

MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

FLAVIA GIACOMIN PIMENTEL

LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO EM UMA CADEIA
DE SUPRIMENTOS

Rio de Janeiro
2004

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

FLAVIA GIACOMIN PIMENTEL

**LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO EM UMA CADEIA
DE SUPRIMENTOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Curso de Mestrado em Engenharia de
Transportes do Instituto Militar de
Engenharia, como requisito parcial para
a obtenção do título de Mestre em
Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Luiz Antônio Silveira
Lopes - D.Sc.

Rio de Janeiro
2004

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha.

Rio de Janeiro - RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmар ou adotar qualquer forma de arquivamento.

São permitidas a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor (es) e do(s) orientador (es).

P644 Pimentel, Flavia Giacomini.
Localização de Centros de Distribuição em
uma Cadeia de Suprimentos / Flavia Giacomini
Pimentel - Rio de Janeiro: Instituto
Militar de Engenharia, 2004.
106 p.: il., tab.

Dissertação (mestrado) - Instituto Militar
de Engenharia - Rio de Janeiro, 2004.

1. Logística 2. Custos 3. Eng. de
Transportes I. Instituto Militar de Engenharia II.
Título

CDD 338.6042.04

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

FLAVIA GIACOMIN PIMENTEL

**LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO EM UMA CADEIA
DE SUPRIMENTOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Luiz Antônio Silveira Lopes - D.Sc.

Aprovada em 16 de Janeiro de 2004 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Luiz Antônio Silveira Lopes - D.Sc. do IME - Presidente

Prof^a. Marta Monteiro da Costa Cruz - D.Sc. da UFES

Prof. Paulo Afonso Lopes da Silva - Ph.D. do IME

Prof. Altair dos Santos Ferreira Filho - M. Sc. do IME

Rio de Janeiro

2004

Aos meus amados pais, José Ruy e
Neuza e aos meus queridos irmãos:
Silvia, Eduardo, Vitor e Marcelo.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, acima de tudo, pelo dom da vida e por estar presente nos momentos difíceis, mostrando que sou capaz de vencer grandes barreiras.

Ao Instituto Militar de Engenharia, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado em Engenharia de Transportes.

À CAPES pelo apoio financeiro ao longo do curso.

Aos meu amado pai, José Ruy, por não medir sacrifícios para ajudar neste projeto e em todos os outros da minha vida.

À minha mãe, grande e inseparável amiga, pela força, amor, carinho e cumplicidade em todos os momentos da minha vida.

Aos meus irmãos: Silvia, Eduardo, Vitor e Marcelo, pelo amor imensurável que nos une, pela alegria e incentivo sempre.

Ao professor e Orientador, Luiz Antônio Silveira Lopes, pela brilhante e dedicada orientação, pela amizade, pela paciência sempre e também pela perseverança, por acreditar em mim ao longo do curso.

Aos demais integrantes da Banca Examinadora, Prof. Marta Cruz que aceitou o convite prontamente e pela atenção, ao Prof. Paulo Afonso Lopes da Silva pela colaboração no trabalho e pelos momentos de descontração e ao coordenador do Curso Maj. Altair dos Santos Ferreira Filho pela confiança e presteza pelo tempo dedicado à apreciação desta dissertação para o engrandecimento do trabalho.

Aos professores da PG em Transportes, pela transmissão de preciosos conhecimentos. À Prof. Cristina Fogliatti de Sinay pelas contribuições e tempo dedicado a este trabalho.

Aos colegas do IME da turma 2002, por tornarem esses dois anos de convivência tão especiais, em especial à Isolina, Kary, Chagas, Veiga, Rachel, Vladimir e todos que torceram por esta vitória.

Aos colegas da turma 2003, à minha amiga Iva pelo companheirismo e por arrumar sempre o meu quarto.

Aos funcionários da secretaria, Sgt Oazem, pela ajuda logística, burocrática e também pelo carinho e amizade e à D. Lucinda pelo cafezinho.

À Márcia Tavares pela contribuição nos momentos de lazer, pelo enriquecimento cultural.

Ao querido Fabrizioo, pelo carinho, amor e apoio sempre, por estar ao meu lado. À família Tancredo por me receber com tanto carinho em sua casa.

Aos meus queridos amigos, conquistados durante o curso, Paulo e em especial, à Bruna, pela super colaboração e incentivo para a finalização do trabalho e pelo convívio tão sereno em casa, espero poder contar sempre com esta amizade.

Às minhas queridas amigas, de sempre, Ivana, Cristina, Graziela e ao meu grande amigo Sergio de Sá pela amizade, confiança e momentos de descontração.

À minha tia e amiga Claudia, Dindinha e família, Dida pelas orações e à Vovó, por saber que mesmo de longe torceram por mim.

À todas as pessoas que, indiretamente, contribuíram para a elaboração deste trabalho.

E, novamente, a Deus por ter colocado todas estas pessoas no meu caminho e ter possibilitado a minha evolução intelectual e espiritual.

"Nenhum homem é um fracassado se tem amigos".

do filme A FELICIDADE NÃO SE COMPRA

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	11	
LISTA DE TABELAS	12	
1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Considerações Iniciais	15
1.2	Objetivo do Trabalho	16
1.3	Justificativa	17
1.4	Estrutura da Dissertação	19
2	A LOGÍSTICA E OS CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO	20
2.1	Considerações Iniciais	20
2.2	Evolução Histórica da Logística	21
2.3	O Planejamento Logístico	23
2.3.1	Função dos Estoques	25
2.3.2	Função dos Transportes	26
2.3.3	Função da Localização de Facilidades	26
2.4	Logística e a Cadeia de Suprimentos	27
2.5	Função do CD	29
2.6	Operação de um CD	31
2.6.1	Recebimento da Carga	33
2.6.2	Estocagem	34
2.6.3	Separação de Pedidos (<i>Picking</i>)	34
2.6.4	Expedição	35
2.7	Opções de Procedimento Operacional	35
2.8	Considerações Parciais	36
3	MODELOS DE LOCALIZAÇÃO	37
3.1	Considerações Iniciais	37
3.2	Localização de Facilidades	37
3.2.1	Modelos Contínuos	38
3.2.2	Modelos em Grafos e Redes	47
3.2.3	Modelos Heurísticos	49
3.2.4	Modelo Gravitacioanal	49

3.3	Considerações Parciais	51
4	PROCEDIMENTO PROPOSTO	53
4.1	Considerações Iniciais	53
4.2	Estudos Preliminares	53
4.3	Modelagem Analítica do Problema	54
4.4	Fluxograma Proposto	55
4.4.1	Apresentação do Problema	57
4.4.2	Escolha dos Locais Candidatos	57
4.4.3	Estudo da Demanda	59
4.4.4	Pré-dimensionamento da Capacidade dos CD'S	60
4.4.5	Estimativa de Custos	60
4.4.5.1	Custo de Instalação	61
4.4.5.2	Custos de transportes	63
4.4.5.3	Custos de Estoque	68
4.4.5.4	Custos de Operação	69
4.5	Modelagem Matemática do Procedimento Proposto	70
4.6	Análise de Sensibilidade	73
4.7	Considerações Parciais	73
5	APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO E RESULTADOS	75
5.1	Considerações Iniciais	75
5.2	Aplicação do Procedimento	75
5.2.1	Etapa 1 - Apresentação do problema	75
5.2.2	Etapa 2 - Escolha dos Locais Candidatos	77
5.2.3	Etapa 3 - Estimativa de Demanda	81
5.2.4	Etapa 4 - Pré-dimensionamento da Capacidade dos CD's82	
5.2.5	Etapa 5 - Estimativa dos Custos	82
5.2.5.1	Custos Fixos	82
5.2.5.2	Custos Variáveis	84
5.3	Etapa 6 - Modelo Matemático	86
5.3.1	Apresentação Problema	86
5.3.2	Implementação do Problema Utilizando o Solver	87
5.4	Etapa 7 - Resolução do Problema	93
5.4.1	Distribuição da Carga	94

5.5	Etapa 8 - Análise de Sensibilidade	95
5.6	Considerações parCIAIS	98
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	99
6.1	Conclusões	99
6.2	Recomendações para Trabalhos Futuros	101
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 2.1	Triângulo da tomada de Decisão Logística.....	24
FIG. 2.2	Centro de Distribuição.....	27
FIG. 2.3	Elementos Básicos da Logística.....	28
FIG. 2.4	Cadeia de Suprimentos.....	28
FIG. 2.5	Atividades de um CD.....	32
FIG. 3.1	Triângulo Locacional.....	39
FIG. 3.2	Curva de Demanda como Função do Mercado.....	40
FIG. 3.3	Cone de Demanda de Lösch.....	41
FIG. 4.1	Modelagem Analítica.....	55
FIG. 4.2	Fluxograma do Procedimento Proposto.....	56
FIG. 4.3	Fluxograma para determinação de Locais Candidatos	58
FIG. 4.4	Resumo dos Custos.....	62
FIG. 4.5	Custo de Transporte x Estoque.....	65
FIG. 4.6	Formulação Final dos Custos.....	70
FIG. 5.1	Mapa de Estado de São Paulo.....	76
FIG. 5.2	Planilha de Dados.....	89
FIG. 5.3	Tela de Ativação do <i>Solver</i> do Excel.....	90
FIG. 5.4	Escolha da Célula de Destino.....	90
FIG. 5.5	Entrada das Variáveis de Decisão.....	91
FIG. 5.6	Janela de Entrada de Restrição.....	91
FIG. 5.7	Parâmetros de Entrada do <i>Solver</i>	92
FIG. 5.8	Opção de não-negatividade.....	92
FIG. 5.9	Esquema de Distribuição de Mercadorias.....	95

LISTA DE TABELAS

TAB. 4.1	Matriz de Transporte de Cargas no Brasil em TKU* .	64
TAB. 5.1	Informações sobre as Cidades objeto de Estudo....	77
TAB. 5.2	Locais Candidatos à implantação do CD.....	79
TAB. 5.3	Distâncias dos CD's Candidatos aos Mercados(1)...	80
TAB. 5.4	Distancias dos CD's Candidatos aos Mercados (2)..	80
TAB. 5.5	Distancias dos CD's Candidatos aos Mercados (3)..	80
TAB. 5.6	Estimativa da Demanda dos Mercados.....	81
TAB. 5.7	Pré-Dimensionamento da Capacidade dos CD's.....	82
TAB. 5.8	Custos Fixos detalhados dos CD's Candidatos.....	83
TAB. 5.9	Custos Fixos - Resumo.....	83
TAB. 5.10	Preços relativos dos Diferentes Modais.....	84
TAB. 5.11	Custos de Transportes (1).....	85
TAB. 5.12	Custos de Transportes (2).....	85
TAB. 5.13	Custos de Transportes (3).....	85
TAB. 5.14	Custos de Operação.....	86
TAB. 5.15	Custos de Estoque.....	86
TAB. 5.16	Resultados da Aplicação do Procedimento.....	94
TAB. 5.17	Análise de Sensibilidade.....	96

RESUMO

Os Centros de Distribuição são elementos fundamentais numa Cadeia de Suprimentos, porque devem assegurar a transferência de produtos de uma localidade à outra sem quebra de continuidade no fluxo logístico, evitando a formação de gargalos no sistema e seu aumentar os custos totais de movimentação de cargas.

Sendo assim, para que a cadeia logística de distribuição não fique prejudicada, é necessário que esses CD's sejam localizados de modo a otimizar o custo total do sistema logístico.

Esse trabalho busca contribuir para a solução do problema de gargalos na Cadeia de Suprimentos que ocorrem devido à má localização de CD's, propondo um procedimento para escolha de locais adequados para atender a demanda dos mercados.

O procedimento proposto é constituído dos seguintes passos:

1. Caracterização de uma Cadeia de Suprimentos;
2. Seleção dos locais candidatos à localização dos CD's;
3. Estimativa das demandas, capacidades e custos;
4. Modelagem matemática;
5. Aplicação do procedimento;
6. Análise dos resultados.

Pretende-se estimar a quantidade de CD's, a localização e a capacidade de cada CD, que minimizem os custos de operação, estocagem e transportes, bem como os custos fixos de instalação de um CD.

Tal estimativa é feita utilizando um modelo matemático, programação linear mista, associada à utilização de planilha eletrônica.

Visando à análise de sensibilidade, efetuaram-se simulações diversas, admitindo-se variações nos custos envolvidos, nas quantidades demandadas e nas capacidades de cada CD candidato.

O número e a localização são baseados e influenciados pelas restrições de capacidade e atendimento da demanda.

ABSTRACT

Distributions Centers (DC) are fundamental elements of a supply chain. They must provide transshipment of products from a place to another one without interrupting the logistics flow, and thus avoiding the increasing of total costs. For these reasons, it is necessary that those DC's be located strategically for optimizing the distribution logistics chain.

Therefore, for the logistic chain of distribution not be cut, it is necessary that these DC's be optimized regarding its location.

