição do desenho de uma rede logística são as questões fiscais. Os diferentes impostos poderiam ser tratados nos custos de transporte entre instalações da rede.

6 REFERÊNCIAS

AASTRUP, J.; HALLDÓRSSON, A. ***Epistemological role of case studies in logistics: A critical realist perspective***. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 38, n. 10, p. 746-763, 2008.

AMBROSINO, D; SCUTELLÀ, M. G. ***Distribution Network Design: New Problems and Related Models***. *European Journal of Operational Research*, v. 165, p. 610-624, 2005.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007

BALLOU, R. H. ***DISPLAN: A Multiproduct Plant/Warehouse Location Model with Nonlinear Inventory Costs***. *Journal of Operations Management*, v. 5, n. 1, p. 75-80, 1984.

_____. ***Unresolved Issues in Supply Chain Network Design***. EUA: *Information System Frontiers*, 2001.

_____. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

_____; BURNETAS, A. ***Planning Multiple Location Inventories***. *Journal of Business Logistics*, v. 14, n. 2, p. 65-89, 2003.

_____; MASTERS, J. M. ***Commercial software for locating warehouses and other facilities***. *Journal of Business Logistics*, v. 14, n. 2, p. 71-107, 1993.

BARQUETE, A. V. **Avaliação da melhor localização do sistema de mistura em linha de diesel da REDUC**. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2008.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2002.

BERTAGLIA, P. R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2003.

BHUTTA, K. S.; HUQ, F.; FRAZIER, G.; MOHAMED, Z. ***An Integration Location, Production, Distribution and Investment Model for a Multinational Corporation***. *International Journal of Production Economics*, v. 86, p. 201-216, 2003.

BHUTTA, K. S. ***International Facility Location Decisions: a review of the modeling literature***. *International Journal of Integrated Supply Management*, v. 1, n. 1, 2004.

BITTENCOURT, M. A. P. **Componentes de um Sistema Computacional para Análise de Sistemas Logísticos**. 2005. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2005.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; **Logística Empresarial: O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.

_____; _____; COOPER, M. B. **Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BRAKLOW, J. W.; GRAHAM, W. W.; HASSLER, S. M.; PECK, K. E.; POWELL, W. B. ***Interactive optimization improves service e performance for yellow freight system***. *Interfaces*, v. 21, n. 1, p. 147-172, 1992.

BRAMEL, J.; SIMCHI-LEVI, D. ***The Logic of Logistic***. New York: Springer, 1997.

BRANDEAU, M. L.; CHIU, S. S. ***An Overview of Representative Problems in Location Research***. *Management Science*, v. 35, n. 6, p. 645-674, 1989.

BRITO JUNIOR, I. **Análise do impacto logístico de diferentes regimes aduaneiros no abastecimento de itens aeronáuticos empregando modelo de transbordo multiproduto com custos fixos.** 2004. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CARDOSO, P. A. **O PRINCÍPIO DA POSTERGAÇÃO:** um estudo das tintas na indústria de embalagens gráficas. 2002. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

CHRISTOPHER, M. **A Logística do Marketing:** Otimizando processos para aproximar fornecedores e clientes. 2. ed. São Paulo: Futura, 2000.

_____. **Logistics and supply chain management: creating value-adding networks.** 3rd ed. Harlow: Financial Times Prentice Hall, 2005.

CHURCH, R, L; REVELLE, C. S. **The Maximal Covering Location Problem.** Papers of the Regional Science Association, v. 32, p. 101-118, 1974.

CIGOLINI, R.; COZZI, M.; PERONA, M. **A new framework for supply chain management – Conceptual model and empirical test.** *International Journal of Operations & Production*, 2004.

CROXTON, K. L.; ZINN, W. **Inventory Considerations in Network Design.** *Journal of Business Logistics*, v. 26, p. 149-168, 2005.

DAS, C.; TYAGI, R. **Role of inventory and Transportation Costs in Determining the Optimal Degree of Centralization.** *Transportation Research Part E*, v. 33, p. 171-179, 1997.

DAVARIZ, R. C. **Procedimento para Análise de Rede Logística.** 2006. 133 p. Dissertação (Mestrado). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro 2006.