This work aims to contribute for the solution of the bottleneck problem in the Supply Chain that occurs due to poor localization of some DC's. This is done by considering a procedure for choosing, and assigning DC's in a Supply Chain.

The procedure has the following steps:

1. Characterization of a Supply Chain
2. Selection of the candidates for the localization of the DC's.
3. Estimate of the demands, capacities and costs
4. Mathematical modeling
5. Use of the Procedure
6. Results Analysis

The research the number, the localization and the capacity of each CD, minimizing the operation, stockage and transportation costs, as well as the fixed costs of installing a DC.

Such estimative is applies a mathematical model associated electronic spreadsheet.

For the sensitivity analysis, several simulations were done with change not only in the costs but also in the demanded amounts as well.

The number and the localization of the DC's were based on and influenced by the restrictions of capacity and demand assigned to the DC's.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A falta de observação de critérios essenciais na localização de alguns Centros de Distribuição (CD's) tem apresentado, muitas vezes, resultados frustrantes. Frequentemente, a vida útil desses tem sido limitada em função do seu envolvimento pela malha urbana, pela incompatibilidade com a comunidade que o utiliza, ou ainda pela ausência de segurança nas operações (BALLOU, 2001).

A importância dos serviços de transportes nos custos das empresas é muito grande. Quanto maiores os veículos utilizados, menores os custos unitários de transporte. Visando aproveitar ao máximo a capacidade do sistema de transportes, as empresas procuram concentrar seus produtos em pontos nodais intermediários, ou seja, em CD's localizados em pontos de intersecção de vias, em que os produtos chegam em veículos maiores. As cargas são armazenadas ou não, daí podem atingir os clientes em veículos menores, mais adequados ao tráfego complexo das cidades.

A escolha dos locais mais adequados para a instalação de CD normalmente é feita baseada em procedimentos empíricos; por outro lado, a comunidade acadêmica utiliza modelos sofisticados que, por falta de conhecimento das empresas acabam não sendo aplicado. Daí a importância de um trabalho que pretende apresentar de maneira prática e eficiente um procedimento para a escolha de locais para CD's em uma Cadeia de Suprimentos.

Os estudos aqui realizados estão dirigidos principalmente à localização de Centros de Distribuição em uma Cadeia de Suprimentos, um tema que vem ganhando crescente destaque com o desenvolvimento da Logística Empresarial. As decisões de

localizar instalações envolvem a determinação do número, da localização e do tamanho das instalações a serem usadas (BALLOU, 2001).

As instalações são alocadas nos pontos nodais da rede logística, locais em que os produtos podem parar temporariamente, são processados e separados e então distribuídos até chegarem ao destino final.

O planejamento, o dimensionamento e o posicionamento das instalações internas do centro de distribuição são extremamente importantes para a redução nos custos de manuseio e movimentação de mercadorias, redução de congestionamentos e melhor ocupação do espaço físico disponível para o galpão de armazenagem.

Hoje, verifica-se que os problemas logísticos são resolvidos de forma conjunta entre todos componentes da Cadeia Logística; fábrica, Centros de Distribuição e lojas varejistas. Ao contrário do que se pensava no passado, quando eram resolvidos de maneira isolada, não havia comunicação entre os pontos da cadeia de suprimentos. A logística, especialmente no Brasil, está passando por um período de mudanças, tanto em termos de práticas empresariais quanto de eficiência, qualidade e infraestrutura de transportes e comunicações (RIBEIRO, 2002).

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

Esta dissertação se propõe a desenvolver um procedimento de seleção e localização de CD's e verificar a sua aplicabilidade de modo a servir como roteiro e ferramenta para os profissionais que atuam na área.

Tem-se então, como objetivo, contribuir com o processo de localização dos CD's por intermédio da elaboração de uma metodologia baseada em técnicas de Pesquisa Operacional, especificamente a Programação Linear. Como resultado, a

metodologia pretende fornecer localizações que minimizem o custo global de movimentação da mercadoria.

Dessa forma, o resultado é uma primeira solução. Cada caso concreto há de ser apreciado individualmente, levando-se também em consideração as condições de acessibilidade, as restrições topográficas, econômicas e todas as demais restrições impostas pela situação hipotética.

A formulação e aplicação de um procedimento que sirva como um instrumento auxiliar na tomada de decisão quanto à localização e ao dimensionamento de CD's, bem como de vários aspectos inerentes ao problema, comporta-se como uma proposta, ainda que teórica, de reduzir custo, otimizar a operação e aumentar o nível de satisfação dos clientes.

Diante disso, apresenta-se aqui o processo desenvolvido para a identificação de áreas propícias à implantação de CD's, observando sua adequação às necessidades e à realidade sócio-econômica das comunidades. Como resultado final, aponta-se a escolha de CD's que reúnam os melhores requisitos para este fim.

1.3 JUSTIFICATIVA

Localizar Centros de Distribuição numa Cadeia de Suprimentos apresenta custos econômicos e sociais elevados sendo, portanto, uma das mais importantes decisões estratégicas a serem tomadas na estruturação de uma rede logística.

Pretende-se, assim, desenvolver um trabalho que utilize métodos matemáticos para determinar o número ótimo de CD's de modo que seja atendida toda a demanda do mercado consumidor, o número total de unidades do sistema a serem implantadas e suas respectivas localizações.

O presente trabalho atende, também, às diretrizes prioritárias estabelecidas pelo Ministério da Ciência e

Tecnologia - MCT juntamente com a Secretaria de Política Tecnológica Empresarial - SPTE para a aplicação do Fundo de Transporte Terrestre e Hidroviário - FTRANSPORTES:

De acordo com a Lei nº 9.992 de julho de 2000, o FTRANSPORTES, apoiando o desenvolvimento das diretrizes eleitas como prioritárias pelo Governo Federal, os seguintes tópicos relacionados com este trabalho:

- Desenvolvimento de métodos e sistemas logísticos, otimizando o uso dos transportes.
- Integração de sistemas de carga
- Desenvolvimento de modelagem matemática e computacional aplicada à logística
- Estudos e desenvolvimento de metodologias para a reestruturação organizacional e informacional de empresas transportadoras de carga.
- Desenvolvimento de sistemas de integração das atividades de coleta, armazenagem, transporte e distribuição de carga.

Com a localização ótima dos CD's ocorre a diminuição do "Custo Brasil" (conjunto de fatores que causam ineficiência sistêmica prejudicando a competitividade dos produtos brasileiros em relação a outros mercados), aumentando assim, a competitividade do produto nacional em relação ao mercado internacional.

Por exemplo, recentemente foi definida a instalação do Centro de Distribuição de peças da Volkswagen em Vinhedo, interior de São Paulo. Nenhum tipo de modelo matemático foi apresentado para o estudo da localização deste CD. Segundo o jornal Correio Paulista (06/jun/2003), a justificativa para a construção naquela cidade foi a redução de alguns impostos e a facilidade na aquisição do terreno. Este trabalho visa preencher essa lacuna, apresentando um modelo simples e prático para a localização de CD's.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O tema foi desenvolvido de acordo com as etapas que compõem o estudo, compreendido em sete capítulos.

No Capítulo 1, Introdução, são feitas algumas considerações sobre o desenvolvimento do trabalho, apresentados os objetivos, delineadas as justificativas e traçado, ainda, o plano de desenvolvimento da dissertação.

No Capítulo 2, A Logística e os Centros de Distribuição, mostra-se a evolução da logística, a função e importância do CD em uma Cadeia de Suprimentos, bem como, resumidamente, o funcionamento e as operações de um CD.

No Capítulo 3, Modelos de Localização, são apresentados os modelos clássicos de localização de instalações.

A proposta de um procedimento para a determinação de locais ótimos para a localização de CD's é apresentada no Capítulo 4.

A aplicação do procedimento proposto no capítulo anterior e seus resultados compõem o Capítulo 5. São apresentadas as variáveis do problema e os custos, a sensibilidade dos resultados obtidos em cenários com variações dos dados de entrada do problema.

O Capítulo 6, Conclusões e Recomendações, por sua vez, apresenta as conclusões da análise dos resultados da aplicação do procedimento. Sugerem-se, também, algumas recomendações quanto à realização de estudos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas ao longo do estudo.

2 A LOGÍSTICA E OS CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o intuito de minimizar os custos globais de uma Cadeia de Suprimentos, juntamente com o aumento do nível de serviço aos clientes, as empresas vêm concentrando seus esforços no desenvolvimento de novas estratégias tecnológicas para obter eficiência operacional. Os Centros de Distribuição são componentes de grande importância neste contexto, atuam como intermediários no fluxo de produtos entre os fabricantes e o mercado consumidor, além de serem responsáveis pela distribuição de mercadorias.

A competitividade leva as empresas, hoje, a concentrar seus esforços no desenvolvimento de estratégias que busquem a minimização de custos gerais e a qualidade de serviço para os clientes.

As decisões para a localização de um CD devem ser otimizadas, pois são de longo prazo e envolvem custos significativos. Para tanto, é necessário que esses depósitos, armazéns modernos ou CD's, estejam posicionados em local amplo e de fácil acesso, propiciando assim um aumento no nível de serviço.

No presente capítulo, é apresentada a evolução histórica da logística numa cadeia de suprimentos. Também é explicado o funcionamento de um CD, suas características, funções típicas, evolução e importância, composição, operações desenvolvidas, estrutura de armazenagens e sistemas de informações utilizadas.

2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA LOGÍSTICA

O termo logística, no início de sua concepção, durante a guerra mundial, era utilizado para fins militares, relativamente ao transporte de suprimentos, abastecimento e deslocamento de tropas. Ao decidir avançar suas tropas seguindo uma determinada estratégia militar, os generais precisavam ter, sob suas ordens, uma equipe que providenciasse o deslocamento, na hora certa, de munição, víveres, equipamentos e socorro médico para o campo de batalha (NOVAES, 2001). A logística era utilizada para maximizar a eficiência do material, das armas e do pessoal durante a guerra. Ao longo das décadas, porém, a ênfase passou do contexto militar para o empresarial.

A concepção do termo Logística Empresarial teve início na década de 50 quando foram iniciados esforços mais estruturados no sentido de abordar de modo sistêmico os problemas logísticos de natureza industrial e comercial. Segundo BALLOU (2001), embora as empresas não negassem a importância da distribuição, organizavam ou gerenciavam suas atividades logísticas de modo não integrado.

Na década de 60, a logística era vista como uma atividade sistêmica, porém fracionada. Os locais para armazenamento eram situados dentro das fábricas. O objetivo dos atacadistas era estocar os produtos para depois comercializá-los, disponibilizando sempre e continuamente os produtos para o consumidor final. Existiam poucas variedades de produtos e a concorrência era menor que nos dias atuais. Os esforços eram voltados, essencialmente, para reduzir o valor dos fretes, a fim de que os caminhões chegassem sempre com carga máxima. O nível de serviço oferecido ao cliente não era uma questão prioritária.

Na década de 70, houve um acréscimo na variedade de produtos

e dos seus respectivos tamanhos e tipos. Com isso, os estoques dos atacadistas aumentaram substancialmente.

Todavia, a crise econômica da época e a escassez do petróleo ocasionou um aumento grande no valor dos fretes. Os atacadistas, assim, passaram a buscar um equilíbrio ideal entre o menor custo e maior eficiência, racionalizando a cadeia de suprimentos. As empresas focavam a suas atenções para a otimização das atividades e o planejamento estratégico (NOVAES, 2001).

Maior atenção foi dada às estratégias de localização e dimensionamento de Centros de Distribuição, com o objetivo de reduzir os custos e obter maximização entre despesas relacionadas com transportes e estoques.

É importante frisar, voltando-se no tempo, que a informatização das empresas a partir da década de 60, permitiu o início do desenvolvimento dos chamados modelos de otimização de estoques, de distribuição e de localização de instalações de armazenagem (BALLOU, 2001).

Mais adiante, na década de 80 e no início dos anos 90, a prática logística passou por um renascimento que envolveu mais mudanças do que aquelas ocorridas em todas as décadas juntas, desde a revolução industrial (BOWERSOX, 2001). Essas mudanças foram provocadas principalmente pelo desenvolvimento da informática, que integrou o sistema logístico com a valorização da satisfação dos clientes.

Uma grande evolução na logística das empresas aconteceu após a década de 90, alguns valores, antes pouco utilizados, passaram a fazer parte do processo logístico. Esses valores são: **lugar**, localização da instalação; **tempo**, de trânsito do produto por toda cadeia produtiva; **qualidade**, cuidados tomados para a não danificação do produto até o destino final (NOVAES, 2001).

Hoje, as empresas buscam avanços tecnológicos e mudanças no processo de armazenagem e distribuição de mercadorias, com a substituição de antigos galpões por CD's modernos que têm como foco principal o atendimento e a satisfação dos clientes. São efetuados investimentos consideráveis em tecnologia para a modernização de CD's: automatização dos equipamentos de movimentação e estocagem de produtos e desenvolvimento de tecnologia de hardware como, por exemplo, leitores de códigos de barras, aparelhos de rádio para comunicação interna, de software para gerenciamento de estoques e apoio a gestão dos produtos.

A importância da satisfação do cliente e a necessidade de redução de custos fazem com que a busca por inovações tecnológicas seja cada vez maior. Tecnologias já são utilizadas para a redução do custo de estocagem e entrega de uma mercadoria como o *Just in time*, em que o objetivo é manter estoque mínimo para as operações. Contudo, a complexidade das operações aumenta, devendo haver um bom planejamento e controle do estoques. São utilizados sistemas de estoque do tipo "puxado", ou seja, os produtos só são recebidos no CD após o pedido do cliente, ao invés de serem mantidos estoques até a montagem do pedido. Atualmente, há uma tendência de que o ciclo de vida dos produtos sofreram redução, principalmente produtos eletrônicos, que costumam ser lançados no mercado de forma contínua, assim, se tornam obsoletos muito rapidamente.

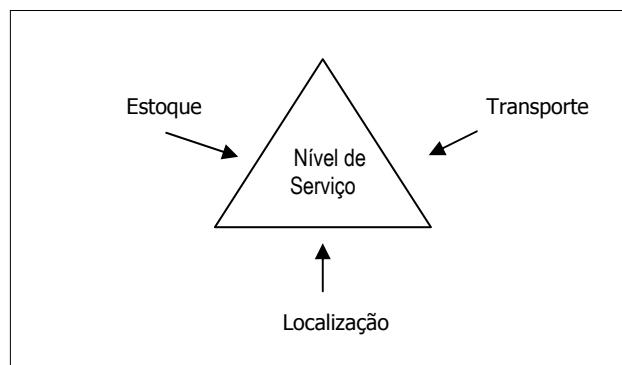
Com isso, hoje, é difícil para uma empresa estar no mercado competitivo sem que se tenha um planejamento estratégico que inclua logística.

2.3 O PLANEJAMENTO LOGÍSTICO

Para uma empresa determinar como distribuir os seus produtos para os clientes, faz-se necessário o planejamento estratégico

de integração de Centros de Distribuição, rotas de transporte, níveis de estoque e procedimento para processar os pedidos com agilidade e qualidade de serviço.

O planejamento logístico, de acordo com BALLOU (2001), tenta resolver três grandes problemas de logística que influenciam no Nível de Serviço. São eles: 1) Estoque de produtos; 2) Localização de Instalações e 3) Decisões de Transportes, como apresentado na FIG. 2.1.



Fonte: BALLOU, 2001

FIG. 2.1 Triângulo da tomada de Decisão Logística

O planejamento logístico pode ser comparado a um triângulo de decisões logísticas, formado por estratégias descritas a seguir (BALLOU, 2001):

1) Estratégias de Estoque: Estudo do nível de estoque, disposição dos produtos dentro do armazém e os métodos utilizados para controlar esses estoques.

2) Estratégias de Transportes: Escolha do modo de transporte, programação dos modos de transporte e roteirização, além do tamanho e da consolidação cargas para o embarque.

3) Estratégia de Localização: Escolha do número, tamanho e localização das instalações, bem como a designação dos pontos de estocagem (CD's) para os produtos; pontos de fornecimento; designação das demandas para os pontos de estocagem ou pontos de fornecimento; localização dos pontos de armazenagem.

Essas estratégias de interesse são inter-relacionadas e devem ser planejadas como uma unidade, embora sejam, ainda comum planejá-las separadamente, o que ocasiona gargalos no sistema logístico, cada item tem um impacto importante no projeto do sistema.

Segundo CHRISTOPHER (1992) para conseguir uma melhoria no processo logístico, é importante enxergar o processo como um todo, em vez de focalizar individualmente seus componentes. Especificamente, as interfaces entre os componentes devem ser examinadas detalhadamente.

Para melhor entendimento do planejamento, a seguir serão detalhadas as funções do triângulo da tomada de decisão na FIG. 2.1.

2.3.1 FUNÇÃO DOS ESTOQUES

A função de estocagem de materiais é a reorganização de produtos nos CD's para a entrega aos consumidores finais ou aos varejistas.

Se hoje em dia a atividade de estocagem tem uma importância maior do que há alguns anos, a tendência é de que, para os próximos anos, essa atividade se torne ainda mais expressiva, porque com a automatização da estocagem há uma redução no tempo de entrega dos produtos ao cliente final, e aumento da satisfação do cliente. Com o *e-commerce* (comercio eletrônico), uma tendência mundial praticada em vários países e em aplicação no Brasil, a gerência de estoque se torna cada dia mais relevante. Diante dessa realidade, os pedidos de entrega tornarão-se ainda mais pulverizados, exigindo uma maior competência do processo de armazenagem, principalmente no que se refere à separação de materiais. Por outro lado, as pequenas margens de contribuição continuarão sendo uma

realidade, tornando as informações de custos cada dia mais importantes.

2.3.2 FUNÇÃO DOS TRANSPORTES

É função dos transportes é oferecer meios para movimentar as mercadorias, utilizadas nos processos produtivos, providenciando o deslocamento dos produtos resultantes aos seus mercados, cobrindo o tempo e o espaço que separam os clientes de suas necessidades.

O transporte passou a ser parte integrante do processo de produção. Qualquer medida que leve à redução dos custos de serviços de transportes tem como consequência o acréscimo da eficiência do sistema de alocação dos recursos econômicos, propiciando um intercâmbio mais fácil para outras mercadorias e uma disponibilidade maior de produtos para os clientes. Além disso, o transporte eficiente libera recursos para outras atividades de cunho econômico e social.

2.3.3 FUNÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES

A função da localização de instalações é importante, porque exerce um impacto a longo prazo no desenvolvimento da cadeia de suprimentos. Devem ser definidos o número, o dimensionamento e a localização exata das instalações integrantes de uma Cadeia de Suprimentos e torna-se oneroso fechar as portas de uma instalação ou mudá-la para outra localidade. Uma boa decisão sobre localização de instalações pode ajudar a cadeia de suprimentos a melhorar os níveis de serviços aos clientes, mantendo custos baixos. Uma instalação mal localizada dificulta o desempenho eficiente da cadeia produtiva.

É necessário que a área para a localização de um CD seja ampla, de fácil acesso e em local otimizado, para facilitar a manobra dos veículos e atender a eventuais demandas. Um exemplo de local ideal para localização de um CD com área ampla e afastado do centro urbano, pode ser observado na FIG 2.2, a seguir:

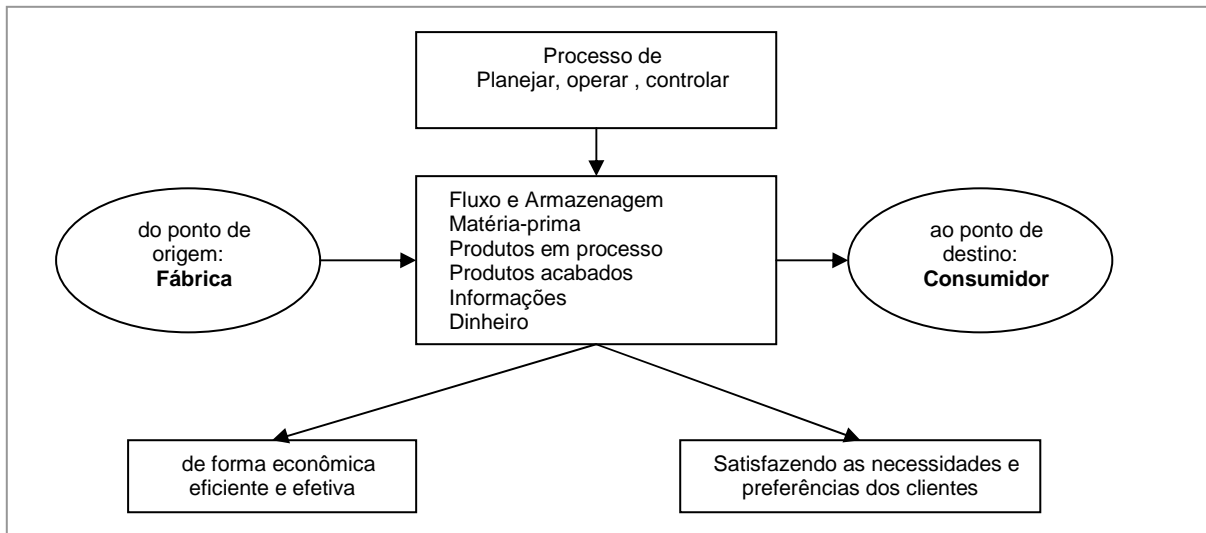


FIG. 2.2 Centro de Distribuição

2.4 LOGÍSTICA E A CADEIA DE SUPRIMENTOS

A definição de Logística, de acordo com o CLM - *Council of Logistics Management*, é "o processo de planejar, implementar e controlar o fluxo de estocagem de mercadorias, serviços e de toda informação relacionada, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, de forma a atender às necessidades do cliente".

A logística conceitual é esquematizada por (NOVAES, 2001) conforme a FIG. 2.3:



Fonte: NOVAES (2001)

FIG. 2.3 Elementos Básicos da Logística

Essas etapas; quando agrupadas numa seqüência lógica são comumente chamada cadeia de suprimentos.

Define-se uma Cadeia de Suprimentos típica por meio de um modelo simples, composto por fornecedores, fábricas, Centros de Distribuição e clientes, como mostra o esquema da FIG. 2.4.

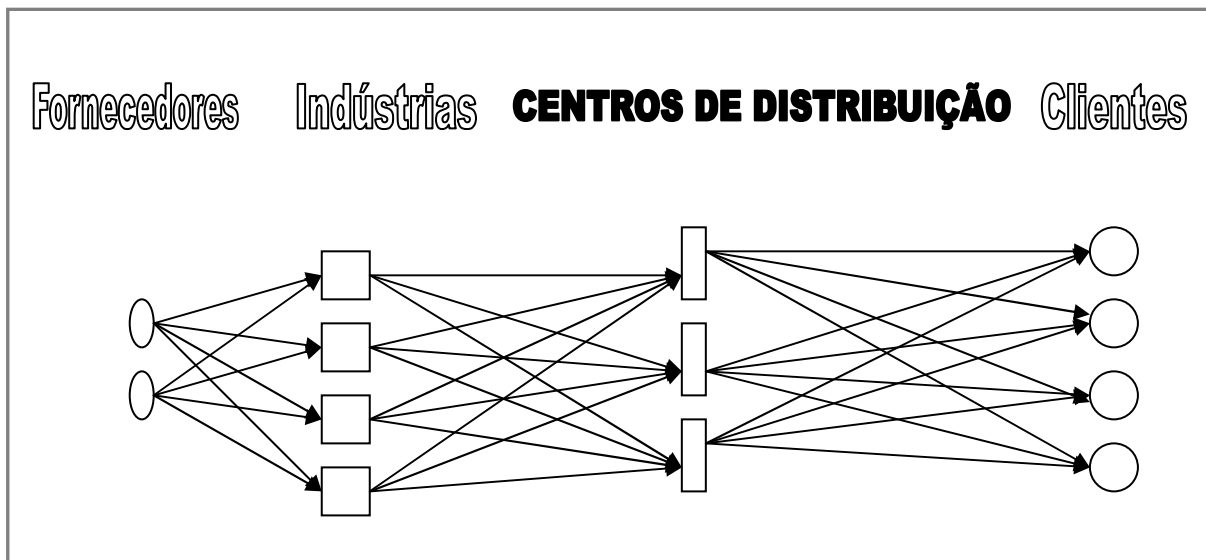


FIG. 2.4 Cadeia de Suprimentos

Até duas décadas atrás, o desempenho das empresas dos mais diferentes setores era uma área relativamente pouco explorada por pesquisadores. As diversas atividades logísticas como transportes, gestão de estoques e processamento de pedidos,

normalmente eram gerenciadas de modo independente por meio das diferentes áreas organizacionais, o que acarretava custos desnecessários e maiores dificuldades de controle e coordenação dos fluxos de bens e serviços (LEAL, 1995). Essa visão integrada, da cadeia de suprimentos e de seus fluxos representados pelas atividades logísticas, é recente, e trouxe vantagens em termos de disponibilidade, desempenho operacional e confiabilidade de serviço que, segundo BOWERSOX (1996), são características a serem medidas num serviço de logística.

A localização de Centros de Distribuição, portanto, consiste em uma importante decisão que dá forma, estrutura e conformidade ao sistema logístico. Constitui-se em uma das etapas iniciais do processo de planejamento, porque sua inserção e relacionamento com o espaço urbano devem ser integrados com os demais sistemas da cadeia de suprimentos.

2.5 FUNÇÃO DO CD

Os Centros de Distribuição têm basicamente a função de distribuição de mercadorias, sendo componentes essenciais do sistema logístico, atuam como intermediários no fluxo do produto entre a fábrica e o mercado. Nele, a carga é recebida e feita a triagem para posteriormente se fazer a transferência para o mercado consumidor.