EVERS, P. T. **Expanding the Square Root Law: An analysis of both safety and cycle stocks.** *Logistics and Transportation Review*, v. 3, n. 1, p. 1-20, 1995.

_____; BEIER, F. J. **The Portfolio Effect and Multiple Consolidation Points: A Critical Assessment of the Square Root Law.** *Journal of Business Logistics*, v. 14, n. 2, p. 109-125, 1993.

FARLEY, A. M. **Vertex Centers of Trees.** *Transportation Science*, v. 16, p. 265-280, 1982.

FERREIRA FILHO, V. J. M.; IGNACIO, A. A. V. **O uso de software de modelagem AIMMS na solução de problemas de programação matemática.** *Pesquisa Operacional*, v. 24, n. 1, p. 197-210, 2004.

FIGUEIREDO, R. M. A. **Um estudo de localização de “hubs” no transporte aéreo de cargas brasileiro.** 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

FLEURY, P. F. **Logística Empresarial a Perspectiva Brasil.** Rio de Janeiro: Atlas, 2000.

FRANCIS, R. L.; MCGINNIS JR, L. F.; WHITE, J. A. **Facility Layout and Location: An Analytical Approach.** 2nd Ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1992

GARFINKEL, R. S.; NEEBE, A. W.; RAO, M. R. **The m-Center Problem: Minimax Facility Location.** *Management Science*, v. 23, p. 1133-1142, 1977.

GEOFFRION, A. M. **An introduction to structured modeling.** *Management Science*, v. 33, p. 547-588, 1987.

_____; GRAVES, G. W. **Multicommodity distribution design by Benders decomposition.** *Management Science*, v. 20, n. 5, p. 822-844, 1974.

_____; POWERS, R. F. ***Facility Location analysis is just the beginning.*** *Interfaces*, v. 10, p. 22-30, 1980.

_____. ***Twenty Years of Strategic Distribution System Design: an Evolutionary Perspective.*** *Interfaces*, v. 25, nº 5, p. 105-127, 1995.

GIL, A. C. ***Como elaborar projetos de pesquisa.*** 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HAKIMI, S. L. ***Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph.*** *Operations Research*, v. 10, p. 450-459, 1964.

HALFIN, S. ***On Finding the Absolute and Vertex Centers of a Tree with Distances.*** *Transportation Science*, v. 8, p. 75-77, 1974.

HARTMUT, S.; KILGER, C. ***Supply Chain Management and Advanced Planning.*** 4th Ed. Hamburg: Springer, 2008.

HAUG, P. ***An international location and production transfer model for high technology multinational enterprises.*** *International Journal of Production Research*, v. 30, n. 3, p. 559-572, 1992.

HEDETNIEMI, S. M.; COCKAYNE, E. J.; HEDETNIEMI, S. T. ***Linear Algorithms for Finding the Jordan Center and the Path Center of a Tree.*** *Transportation Science*, v. 15, p. 98-114, 1981.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. ***Introdução à pesquisa operacional.*** 8. Ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

JAYARAMAN, V. ***Transportation, Facility Location and Inventory Issues in Distribution Network Design.*** *International Journal of Operations & Production Management*, v. 18, p. 471-494, 1998.

_____; PIRKUL, H. ***Planning and Coordination of Production and Distribution Facilities for Multiple Commodities.*** *European Journal of Operational Research*, v. 133, p. 394-408, 2001.

KARIV, O.; HAKIMI S. L. **An Algorithmic Approach to Network Location Problems. Part 1. The P-Centers.** *SIAM Journal on Applied Mathematics*, v. 37, p. 539-560, 1979.

LACERDA, L. **Considerações sobre o estudo de localização de instalações.** In: FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. *Logística Empresarial: a perspectiva brasileira.* São Paulo: Atlas, 2000.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico.** São Paulo: Atlas, 1995.

LAMBERT, D. M. **Supply chain management: What does it involve?.** *Supply Chain & Logistics Journal*, 2001.

LOVE, R. F.; MORRIS, J. G.; WESOLOWSKY, G. O., **Facility Location: Models and Methods.** New York: Publishing Company, 1988.