As cargas são transportadas por frotas de caminhões, compostas de veículos de distintos tipos e categorias. Tais veículos podem ser utilizados no processo de distribuição das mercadorias, desde a origem até o destino, em dois fluxos:

Distribuição Local - feita por veículos locais (caminhões leves, furgões)

Distribuição entre CD's - feita por veículos de longo percurso (caminhões médios, semi-pesados, pesados).

Os CD's podem ter tanto a função de distribuição local, onde a mercadoria é entregue aos clientes de destino, como transferência, onde a carga é transferida para outro CD que fará a distribuição.

Os serviços de transporte das cargas que entram e saem dos centros de distribuição podem ser de responsabilidade do cliente, dos próprios CD's ou de empresas de transporte contratadas pelos CD's.

Conforme o volume dos pedidos, que podem ser aleatórios ou programados, aloca-se a quantidade necessária de veículos e pessoal e determinam-se as rotas para entrega das mercadorias.

Segundo LACERDA (2000), atualmente, os CD's são típicos sistemas de distribuição escalonados, em que o estoque é posicionado em vários elos de uma cadeia de suprimentos: são os chamados CD's avançados. Seu objetivo é permitir rápido atendimento às necessidades dos clientes de determinada área geográfica, distante dos centros produtores. Para prover utilidade no tempo, os estoques são trazidos para um ponto próximo aos clientes e os pedidos são então atendidos por esse CD.

Atualmente, os CD's têm passado por transformações profundas, que envolvem serviços além da tradicional estocagem de curto e médio prazo. Essas mudanças são coerentes com as transformações por que passa a logística: as empresas buscam cada vez mais agilidade, no fluxo de materiais; redução no tempo de entrega de mercadorias, utilizando as mais variadas técnicas para atingir tais objetivos. Isto é possível com o

emprego de sistemas como o *cross docking*¹ e outras técnicas como o *just in time*².

2.6 OPERAÇÃO DE UM CD

BALLOU (2001), descreve a seqüência de operações desenvolvidas em um CD típico. Desde a chegada da mercadoria nos veículos até liberação dos veículos que farão a entrega desses produtos no destinados aos clientes. Porém, antes das mercadorias chegarem ao CD, é feito um planejamento que pode ser por pedidos ou verificação da disposição de produtos no estoque, planejamento baseado nos pedidos recebidos pelos clientes. As operações básicas realizadas por um CD típico, fatores básicos nos quais o processo se torna altamente eficaz, são:

Recebimento da Carga, fase na qual o produto ainda não consta no estoque e deve ser contabilizado;

Estocagem, fase em que o produto está estocado e deve transferido para a área de separação ou *picking*³;

Separação ou *picking*, fase que contempla as operações de separação e conferência dos produtos conforme estabelecido nos pedidos;

¹ *Cross docking* - sistema de distribuição no qual produtos recebidos no depósito ou no centro de distribuição (CD) não são armazenados, mas sim preparados para serem enviados aos pontos de venda de destino (OLIVEIRA, 2003).

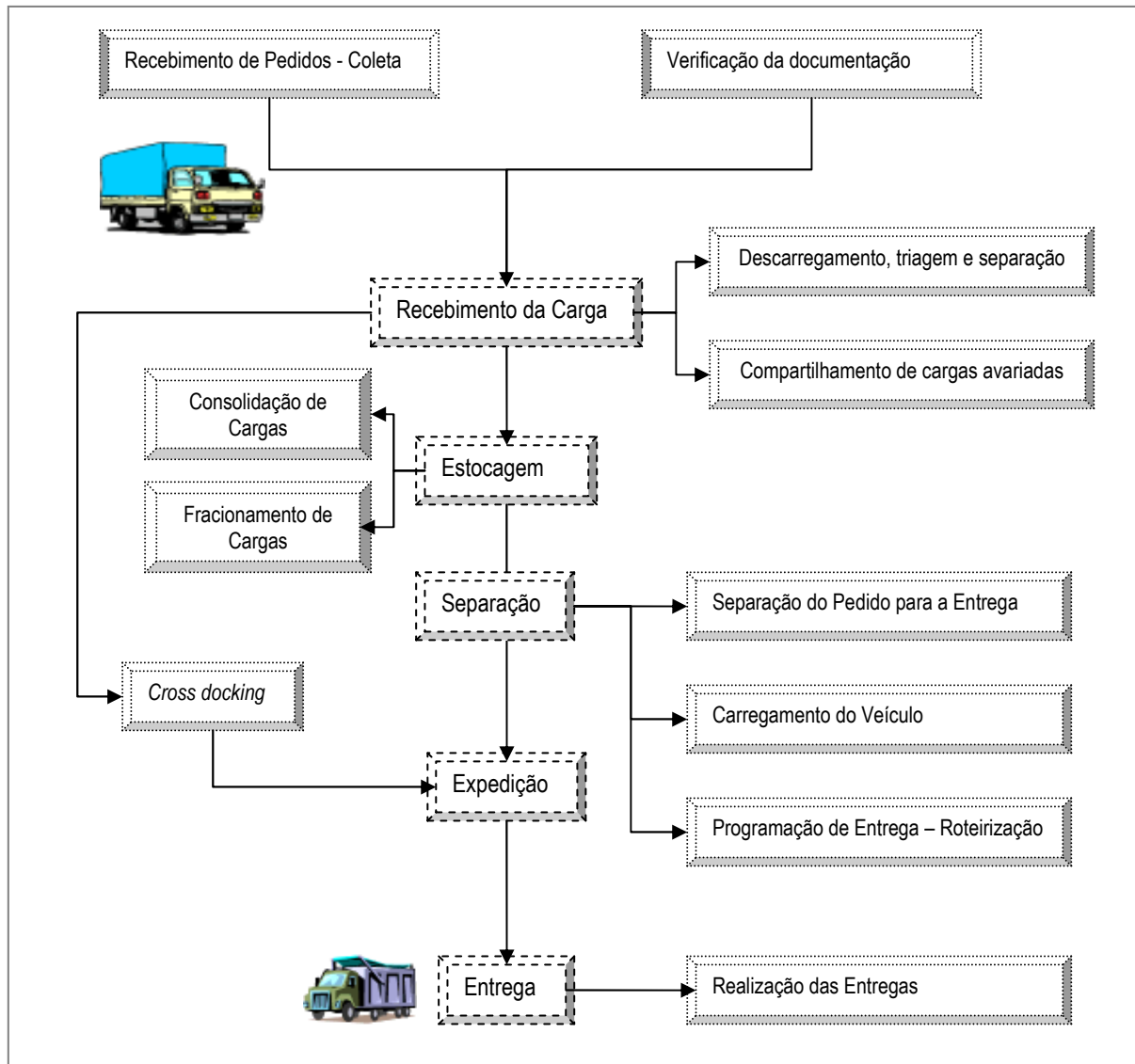
²*Just in Time* - é minimizar a necessidade de armazenagem e manutenção de estoques ao ajustar o suprimento e a demanda no tempo e na quantidade, de modo que produtos ou matérias-primas estejam disponíveis nos montantes requeridos, no momento justo (GOEBEL, 2003).

³ *Picking* - A atividade de **picking** pode ser definida como a atividade responsável pela coleta do **mix** correto de produtos, em suas quantidades corretas da área de armazenagem para satisfazer as necessidades do consumidor (RODRIGUES, 2003).

Expedição, envio dos volumes até a área de embarque para carregamento dos veículos;

Entrega, distribuição carga pelas vias de acesso.

Por sua vez, existem atividades de suporte ou derivadas para cada uma dessas atividades, apresentadas na FIG. 2.5 a seguir:



Autor: Baseado em BALLOU (2001)

FIG. 2.5 Atividades de um CD

A atividade de recebimento da carga é precedida do recebimento do pedido (coleta) e da verificação da documentação.

Após a verificação da documentação, busca-se montar o pedido; se as mercadorias estão disponíveis no estoque, é separada remessa para a entrega.

As cargas que chegam ao CD são recebidas e descarregadas para ser feita a estocagem. O próximo passo é a separação do pedido, expedição e realização das entregas.

As operações realizadas em um CD serão detalhadas a seguir, desde o recebimento do pedido, a chegada dos veículos até a entrega ao destino final.

2.6.1 RECEBIMENTO DA CARGA

As cargas chegam ao CD transportadas por veículos, a primeira providência é a conferência da mercadoria que por muitas vezes é feita na própria portaria. O veículo é encaminhado ao local de descarga se não houver irregularidades, caso contrário, são tomadas as providências específicas.

Depois da documentação conferida, é feita a descarga do veículo. Nas plataformas de descarga, a mercadoria é inspecionada, conferindo-se suas quantidades e condições físicas. As cargas são registradas em um banco de dados, para esse processo, são utilizados códigos de barras ou coletores de dados. São descarregados os produtos perfeitos e aqueles com algum tipo de problema, são separados.

Após a descarga, é feita a triagem e a classificação dos produtos antes da movimentação para o estoque. Para estocagem, as cargas são unitizadas e movimentadas por meio de corredores de circulação dentro dos CD's, o transporte é feito por equipamentos adequados.

2.6.2 ESTOCAGEM

O manuseio das cargas para a estocagem é feito após a entrada do veículo carregado no CD. A carga é movimentada por meio de corredores de circulação para locais pré-estabelecidos dentro do CD e o transporte é feito por meio de equipamentos de movimentação, de acordo com cada tipo de carga.

As cargas são armazenadas em pallets ou em módulos de estocagem e separadas por tipo, sendo a posição da carga marcada no fim da armazenagem.

2.6.3 SEPARAÇÃO DE PEDIDOS (*PICKING*)

Segundo RODRIGUES (2003), a atividade de *picking* pode ser definida como a atividade responsável pela coleta de produtos, em suas quantidades corretas da área de armazenagem para satisfazer as necessidades do consumidor. O armazém é dividido em células de operação ou trabalho, normalmente corredores (cada célula pode ter um ou mais corredores) e são recolhidas as mercadorias relacionadas no pedido. Deve-se, portanto, destinar áreas no Centro de Distribuição para a montagem dos pedidos, já que esta atividade requer uma quantidade desproporcional de tempo e mão de obra em relação às outras atividades.

Dentro de um CD a atividade de *picking* é considerada como uma das mais críticas. Dependendo do tipo de armazém, 30% a 40% do custo de mão-de-obra estão associado à essa atividade. *Picking* é uma atividade repetitiva e propensa a erros, além disso representa 60% dos custos operacionais de um CD (LIMA, 1989), devendo ser bem acompanhada. Aliado ao custo, o tempo dessa atividade influi de maneira substancial no tempo de **ciclo do pedido**, ou seja, o tempo entre a recepção de um pedido do cliente e a entrega correta dos produtos.

2.6.4 EXPEDIÇÃO

Na etapa de expedição dos pedidos, os veículos locais páram nas posições de carregamento. Realiza-se a verificação do pedido e inicia-se o processo de carregamento, em função do peso ou volume da mercadoria, de modo a otimizar a capacidade do veículo. As mercadorias devem ser colocadas no veículo na ordem inversa. Depois de completado um lote, programa-se sua entrega, sua documentação e carrega-se o veículo.

Após a documentação das cargas (etiquetas de endereçamento e conhecimento de embarque) a serem entregues é feito o carregamento do veículo, que se dirige à portaria e, posteriormente, à via de acesso para fazer a distribuição. Caso necessário, é feita a pesagem da carga para determinação do custo do transporte.

Após percorrer a rota e passar por todos os pontos de entrega, a equipe retorna ao CD trazendo toda a documentação que comprove que os produtos foram devidamente aceitos pelos clientes (ALVES, 2000).

2.7 OPÇÕES DE PROCEDIMENTO OPERACIONAL

O centro de distribuição pode adotar operações que contribuem sensivelmente para a redução do processo de manuseio de carga. São elas:

- *Cross docking*, são sistemas de distribuição nos quais produtos recebidos no depósito ou no centro de distribuição (CD) não são armazenados, mas sim preparados para serem enviados aos pontos de venda de destino (MARQUES & DI SERIO, 2003). Porém, para que esse processo seja vantajoso, é importante que seja feita uma programação eficiente para a entrega dessa mercadoria.

Entregas com o próprio veículo de transferência.

Os Centros de Distribuição priorizam a velocidade e a facilidade do fluxo do produto. Assim, os CD's devem reestruturar suas operações, com a eliminação de movimentações desnecessárias e a redução de estoques, investindo em tecnologias de armazenagem, movimentação e distribuição. Para a solução desses problemas, os especialistas contam com a Tecnologia da Informação, que auxilia o rastreamento da carga, identificando cada local por onde passa o carregamento por meio de satélites e que pode ser feito também utilizando um código de barras.

2.8 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Neste capítulo, foi apresentado detalhadamente o funcionamento de um CD e suas principais funções em relação à Cadeia de Suprimentos. O CD aparece, dentro do sistema logístico como um dos elos de ligação entre o mercado consumidor e o fornecedor.