MAISTER, D. H. **Centralization of Inventories and the “Square Root Law”.** *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, v. 6, n. 3, p. 124-134, 1976.

MAHMOUD, M. M. **Optimal Inventory Consolidation Schemes: A Portfolio Effect Analysis.** *Journal of Business Logistics*, v. 13, n. 1, p. 193-214, 1992.

MARTINS, G. de A. **Estudo de Caso: uma estratégia de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2006.

MARTOS, A. C. **Projeto de redes logísticas com consideração de estoques e modais: aplicação de programação linear inteira mista á industria petroquímica.** 2000. 98 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MEDINA, A. C. **Modelos para dimensionamento de frotas e localização de embarcações para atendimento a acidentes marítimos.** 1996. 111 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

MELO, M. T.; NICKEL, S.; SALDANHA DA GAMA, F. **Facility location and supply chain management – A Review**. *European Journal of Operational Research*, v. 196, p. 401-412, 2009.

MINIEKA, E. **The m-Center Problem**. *SIAM Review*, v. 12, p. 138-139, 1970.

MIRANDA, P. A.; GARRIDO, R. A. **Incorporating Inventory Control Decisions into a Strategic Distribution Network Design Model with Stochastic Demand**. *Transportation Research Part E*, v. 40, p. 183-296, 2004.

MENTZER, J. T.; DEWITT, W.; KEEBLER, J. S.; MIN, S.; NIX, N. W.; SMITH, C. D.; ZACHARIA, Z. G. **Defining Supply Chain Management**. *Journal of Business Logistics*, v. 22, n. 2, 2001.

MOHAMED, Z. **An integrated production-distribution model for a multinational company operating under varying exchange rates**. *International Journal of Production Economics*. V. 58, p. 81-92, 1999.

MONTEBELLER JUNIOR, E. D. **Incorporando o Efeito de Consolidação dos Estoques no Planejamento de Redes Logísticas**. 2009. 166 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

_____; NETO, J. B. **Implantação de armazéns coletores de grãos numa micro-região produtora sobre restrição orçamentária**. São Carlos: IX ANPET, 1995.

OWEN, S. H.; DASKIN, M. S. **Strategic Facility Location: a Review**. *European Journal of Operations Research*, v. 111, n. 1, p. 423-447, 1998.

PIZZOLATO, N.; BARROS, A. G.; BARCELOS, F. B.; CANEN, A. G. **Localização de escolas públicas: síntese de algumas linhas de experiências no Brasil**. *Pesquisa Operacional*, v. 24, n. 1, p. 111-131, 2004.

PLUNKETT, K. **Warehouse location**: Christmas Conundrum. *Logistics & Transport Focus*, v. 5, n. 10, 2003.

RAGSDALE, C. T. ***Spreadsheet modeling and decision analysis: a practical introduction to management science***. 4th Ed. Cincinnati: South Western College Publishing, 2004.

REVELLE, C. S.; MARKS, D.; LIEBMAN, J. C. ***An analysis of public and private sectors location models***. *Management Science*, n. 16, p. 692-707, 1970.

_____; EISELT, H. A. ***Location Analysis: a synthesis and survey***. *European Journal of Operation Research*, n. 165, p. 1-19, 2005.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Pearson, 2005.

RUSSEL, S. H. ***Supply chain management: more than integrated logistics***. *Air Force Journal of Logistics – USA*, v. 31, n. 2, p. 55-63, 2007.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JHONSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

SILVA, M. V. **Localização de Estoques na Rede de Distribuição de Uma Empresa do Setor Siderúrgico**. 2006. 156 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de Suprimentos: projetos e gestão**. São Paulo: Bookman, 2003.

SYAM, S. S. ***A model and methodologies for the location problem with logistical components***. *Computers and Operations Research*, v. 29, p. 1173-1193, 2002.

STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W. **Princípios de sistemas de informação: uma abordagem gerencial**. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

TALLON, W. J. ***The impact of inventory centralization on aggregate safety stock: the variable supply lead-time case.*** *Journal of business logistics*, v. 14, n. 1, p. 185-203, 1993.

TUBINO, D. F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

TURBAN, E. **Decision support and expert systems:** management support systems. 4th Ed. Prentice-Hall, 1995.

TYAGI, R.; DAS, C. ***Extension of the Square Root Law for Safety Stocks to Demands with Unequal Variances.*** *Journal of Business Logistics*, v. 19, n. 2, p. 197-203, 1998.

VALLIM FILHO, A. R. A. **Localização de centros de transporte e carga – uma contribuição para modelos de otimização.** 2004. 127 p. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

VAN DER VORST, J. G. A. J.; BEULENS, A. J. M. ***Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies.*** *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 32, n.6, p. 409-430, 2002.

VENTURA, D. F. L. **Monografia jurídica:** uma visão prática. 2 Ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2002.

WANKE, P. F. **Aspectos Fundamentais do Problema de Localização de Instalações em Redes Logísticas.** *Revista Tecnológica*, São Paulo, 01 mar. 2001.

_____. **Gestão de Estoques da Cadeia de Suprimentos:** decisões e modelos quantitativos. São Paulo: Atlas, 2008.

_____. ***Consolidation Effects and Inventory Portfolios.*** *Transportation Research. Part E: Logistics and Transportations Review*, v. 45, p. 107-124, 2009.

_____; SALIBY, E. ***Consolidation Effects: Whether and How Inventory Should Be Pooled.*** *Forthcoming Paper: Transportation Research, Part E*, 2009, doi: 10.1016/j.tre.2009.01.006.

WANKE, P. F.; MONTEBELLER JÚNIOR, E. J.; TERDELLI, R. V. **Introdução ao Planejamento de Redes Logísticas:** aplicações em AIMMS (*Optimization Software for Operations Research Applications*). São Paulo: Atlas, 2009.

WERMUTH, S. L. P. **Modelagem matemática e computacional de um sistema de apoio à decisão na indústria.** 2007. 168 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Processos Industriais) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2007.

YIN, R. K. **Estudo de caso – planejamento e métodos.** 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YOSHIZAKI, H. T. Y. **Projeto de redes de distribuição física considerando a influência do imposto de circulação de mercadorias e serviços.** 2002. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). – Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

ZINN, W.; LEVY, M.; BOWERSOX, D. J. ***Measuring the Effect of Inventory Centralization/Decentralization on Aggregate Safety Stock: “The Square Root Law” Revisited.*** *Journal of Business Logistics*, v. 10, p. 1-14, 1989.

APÊNDICE A – Protocolo do estudo de caso

O protocolo de pesquisa apresenta as regras gerais a serem seguidas para a condução da estratégia de pesquisa (MARTINS, 2006). A utilização de um protocolo permite que a pesquisa tenha um maior índice de confiabilidade e orienta o pesquisador em relação ao caminho a ser seguido.

O protocolo do estudo de caso contém os procedimentos, os instrumentos e as regras gerais que devem ser seguidas na aplicação e no uso dos instrumentos, constituindo-se em uma tática para aumentar a fidedignidade da pesquisa. O protocolo deve atuar como facilitador para a coleta de dados dentro de formatos apropriados e reduzindo a necessidade de se retornar ao local onde o estudo foi realizado (Yin, 2001).

O Protocolo de estudo de caso possibilitará a resposta às questões de pesquisa e o atingimento dos Objetivos Específicos (OEs) da pesquisa, conseqüentemente atingindo o objetivo geral da mesma.

Questões de pesquisa

- a) Qual a quantidade de centros de distribuição adequada para a rede logística estudada?
- b) Qual o melhor local onde o centro de distribuição deverá estar localizado?
- c) Qual a influência dos principais parâmetros de entrada do problema nos componentes de custo da rede?

Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é analisar a utilização de um modelo de programação matemática para representação do problema de desenho de uma rede logística estabelecida, a fim de determinar a quantidade e a localização de um ou mais Centros de Distribuição que minimize os custos totais associados à cadeia de suprimento. Para isso será proposta uma metodologia de análise para o problema de localização de centros de distribuição e serão analisadas a influência dos custos

envolvidos e algumas variações de parâmetros, a fim de se ter maior domínio e sensibilidade sobre as respostas do modelo.