Como um dos problemas principais no que diz respeito a redução dos custos globais da cadeia de suprimentos encontra-se na localização de um CD na mesma. O Capítulo III a seguir, será apresentada uma revisão bibliográfica sobre os Modelos de Localização propostos ao longo dos anos.

3 **MODELOS DE LOCALIZAÇÃO**

3.1 **CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

O assunto **localização de instalações** é um campo muito amplo e antigo que envolve várias áreas dentre as quais se destacam, a Logística, a Economia e a Pesquisa Operacional.

A questão da localização de facilidades diz respeito à escolha de um ou mais locais dentre uma série de outros possíveis que servirão de pontos de oferta de determinados tipos de "serviços", para atender à demanda de um outro conjunto de pontos, considerados de "demanda", de modo a otimizar a função objetivo definida, obedecendo às restrições do problema específico em estudo (MOREIRA, 1990).

Em termos genéricos, a natureza das facilidades pode ser das mais diversas e os objetivos de cada tipo de serviço oferecidos diferentes, necessitando então de técnicas adequadas para resolver o problema da localização ótima (LOBO, 2003).

Vários pesquisadores como Fermat e Torricelli (século 17), Stein (século 19) e Weber (século 20) durante séculos já excursionaram neste setor (MOREIRA, 1990).

Neste capítulo será apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre problemas clássicos de localização. Eles podem ser considerados alicerces para o desenvolvimento de estudos que os seguiram.

3.2 **LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES**

Os modelos de localização de facilidades podem ser classificados em três categorias quais sejam:

modelos contínuos nos quais a facilidade pode ser localizada em qualquer ponto do plano ou subconjunto do mesmo;

modelos em grafos e redes, onde a facilidade só pode ser alocada em pontos pré-estabelecidos, nós da rede e;

modelos heurísticos que são quaisquer princípios ou conceitos que contribuam para reduzir o tempo médio de pesquisa para a solução do problema de localização (PEREIRA, 2001).

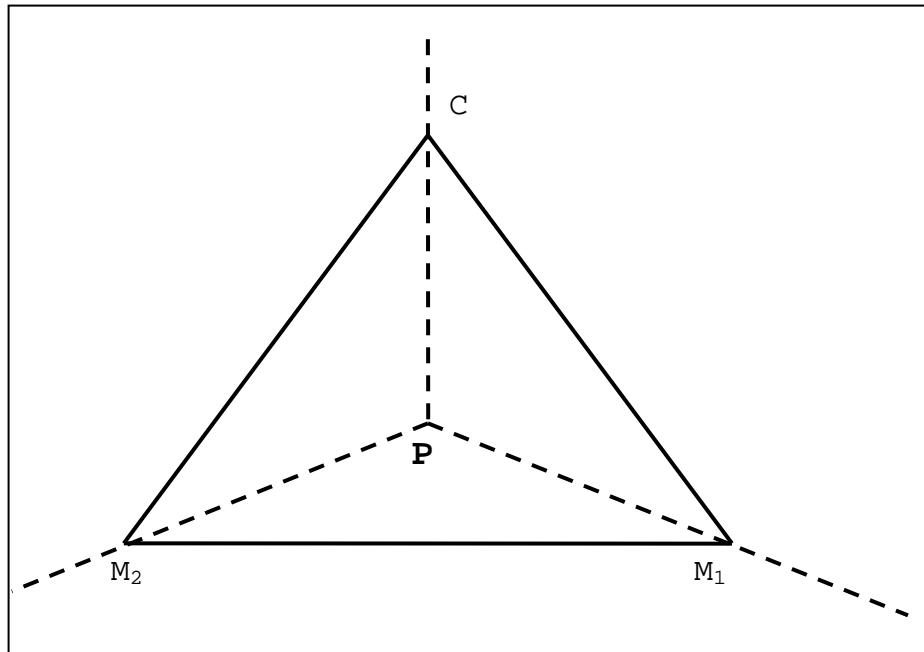
Alguns trabalhos de cada tipo são apresentados a seguir e adicionalmente os **modelos gravitacionais** (que podem ser também como contínuos):

3.2.1 MODELOS CONTÍNUOS

WEBER (1909) apud FEARON (1999), traduzido do original alemão para o inglês em 1929, desenvolveu um dos primeiros trabalhos conhecidos sobre localização de uma instalação industrial. O trabalho de Weber visa a redução dos custos de transportes e de mão-de-obra, levando em consideração a distribuição no espaço e uma concorrência perfeita, inexistência de vantagens monopolistas em função da escolha locacional; coeficientes de produção fixos; existência de mão-de-obra abundante em função da taxa salarial; conhecimento perfeito da localização das matérias primas, da posição e do tamanho do mercado consumidor ou grupo de indústrias, tais como matérias-primas perecíveis, a umidade do ar e outros fatores que podem condicionar certos tipos de atividades (MAIA, 2001).

Para explicar a predominância dos custos de transportes, Weber recorre ao triângulo locacional da FIG. 3.1 que se constitui por dois pontos diferentes de fornecimento de matérias-primas, representado na FIG. 3.1 onde M_1 e M_2 são fornecedores de matéria-prima e C é o centro consumidor. O

ponto de equilíbrio **P** das três forças é o ponto capaz de proporcionar o menor custo para a firma, ou seja, ponto em que os custos de transportes tanto da matéria-prima requeridas quanto do produto final, matéria-prima processada tenham a mesma distância.



Fonte: MAIA (2001)

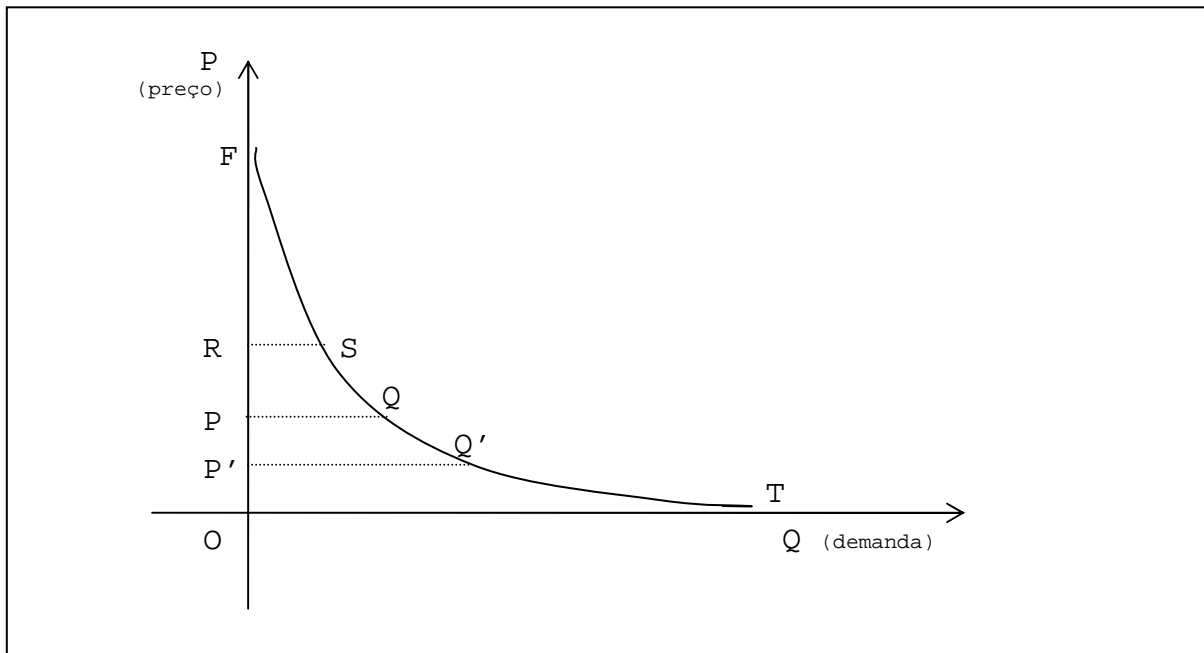
FIG. 3.1 Triângulo Locacional

Segundo Weber, a localização ótima da instalação se dará exatamente no centro do triângulo locacional e seu trabalho foi considerado um marco na teoria da localização. O principal objetivo é minimizar os custos para a instalação de indústrias. Porém, o método é bastante simples e se restringe à localização de uma única instalação.

VON THUNEN (1826) apud SANDERS (2003) foi um dos primeiros pesquisadores a desenvolver um modelo analítico básico dos relacionamentos das localizações entre mercados, produção e distância, considerando os custos relativos de transportar produtos de culturas diferentes (tais como grãos) ao mercado central. Von Thunen determinou o uso de terra para agricultura em torno de uma cidade e as atividades mais produtivas

localizar-se-iam mais próximas à cidade e as menos produtivas ficariam em locais mais distantes à cidade.

Pelo modelo de LÖSCH (1954), a escolha do local ideal para a localização de uma facilidade é a área de mercado. Assim, a partir da demanda individual por um dado produto pode ser determinada a área de mercado da firma (FIG 3.2).

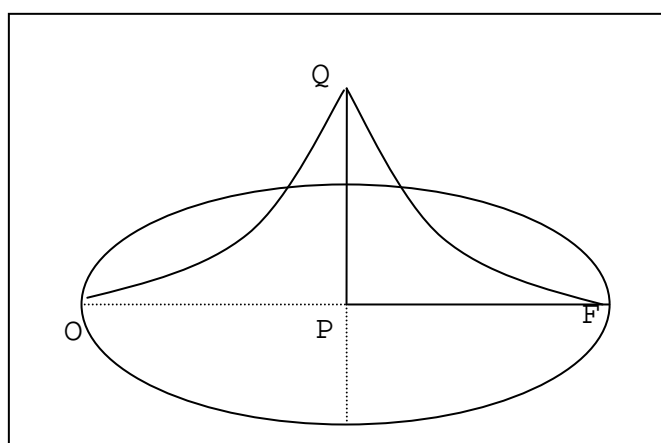


Fonte: MAIA, 2001

FIG. 3.2 Curva de Demanda como Função do Mercado

À medida em que os produtos vão se distanciando da fábrica, os preços vão ficando mais elevados, dado o acréscimo do custo de transporte, assim, diminuindo-se a quantidade vendida. Ao analisar o gráfico da FIG. 3.2, observa-se que o consumidor localizado em **R** terá um preço de mercado **OR** para a quantidade **RS** vendida. O maior preço estabelecido pelo produto é **OF** e o maior custo de transporte admitido é **PF**. No ponto **F**, nenhum produto será vendido se a fábrica estiver localizada em **P**. (MAIA, 2001).

Girando a curva da FIG. 3.2 em torno do eixo **PQ**, obtém-se o "cone de demanda de Lössch" representado na FIG. 3.3.



Fonte: PEREIRA, 2002

FIG. 3.3 Cone de Demanda de Lössch

O volume do cone é igual à demanda total possível, se o preço de fabricação do produto for **P**.

HOOVER (1937) observou que as taxas de transportes aumentam com a distância. Qualquer redução no preço de frete de origem implica na ampliação da área de mercado; na visão de Lössch, é a área de mercado que vai determinar a escolha ideal para a localização da fábrica.

Hoover classifica os fatores que aumentam a produção em:

- 1) economias de larga escala: consequência do aumento da escala de produção da firma num ponto;
- 2) economias de localização: os custos unitários de produção diminuem devido à localização da firma próxima a outras firmas do mesmo setor e;
- 3) economias de urbanização: ofertas de serviços e infraestrutura necessária no sítio onde está alocada a firma.

Em 1963, Leon Cooper apud LOBO (2003) apresenta um método matemático para encontrar a melhor solução para o problema de localização e do número de facilidades a serem instaladas. Simultaneamente, determinam-se as localidades a serem atendidas pelas facilidades.

LOVE et al (1988) formularam o problema de um modelo de programação linear para a instalação de centros de distribuição com capacidade q_i de modo a minimizar o custo total do sistema. Utilizaram uma variável binária y_j para representar a decisão de instalar um CD em cada um dos n pontos possíveis:

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{se } j \text{ for selecionado para a localização de um CD;} \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases}$$

e variáveis x_{ij} = percentual de demanda do cliente i atendida pelo CD_j .

A cada um dos n pontos elegíveis para a instalação de um centro de distribuição de mercadorias está associado um custo fixo f_i que representa o custo de aquisição, aluguel ou construção do centro de distribuição, e custos fixos de operação.

O custo de transporte dos produtos entre as fábricas (pontos de suprimentos primário) e os centros de distribuição está no parâmetro c_{ij} .