Coleta dos dados

Esta pesquisa se apóia em fontes primárias de dados, onde as informações foram coletadas por meio de investigações diretas ao fenômeno estudado, e em fontes secundárias de dados, onde as informações foram coletadas em bancos de dados da empresa estudada. Os dados primários foram obtidos através das entrevistas, análise dos relatórios, análise de documentos e observação (participativa ou não).

Estrutura do protocolo de pesquisa

Este documento é composto por sete fases, a primeira fase é a de planejamento do estudo. As cinco fases posteriores são baseadas no atingimento de cada um dos Objetivos Específicos (OEs). Por fim, com a conclusão do relatório do estudo de caso, o mesmo será enviado para os entrevistados para que seja revisado. O objetivo desta etapa é confirmar os fatos e evidências e aumentar a validade das informações geradas.

Planejamento da pesquisa				
Desdobramento	Procedimento	Evidências	Resultado	Participantes
Estudar as características da empresa a ser pesquisada e de sua rede logística	Entrevistas e análises de documentos	Descrição das características da empresa pesquisada e de sua rede logística no relatório final	Informações coletadas e registradas no relatório final	Pesquisador, Gerente de compras, Gerente de logística e Superintendente de Planejamento e Procurement
Designar os participantes a serem entrevistados e agendar entrevistas	Definição e agendamento de entrevistas	Cronograma das entrevistas	Entrevistas agendadas	Pesquisador, Gerente de compras, Gerente de logística e Superintendente de Planejamento e Procurement
Elaborar protocolo do estudo de caso	Levantamento das etapas que irão compor o protocolo do estudo de caso	Protocolo do estudo de caso	Protocolo do estudo de caso finalizado	Pesquisador

OE 1: Identificar e elaborar referencial teórico aderente ao estudo				
Desdobramento	Procedimento	Evidências	Resultado	Participantes
Identificar artigos, dissertações, teses, livros, revistas e quaisquer publicações científicas acerca do tema estudado	Pesquisa em bibliotecas, internet, revistas e periódicos	Obtenção do documento	Identificação dos principais pesquisadores do tema estudado	Pesquisador
Estudar os documentos científicos elencados.	Análise de documentos	Documento científico	Redação de um parágrafo para cada documento considerado relevante para o estudo	Pesquisador
Definir o referencial teórico aderente ao tema estudado	Análise de documentos	Documento científico	Redação do referencial teórico	Pesquisador

OE 2: Propor uma metodologia de análise para o problema de localização de centros de distribuição				
Desdobramento	Procedimento	Evidências	Resultado	Participantes
Propor metodologia de análise para o problema de localização de centros de distribuição	Elaboração de uma metodologia de análise para o problema de localização de centros de distribuição	Redação da metodologia	Metodologia proposta apresentada no relatório final	Pesquisador

OE 3: Escolher o modelo matemático de localização de centro de distribuição a ser utilizado				
Desdobramento	Procedimento	Evidências	Resultado	Participantes
Diante dos modelos analisados nesta pesquisa, elencar um modelo matemático de localização	Levantamento dos modelos matemáticos de localização	Comparativo entre os modelos matemáticos de localização	Escolha do modelo matemático a ser utilizado no estudo	Pesquisador