Assim, o problema foi formulado como a necessidade de calcular $\{y_j, x_{ij}\}$ com i = mercado consumidor e j = possíveis locais para a instalação do CD.

$$\min \sum_{j=1}^n [f_j \cdot y_j + \sum_{i=1}^m c_{ij} \cdot x_{ij}] \quad \text{EQ. 3.1}$$

sujeito as restrições:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad j=1..n \quad \text{EQ. 3.2}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot r_i \leq q_i \quad i=1..m \quad \text{EQ. 3.3}$$

$$y_j - x_{ij} \geq 0 \quad \forall \rightarrow i, j \quad \text{EQ. 3.4}$$

$$N_{\min} \leq \sum_{j=1}^n y_j \leq N_{\max} \quad \text{EQ. 3.5}$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad j=1..n \quad \text{EQ. 3.6}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall \rightarrow i, j \quad \text{EQ. 3.7}$$

Na equação da função objetiva EQ. 3.1 o termo f_i é o custo fixo de instalação do centro de distribuição.

A restrição da equação é EQ. 3.2 para garantir que todos os clientes serão integralmente atendidos;

A restrição da equação é EQ. 3.3 para garantir que nenhum centro de distribuição ultrapassará a sua capacidade máxima;

A restrição da equação é EQ. 3.4 para garantir que apenas CD's selecionados poderão efetuar transferência de produtos e;

A restrição da equação é EQ. 3.5 para garantir que o número de CD's instalados permanecerá dentro dos limites previamente estabelecidos (N_{\min} , N_{\max});

A EQ. 3.6 é para garantir que y_i é um número binário, diz se a instalação será aberta ou não.

A EQ. 3.7 é para garantir que x_{ij} será um número maior que zero.

A formulação pode ser estendida para o problema de localização com multi-produtos, onde cada CD instalado poderá atender a demanda de m clientes por p produtos (LEAL, 1995). Neste caso é necessário apenas acrescentar um índice às variáveis de decisão e parâmetros de capacidade e demanda que na EQ. 3.8 foi o índice k que é referente aos variados produtos. A função objetivo de um problema "multi-produto" pode ser representada por:

$$\min \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n [f_{jk} \cdot y_{jk} + \sum_{i=1}^m c_{ijk} \cdot x_{ijk}] \quad \text{EQ. 3.8}$$

onde:

k - índice de produtos;

f_{ik} - custo fixo associado à instalação/operação de um CD que trabalha com o produto k no local j ;

c_{jik} - custo variável associado à transferência do produto k a partir do CD_j para o cliente i ;

$$y_{jk} \begin{cases} 1, & \text{se } j \text{ for selecionado para a localização de um CD} \\ & \text{que trabalhe com o produto } k; \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

x_{ijk} - fluxo de demanda do cliente i pelo produto k atendida a partir do CD_j .

$$x_{ijk} \geq 0 \text{ para } \forall i, \forall j, \forall k.$$

Pode ser observado que esta formulação pode ser utilizada também para um problema dinâmico. Neste caso, o índice k passa a representar períodos ao invés de produtos, e deve ser excluído de f_{ik} e y_{jk} , já que os CDs são instalados em caráter definitivo para o horizonte de análise (LEAL 1995).

ERLENKOTTER (1978) apresentou um dos mais eficientes algoritmos conhecidos para o tratamento do problema de localização discreta sem restrição de capacidade baseado no algoritmo de branch & bound, o modelo sugerido pelo autor concentra-se na resolução de uma formulação dual condensada problema considerado, o que proporciona uma significativa redução do tempo de processamento requerido.

Em 1978 GEOFFRIN, GRAVES & LEE apud LEAL (1995) apresentam um eficiente modelo para a resolução do problema de localização discreta com multi-produtos e com restrições de capacidade, o qual foi utilizado na implementação de diversos pacotes comerciais. O modelo proposto é baseado em um algoritmo de decomposição (algoritmo de Benders)⁴ que permite a

⁴ O **algoritmo** de **Benders**, para um problema de programação inteira mista, converge em um número finito de iterações para uma solução ótima porque cada vez que o problema de programação inteira é resolvido, uma nova restrição é obtida e existe somente um número finito de tais restrições possíveis, pois o número de pontos extremos da região viável do dual do problema é finito. Outra vantagem do **algoritmo** consiste do fato deste

subdivisão do problema principal em uma seqüência de problemas de transportes facilmente tratáveis.

HARKNESS & REVELLE (2003) mostram um tipo de modelo de localização de instalações usando programação linear inteira utilizando o método de Branch and Bound.

São três os tipos de custos analisados pelos autores: custos fixos para a abertura de uma instalação (depósito); custo por unidade de produção; custo de transporte unitário.

Os modelos de localização existentes usando Programação Linear serão apresentados a seguir. São eles:

- Modelo de Programação Linear com Restrição de Capacidade;
- Modelo de Programação Linear sem Restrição de Capacidade.

Localização de Instalações sem Restrição de Capacidade

$$\text{Min} \sum_{i \in I} f_i y_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (t_{ij} + e_i) d_i x_{ij} \quad \text{EQ. 3.9}$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \geq 1 \quad \forall j \in J \quad \text{EQ. 3.10}$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad \text{EQ. 3.11}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad \text{EQ. 3.12}$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \text{EQ. 3.13}$$

Onde:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{se } j \text{ for selecionado para a localização de um CD;} \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases}$$

f_i = custo fixo de instalação do CD;

t_{ij} = Custo de Transporte;

produzir uma solução factível para o problema original a cada iteração. (SHAPIRO, 2001)

e_i = Custo de Fabricação;

A restrição da EQ. 3.10 assegura que toda demanda será atendida; a restrição da EQ. 3.11 obriga a instalação a produzir demanda;

O valor de x_{ij} na EQ. 3.12 deve ser positivo;

A EQ. 3.13 trata-se de um número binário, diz se a instalação será aberta ou não.

Cada local tem potencial para investimentos com suas próprias características, vantagens e desvantagens.

Localização de Instalações com Restrição de Capacidade

O problema de localização de instalação com restrição de capacidade corrige parcialmente a maior desvantagem do problema sem restrição de capacidade, sendo que esta restrição de capacidade pode ser com limite inferior ou limite superior de capacidade. Para se aproximar do mundo real, pode-se dizer que a escala de limite de saída de produto representa a escala sob a qual é lucrativo produzir dado um certo nível e certo tipo de investimento em instalações e equipamentos.

As restrições de capacidade podem ser entendidas como a delimitação da lucratividade (lucro) de se produzir. Define-se quanto ganhar para Entretanto, se a função de custo real estiver disponível para a otimização, essa escala pode ser delimitada.

$$\text{Min} \sum_{i \in I} f_i y_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad \text{EQ. 3.14}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \geq 1 \quad \forall j \in J \quad \text{EQ. 3.15}$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad \text{EQ. 3.16}$$

$$\sum_{j \in J} d_j x_{ij} \leq s_i y_i \quad \forall i \in I \quad \text{EQ. 3.17}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad \text{EQ. 3.18}$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \text{EQ. 3.19}$$

Na EQ. 3.14, o termo c_{ij} é um substituto do $(t_{ij} + e_i)d_j$, onde t_{ij} são os custos de transportes; e_i são os custos de estocagem; d_j as demandas requeridas pelo mercado consumidor; e os outros termos são iguais ao da função anterior, localização de instalações sem restrição de capacidade.

Neste problema, o objetivo é minimizar o custo total envolvido, a diferença é apenas na restrição da equação EQ. 3.17 que considera a capacidade. Fazendo com que o pedido seja sempre menor que a produção, consegue-se satisfazer a restrição de capacidade da instalação produtiva.

Este problema com limite de capacidade é mais difícil de obter uma resposta inteira do que o problema sem limite de capacidade. Quanto maior for a capacidade da instalação, mais a fórmula se aproxima de um problema sem restrição de capacidade.

3.2.2 MODELOS EM GRAFOS E REDES

Um estudo sobre a localização de mais de uma instalação foi desenvolvido por HAKIMI (1964) mostra que, quando um problema de localização de M instalações é formado sobre uma rede de transportes, a solução ótima resultará em todas as instalações sejam localizadas nos nós da rede.

Este resultado, conhecido como Teorema de Hakimi, garante a existência de pelo menos um conjunto de p -medianas nos nós de um dado grafo G .

Hakimi considerou duas categorias de problemas de localização: o problema de localização "Mini-max" e o problema de localização "Mini-soma".

O Problema Mini-max:

O problema "mini-max" consiste em determinar um nó u de um dado conjunto de nós $V(G)$ de grafo G (finito, conexo, não-

orientado) de maneira que seja minimizada a soma das máximas distâncias do nó u até todos os nós deste grafo.

Vários algoritmos foram desenvolvidos com este objetivo, podendo ser citados (PEREIRA, 2001):

- Algoritmo de *Elzinga-Hearn*;
- Algoritmo de *Brandy-Rosenthal*;
- Algoritmo iterativo de gráficos *Brandy-Rosenthal*;

Algoritmo de Drezner-Wesolowsky.

O Problema Mini-soma:

O problema "mini-soma" consiste em determinar um nó $V(G)$ do grafo de maneira a minimizar a soma das distâncias do nó u até todos os nós do grafo.

LEVY (1967) in MOREIRA (1990) concluiu que os resultados de Hakimi são válidos, desde que a função relativa aos custos fixos de transportes seja côncava em relação a cada par de vértices adjacentes da rede. Quando isso não acontece, devem ser criados vértices adicionais, de modo que a busca de soluções ótimas fique sempre restringida aos vértices da rede.

Dois tipos de problemas de localização de facilidades em redes ou grafos podem surgir:

- localizar um número determinado de instalações onde a distância média percorrida pelos usuários seja minimizada, ou;
- localizar uma instalação partindo de N pontos distribuídos espacialmente em uma região (NOVAES, 1989).

NOVAES (1989) mostra que é possível representar a localização de um CD tendo como base uma rede de transportes disponível. Neste caso as instalações deverão estar sobre um circuito da rede, ou mais particularmente um nó.

3.2.3 MODELOS HEURÍSTICOS

Os métodos heurísticos em logística são definidos como sendo quaisquer princípios ou conceitos que contribuem para reduzir o tempo médio de pesquisa para a solução do problema de localização. Alguns autores chamam estes conceitos de "regras" que guiam a resolução do problema. Essas regras, segundo BALLOU (2001), conseqüências do processo de solução, permitem que várias soluções sejam obtidas rapidamente. Porém, os métodos heurísticos não garantem que a solução ótima seja encontrada.

Os métodos heurísticos têm sido utilizados como metodologia para o localização de CD's. Uma abordagem clássica, e ainda muito útil para problemas de localização de CD's, foi desenvolvida por KUENH & HAMBURGER (1963). A heurística desenvolvida por estes autores consiste de três premissas:

- Os pontos com maior potencial para a localização de CDs são aqueles próximos a pontos de demanda;
- Soluções quase-ótimas para o problema de localização poderão ser obtidas se cada estágio do processo de solução em que o CD proporcionar a maior redução da função custo total for adicionado ao sistema;
- Somente um pequeno subconjunto de localizações possíveis para CDs precisa ser avaliado para se determinar qual CD deve ser adicionado ao sistema.

3.2.4 MODELO GRAVITACIONAL

KEEFER (1934) apud LEAL (1995) desenvolveu o seguinte modelo para a localização de depósitos:

$$X_0 = \frac{\sum w_j \cdot x_j}{\sum w_j}$$

EQ. 3.20

$$Y_0 = \frac{\sum w_j \cdot x_j}{\sum w_j} \quad \text{EQ. 3.21}$$

onde w_j representa a demanda do cliente j e x_j a sua respectiva coordenada. O centro de gravidade do sistema é utilizado então para a localização do depósito. Depois, MOSSMAN e MORTON (1965) apud LEAL (1995) consideram o centro de gravidade ponderando não apenas a demanda, mas também os custos de transportes vigentes na região. Esta teoria para a localização de CD's é determinada pelas EQ.3.22 e EQ. 3.23.

$$X_0 = \frac{\sum w_j \cdot r_j \cdot x_j}{\sum w_j} \quad \text{EQ. 3.22}$$

$$Y_0 = \frac{\sum w_j \cdot r_j \cdot x_j}{\sum w_j} \quad \text{EQ. 3.23}$$

Onde r_j representa o custo de transporte por unidade de volume e distância a partir do cliente j . A solução para o problema de localização de depósitos usando a teoria de Centro de Gravidade só é válida para casos muito particulares (LEAL, 1995).

O modelo de localização gravitacional apresentado por CHOPRA (2001) tem como função-objetivo a minimização dos custos de transportes. O modelo gravitacional supõe que, tanto os mercados como as fontes de suprimentos localizam-se como pontos em um plano. Todas as distâncias são calculadas como a distância geométrica entre dois pontos neste plano.

As variáveis que compõem o modelo são:

X_n, Y_n : Localização de coordenada de um fornecedor de matéria-prima n ;

F_n : Custo de embarque de uma unidade por Km;

D_n : Quantidade a ser transportada entre a instalação e o mercado n .