OE 4: Construir o modelo matemático				
Desdobramento	Procedimento	Evidências	Resultado	Participantes
Estudar as variáveis do modelo	Análise das variáveis do modelo	Definição das variáveis que compõem o modelo	Redação e definição das variáveis do modelo no relatório final	Pesquisador
Cálculo do parâmetro de entrada custo unitário e diário médio de ressuprimento da usina para os centros de distribuição j	Levantamento dos seguintes dados para o cálculo deste parâmetro de entrada: valor do frete entre a usina e cada um dos centros de distribuição e demanda média mensal de aço total	Memória de cálculo do parâmetro de entrada	Valor do custo unitário e diário médio de ressuprimento da usina para cada um dos centros de distribuição j	Pesquisador e Analista de Logística
Cálculo do parâmetro de entrada lead time médio de ressuprimento no centro de distribuição j	Cálculo da média de tempo de transporte entre a usina e cada um dos centros de distribuição	Memória de cálculo do parâmetro de entrada	Valor do lead time médio de ressuprimento para cada um dos centros de distribuição j	Pesquisador e Analista de Logística
Cálculo do parâmetro de entrada desvio-padrão do lead time médio de ressuprimento no centro de distribuição j	Cálculo do desvio-padrão do lead time médio de ressuprimento em cada um dos centros de distribuição	Memória de cálculo do parâmetro de entrada	Valor do desvio-padrão do lead time médio de ressuprimento em cada um dos centros de distribuição para a rede logística estudada	Pesquisador e Analista de Logística
Cálculo do parâmetro de entrada Demanda média do fornecedor i	Cálculo da demanda média de aço em cada um dos fornecedores	Memória de cálculo do parâmetro de entrada	Valor da demanda média de aço em cada um dos fornecedores	Pesquisador e Engenheiro de Planejamento
Cálculo do parâmetro de entrada desvio-padrão da demanda do fornecedor i	Cálculo do desvio padrão da demanda média de aço em cada um dos fornecedores	Memória de cálculo do parâmetro de entrada	Valor do desvio padrão da demanda média de aço em cada um dos fornecedores para a rede logística estudada	Pesquisador e Analista de Logística
Cálculo do parâmetro de entrada correlação entre as demandas médias dos fornecedores i e l	Cálculo da correlação entre as demandas médias de aço entre os fornecedores	Memória de cálculo do parâmetro de entrada	Valor da correlação entre as demandas médias de aço entre os fornecedores	Pesquisador e Analista de Logística
Cálculo do parâmetro de entrada custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor i e o CD j	Levantamento dos seguintes dados para o cálculo deste parâmetro de entrada: valor do frete entre os centros de distribuição e cada um dos fornecedores e quantidade média de aço transportado entre os centros de distribuição e cada um dos fornecedores	Memória de cálculo do parâmetro de entrada	Valor do custo unitário de transporte entre os centros de distribuição e cada um dos fornecedores	Pesquisador e Analista de Logística
Cálculo do parâmetro de entrada custo unitário de colocação de pedido no centro de distribuição j	Para o cálculo deste parâmetro é necessário o levantamento dos custos envolvidos na colocação de um pedido de compras (custos com pessoal, encargos sociais, comunicação, energia, tecnologia da informação, administrativos e aluguel) para cada um dos centros de distribuição	Memória de cálculo do parâmetro de entrada	Valor do custo unitário de colocação de pedido em cada um dos centros de distribuição	Pesquisador e Analista de Compra, Analista Financeiro e Analista de Logística

OE 5: Analisar os resultados obtidos do modelo na simulação de cenários

Desdobramento	Procedimento	Evidências	Resultado	Participantes
Simular cenários pré-definidos	Definição das variações dos parâmetros de entrada a serem consideradas	Plano de simulação dos cenários e apresentação dos valores das variáveis resposta	Definição dos valores das variáveis resposta do modelo matemático de localização	Pesquisador e Gerente de Logística
Análise dos resultados	Análise das variáveis resposta em relação à variação dos parâmetros de entrada	Registro da análise dos resultados no relatório final	Resultados analisados	Pesquisador

Validação e autorização da pesquisa

Desdobramento	Procedimento	Evidências	Resultado	Participantes
Autorização de publicação	Autorização de publicação	Documento de autorização	Publicação autorizada	Responsável pela empresa estudada
Validação do relatório final	Validação do relatório final	Documento de autorização	Dissertação validada	Responsável pela empresa estudada

APÊNDICE B – Código para a otimização na linguagem do software AIMMS

MAIN MODEL Localizacao_CD

DECLARATION SECTION Set_

SET:

 identifier : CD
 index : j ;

SET:

 identifier : Fornecedores
 indices : i, l ;

ENDSECTION ;

DECLARATION SECTION Parameters_

PARAMETER:

 identifier : cr
 text : "Custo unitário e diário de ressurgimento da fábrica para os CDs j"
 range : nonnegative ;

PARAMETER:

 identifier : Lt
 index domain : j
 text : "Lead-time médio de ressurgimento no CD j"
 range : nonnegative ;

PARAMETER:

 identifier : D
 index domain : i
 text : "Demanda média do fornecedor i"
 range : nonnegative ;