Supõe-se que o local escolhido para a localização da instalação, a distância d_n entre a instalação e o local (x,y) e a fonte de suprimento do mercado n são mostrados na seguinte fórmula da EQ. 3.24.

$$d_n = \sqrt{(x-x_n)^2 + (y-y_n)^2} \quad \text{EQ. 3.24}$$

Então, o custo total de transporte é:

$$CT = \sum_{n=1}^k d_n D_n F_n \quad \text{EQ. 3.25}$$

O local que minimiza o custo total CT é obtido pela iteração por meio de três passos a seguir, onde (x,y) é o local de início de cada iteração:

1. Para cada fonte de suprimento ou mercado n , calculamos d_n conforme definido pela EQ.3.24.

2. Obtém-se a nova localidade (x',y') para a instalação, na EQ.3.26.

$$x' = \frac{\sum_{n=1}^k \frac{D_n F_n x_n}{d_n}}{\sum_{n=1}^k \frac{D_n F_n}{d_n}} \quad y' = \frac{\sum_{n=1}^k \frac{D_n F_n y_n}{d_n}}{\sum_{n=1}^k \frac{D_n F_n}{d_n}} \quad \text{EQ. 3.26}$$

3. Se a nova localidade (x',y') for próxima ao valor de (x,y) , o ponto está determinado. Do contrário, faça $(x,y)=(x',y')$ e vá para a etapa 1.

As coordenadas exatas fornecidas pelo modelo podem não corresponder a uma localização viável, deve-se verificar portanto, a existência de um local próxima à área recomendada.

3.3 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

A variedade de modelos disponíveis na bibliografia técnica apresentada ao longo do capítulo faz com que, após a descrição

do problema de localização de CD's com suas características, objetivos e restrições esse possa ser representado analiticamente de alguma das formas descritas.

No capítulo a seguir será descrito o problema de localização de um centro de distribuição em uma cadeia de suprimentos e apresentada sua modelagem analítica.

4 PROCEDIMENTO PROPOSTO

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A localização de CD's é uma decisão estratégica e de grande importância. Na sua determinação devem ser observados os seguintes aspectos: locais candidatos, capacidades, demandas e custos. Esses parâmetros serão utilizados de maneira adequada e técnica a fim de diminuir os desperdícios que se encontram ao longo da cadeia logística.

4.2 ESTUDOS PRELIMINARES

Algumas informações sobre as localidades possíveis para a instalação de CD's são necessárias - Destacam-se, entre essas, indicadores de crescimento, tradições locais e tendências de desenvolvimento, interações com outros centros, estruturas urbanas, agrárias e de uso do solo bem como o sistema de transportes existentes.

Deve-se ainda, destacar os aspectos econômicos, aspectos dos núcleos urbanos e áreas rurais, infra-estrutura e serviços, considerações urbanísticas, sistemas de transportes, turismo, escoamento de produção, além de outros temas de interesses específicos.

O estudo destina-se à localização de CD's onde as origens do problema são determinados pelos Centros de Distribuição e os destinos pelos mercados consumidores. Portanto, devem ser instalados os CD's que suprirão as necessidades dos mercados com o menor custo. Portanto, é feita a seleção dos locais candidatos antes da aplicação do modelo matemático.

Enfim, os estudos preliminares devem ser efetuados com a finalidade de identificar na fase inicial dos trabalhos o

maior número de possíveis áreas candidatas à implantação do CD. Desse modo, esta etapa é bastante densa em informações, o que exige dos técnicos responsáveis muita habilidade na seleção dos dados para localizar, caracterizar e pré-selecionar os locais que serão objetos de estudo mais acurado para a instalação final do CD.

4.3 MODELAGEM ANALÍTICA DO PROBLEMA

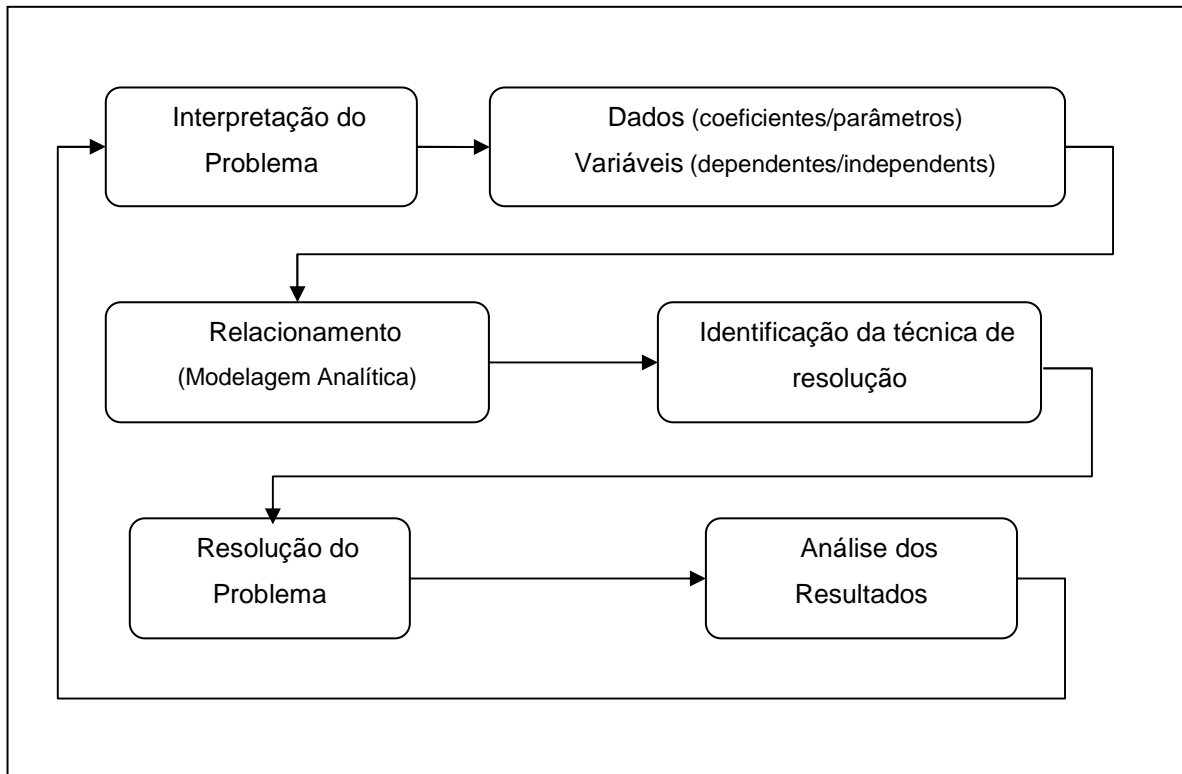
GOLBBARG & LUNA (2000) definem a tomada de decisão como um ato de selecionar, dentre várias opções possíveis, a mais adequada para o alcance de certo objetivo.

A representação adequada das variáveis e das restrições envolvidas no problema, bem como o levantamento das opções viáveis, colaboram na tomada de decisão. O nível de detalhamento das variáveis refletirá diretamente nas soluções finais obtidas.

A formulação matemática do problema é a base para que se obtenha uma solução confiável com maior facilidade. Um problema corretamente formulado pode levar a grandes economias de tempo de planejamento.

Apesar do modelo que será apresentado estar voltado para uma rede logística de suprimentos, a formulação pode ser utilizada para a localização de instalações em geral, desde que feitas as alterações necessárias.

Para a modelagem proposta, utilizou-se o modelo de SINAY (2002) a ser observado no diagrama da FIG. 4.1:



Autor: SINAY (2002)

FIG. 4.1 Modelagem Analítica

Baseado no diagrama da FIG. 4.1, foi confeccionado um fluxograma de atividades, apresentado no item 4.4, que explica os passos a serem seguidos para a execução do procedimento proposto.

4.4 FLUXOGRAMA PROPOSTO

Apresentar-se-ão as etapas relevantes para a escolha da localização ótima dos Centros de Distribuição seguindo as etapas do fluxograma para a localização de CD's da FIG. 4.2.

4.4.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Esta é a etapa mais importante do fluxograma, pois nela será definido o volume de informações a ser tratado e as variáveis de decisão.

O primeiro passo para resolução de um problema de otimização é determinar as variáveis de decisão. Quanto maior o nível de detalhamento das variáveis para o problema, mais confiáveis tendem a ser os resultados.

4.4.2 ESCOLHA DOS LOCAIS CANDIDATOS

A etapa de identificação dos locais candidatos consiste na busca para selecionar o maior número possível de áreas candidatas à implantação do CD. É uma etapa bastante complexa que envolve um grande número de variáveis (SILVA, 1985).

Escolher dentre os locais candidatos selecionados aqueles que têm capacidade suficiente para garantir o abastecimento do mercado a ele designado com o menor custo global (transporte, armazenagem, distribuição).

As etapas para a escolha então são apresentadas no fluxograma da FIG. 4.3.

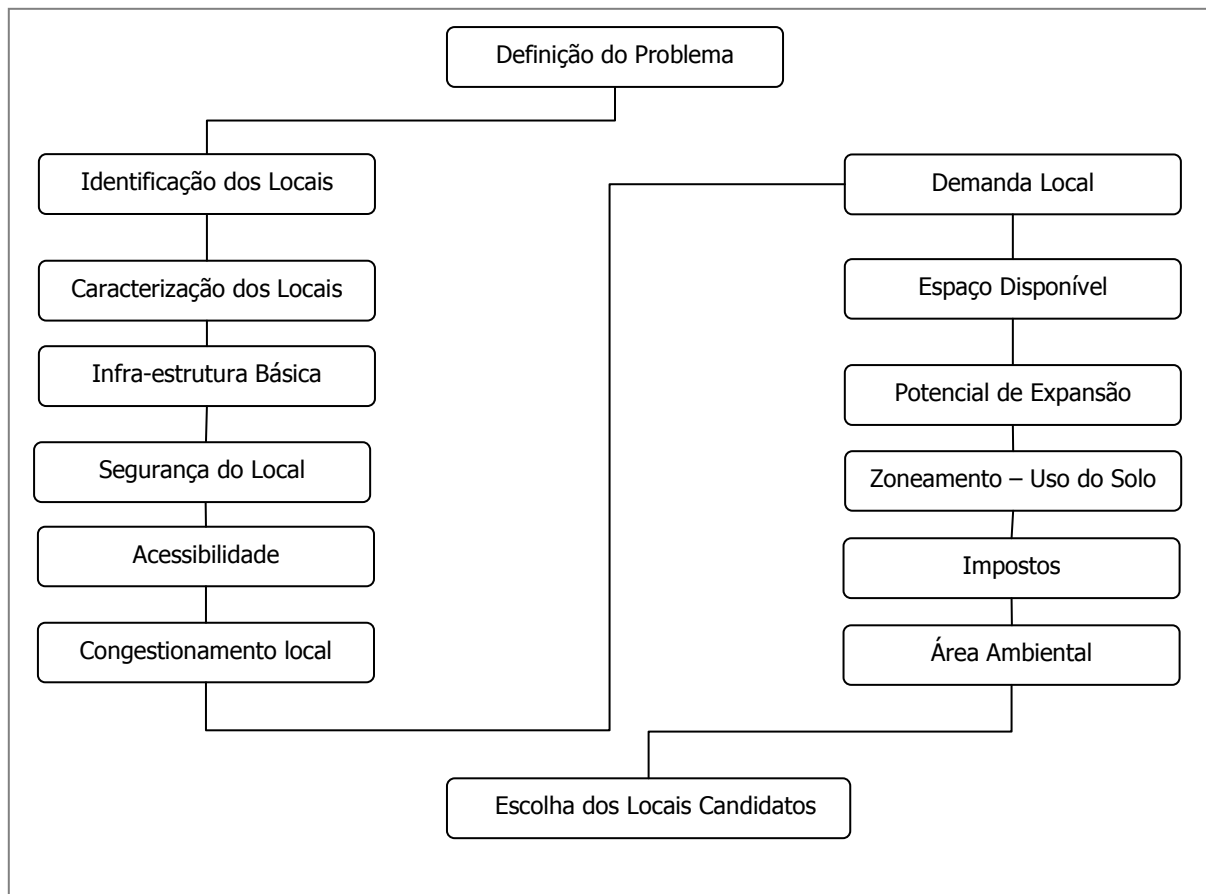


FIG. 4.3 Fluxograma para determinação de Locais Candidatos

Inicialmente, todo local consumidor é um potencial local candidato. Para restringir esse universo, a fim de facilitar a implementação do modelo, determinam-se os locais candidatos a partir de alguns critérios. Este critério é a verificação dos seguintes itens em cada um destes locais:

1. **Identificação do Local Candidato:** a cidade possui um terreno disponível?
2. **Característica do Local Candidato:** as características geotécnicas do terreno permitem que ele receba a estrutura de modo viável?
3. **Infra-estrutura básica:** o terreno é servido pelos serviços de transporte, energia elétrica, água e esgoto?