PARAMETER:

 identifier : cT
 index domain : (i,j)
 text : "Custo unitário de transporte na distribuição entre o fornecedor i e o CD j "
 range : nonnegative ;

PARAMETER:

 identifier : ccp
 index domain : j
 text : "Custo unitário de colocação de pedido no CD j"
 range : nonnegative ;

PARAMETER:

 identifier : cm
 index domain : j
 text : "Custo unitário de manutenção de estoques no CD j"
 range : nonnegative ;

PARAMETER:

 identifier : k
 index domain : j

text : "Nível de serviço no CD j"
 range : nonnegative ;

PARAMETER:

identifier : corr
 index domain : (i,l)
 text : "Correlação entre as demanda médias dos fornecedores i e l"
 range : [-1, 1] ;

PARAMETER:

identifier : Dpi
 index domain : i
 text : "Desvio-padrão da demanda do fornecedor i"
 range : nonnegative ;

PARAMETER:

identifier : Dpl
 index domain : l
 text : "Desvio-padrão da demanda do fornecedor l"
 range : nonnegative ;

PARAMETER:

identifier : DpLt
 index domain : j
 text : "Desvio-padrão do lead-time médio de ressuprimento no CD j"
 range : nonnegative ;

ENDSECTION ;

DECLARATION SECTION Variavel_

VARIABLE:

identifier : W
 index domain : (i,j)
 text : "Proporção da demanda média do fornecedor i atendida pelo CD j"
 range : [0, 1] ;

VARIABLE:

identifier : CustoTotal
 text : "Custo total da rede logística"
 definition : CTdist + CTressup + CTmecp + CTes ;

VARIABLE:

identifier : CTdist
 text : "Custo total de distribuição"
 range : nonnegative
 definition : $\sum[(j,i), cT(i,j) * W(i,j) * D(i)]$;

VARIABLE:

identifier : CTressup
 text : "Custo total de ressuprimento"
 range : nonnegative
 definition : $\sum[(j,i), cr * Lt(j) * W(i,j) * D(i)]$;

VARIABLE:

identifier : CTmecp
 text : "Custo total de manutenção de estoques de ciclo e colocação de pedidos"
 range : nonnegative
 definition : $\sum[j, \text{Sqrt}[2 * ccp(j) * cm(j) * \sum[i, W(i,j) * D(i)]]]$;

VARIABLE:

```

  identifier : CTes
  text      : "Custo total de manutenção de estoques de segurança"
  range     : nonnegative
  definition : sum[j , K(j)*cm(j)* Sqrt[
                Lt(j)* [sum(i, W(i,j)^2*Dpi(i)^2
                + 2*

                sum(i,sum(l in Fornecedores $ l<i, W(i,j)*W(l,j)*corr(i,l)*Dpi(i)*Dpl(l))
                )]

                + DpLt(j)^2*[(
                sum(i,W(i,j)*Dpi(i)))]^2
                ]
                ] ;

```

ENDSECTION ;

DECLARATION SECTION Constraint_

CONSTRAINT:

```

  identifier : proporcao
  index domain : i
  definition : sum[j, W(i,j)]=1 ;

```

ENDSECTION ;

DECLARATION SECTION Objective_

MATHEMATICAL PROGRAM:

```

  identifier : Minimize_Custo_Total
  objective  : CustoTotal
  direction  : minimize
  type       : NLP ;

```

ENDSECTION ;

PROCEDURE

```

  identifier : MainInitialization

```

ENDPROCEDURE ;

PROCEDURE

```

  identifier : MainExecution
  body      :
    solve Minimize_Custo_Total;
    if (Minimize_Custo_Total.ProgramStatus <>'optimal')then empty W(i,j),
    CustoTotal,CTdist,CTressup,CTmecp,CTes;
  endif;

```

ENDPROCEDURE ;

PROCEDURE

```

  identifier : MainTermination
  body      :
    if ( CaseSaveAll( confirm:2 ) = 1 ) then
      return 1;
    else

```

```
        return 0;  
    endif ;  
  
ENDPROCEDURE ;  
  
ENDMODEL Localizacao_CD ;
```