4. **Segurança:** o local é seguro em relação a Inundações? Ventos? Furtos? Incêndio?
5. **Acessibilidade:** o acesso à vias principais é fácil? E as condições da via são adequadas?
6. **Consumo Local:** a demanda local pelo produto é significativa?
7. **Pré-Dimensionamento do CD candidato:** o tamanho do terreno comporta a construção do CD?
8. **Estudo da Capacidade:** caso o CD necessite de ampliação, existe potencial para tanto?
9. **Zoneamento:** o tipo de construção é permitido na zona?
10. **Uso do Solo:** a ocupação do terreno está de acordo com os planos de ocupação e uso do solo?
11. **Incentivos Fiscais:** existem incentivos para a construção do CD na área, tais como redução/ isenção de impostos?

Área Ambiental: a área está fora de qualquer zona de proteção ambiental?

Os locais que atenderem estes requisitos todos estarão aptos a receber o Centro de Distribuição e são chamados de locais candidatos.

Deste modo, definem-se índices para mensurar e selecionar os "melhores locais candidatos", com suas possíveis variações e a partir daí, conclui-se pela adoção de um valor representante a potencialidade dos locais examinados no que tange à implantação dos CD's.

4.4.3 ESTUDO DA DEMANDA

Para o estudo da demanda cada mercado deve ser caracterizado, devendo ser feito um estudo minucioso do

histórico de consumo da região. O tratamento individual dos pontos de consumo requer um grande número de informações sobre os históricos de vendas e para efeito do cálculo da demanda, considera-se que o consumo encontra-se concentrado nas sedes municipais.

4.4.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE DOS CD'S

A capacidade dos CD's deverá garantir o suprimento dos mercados consumidores. A partir dos estudos e dos modelos e critérios de capacidade elaborados para CD's, determinam-se as áreas e os equipamentos necessários. O pré-dimensionamento possibilitará uma avaliação realista da área necessária para a implantação e operação do sistema.

4.4.5 ESTIMATIVA DE CUSTOS

Existem diversos custos associados ao sistema logístico das empresas. Entretanto, nem todos os custos são efetivamente afetados pela decisão de localização dos Centros de Distribuição, podem ser negligenciados para efeito de análise. Os custos envolvidos na localização de um CD são relacionados às diferentes atividades desenvolvidas na cadeia de suprimentos. Os principais custos associados podem ser agrupados em custos fixos e variáveis como na EQ. 4.1, que serão detalhados a seguir.

$$C_T = C_F + C_V \qquad \text{EQ. 4.1}$$

A estes custos devem ser agrupados os correspondentes aos transportes dos produtos do CD aos mercados, à armazenagem dos produtos no CD e a operação para a movimentação destes produtos.

Para efeito de solução do problema, os custos serão apresentados de modo independente, porque são inerentes a todas as atividades do sistema, sendo classificados e reagrupados em fixos e variáveis.

A

FIG. 4. resume estes custos:

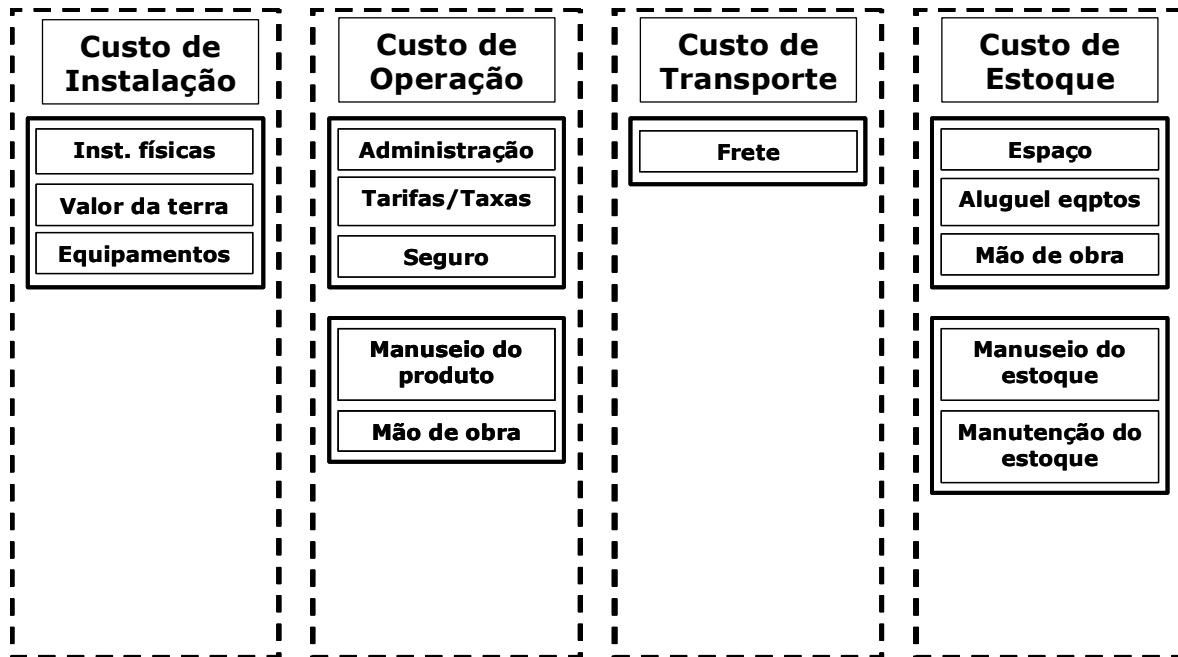


FIG. 4.4 Resumo dos Custos

4.4.5.1 CUSTO DE INSTALAÇÃO

Em termos econômicos, quando se planeja a implantação de um projeto, geralmente se tem em vista um plano de investimento, que por sua vez, pode ser definido como um compromisso de recursos realizado com o objetivo ou esperança de obtenção de benefícios futuros.

O custo fixo varia em função do local onde será implantado o CD, constituindo-se, basicamente em capital investido em instalações físicas e equipamentos de manuseio dos produtos e do valor da terra.

Parcelas que podem representar os custos fixos de instalação de um CD são:

- Custo de aquisição do terreno;
- Custo dos Projetos de arquitetura, instalações elétricas, hidráulico, incêndio, gás;
- Construção do Armazém;
- Custos de mão-de-obra;

Custo de aquisição dos equipamentos.

Estes custos fixos, são referentes à instalação do CD. Porém, existem as parcelas de custos fixos relativos à construção (instalação), à operação (equipamentos), e ao estoque (armazenagem).

Para a modelagem do problema, as parcelas dos custos fixos de cada processo serão agrupadas e apresentadas como C_f . Ver a FIG. 4.4.

$$C_F = C_{Fi} + C_{Fo} + C_{Fe} \quad \text{EQ. 4.2}$$

onde:

C_{Fi} é a parcela referente aos custos fixos de instalação do CD.

C_{Fo} é a parcela referente aos custos fixos de operação de CD (administração, tarifas e taxas de seguro)

C_{Fe} é a parcela referente aos custos fixos de estocagem do CD (espaço, equipamentos e mão-de-obra).

A elevada parcela de custos fixos na atividade de estocagem faz com que eles sejam proporcionais à capacidade instalada. Desta maneira, pouco importa se o armazém está quase vazio ou se está movimentando menos produtos do que o planejado. Ainda assim, a maior parte dos custos de armazenagem continuarão ocorrendo, na sua grande maioria, estão associados ao espaço

físico, aos equipamentos de movimentação, ao pessoal, e aos investimentos em tecnologia.

4.4.5.2 CUSTOS DE TRANSPORTES

Os custos de transportes usualmente irão depender de uma extensa lista de fatores, dentre os quais podemos citar como mais relevantes:

- Meio de transporte utilizado para a transferência de mercadorias (rodovia, ferrovia, cabotagem, dutovia);
- Característica da mercadoria transportada, tais como volume, peso, perecibilidade, fragilidades, etc;
- Distância percorrida;

Propriedade do meio de transportes (público ou privado).

Algumas decisões importantes, que terão reflexos nestes custos, para essa atividade são: 1) roteamento e *scheduling*, 2) seleção do modo de transporte, 3) utilização de transporte próprio ou terceirizado, 4) aspectos de segurança do equipamento e do motorista, 5) integração ou não com outros modos de transportes, como a seguir.

1) roteamento e scheduling

É importante obter as informações por meio de uma rede desde a origem até o destino. Transportar as mercadorias pela rede é uma função relativamente simples realizada pelos roteadores. Consiste em verificar o endereço de rede para quem a encomenda está destinada, determinar se conhece este endereço. Para definir o modo de transporte a ser utilizado, é importante saber o caminho que a encomenda deve percorrer.

2) Seleção do Modo de Transportes

Optou-se pelo o modo rodoviário de transporte para efetuar as entregas dos pedidos requeridos ao CD pelo mercado consumidor. Este modo é responsável por 60% do transporte de carga nacional (IBGE, 2003). Apesar do custo de transporte rodoviário não ser o menor, este modo torna-se mais eficiente a medida que as condições de transportes ferroviário e aquaviário ainda são tímidas no país De acordo com o estudo realizado por FLEURY (2003), no Brasil os modos de transportes se comportam segundo a matriz da TAB. 4.1. Observa-se que o modo rodoviário corresponde a 61% do transporte de carga do País, sendo que para o transporte de cargas manufaturadas este número sobe para 92%, justificando, assim, a escolha desse modo para o presente estudo.

TAB. 4.1 Matriz de Transporte de Cargas no Brasil em TKU*

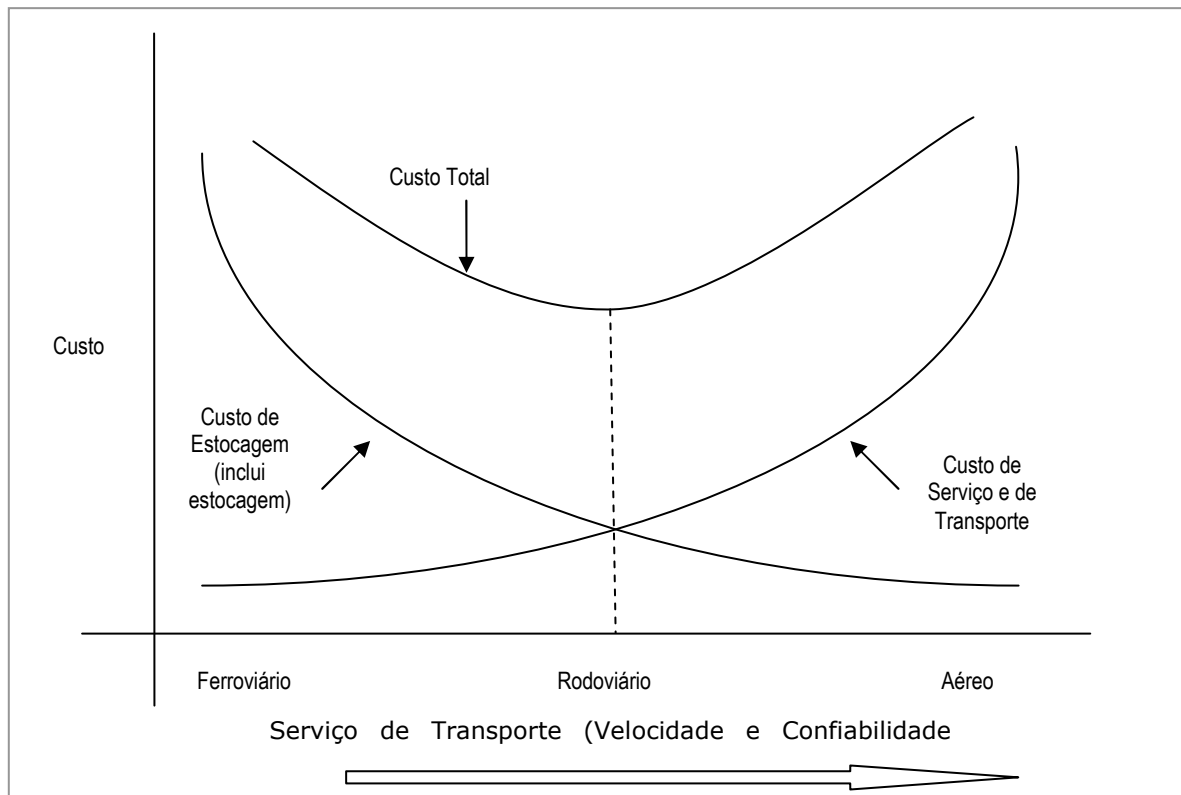
Modo de Transporte	Brasil
Rodoviário	61%
Ferrovário	20%
Aquaviário	13%
Dutoviário	5%
Aeroviário	< 1%
Se forem excluídos os produtos primários (minerais e agrícolas), a participação do rodoviário sobe para: 92% nas transferências, 89% na distribuição e 84% no suprimento	
*TKU Tonelada por Quilometro Útil	

FONTE: FLEURY (2003)

BALLOU (2001) diz que escolher um serviço de transportes com bases nas menores taxas ou nos serviços pode não ser o melhor método. Por esse motivo o problema básico em logística refere-se ao gerenciamento do conflito entre qualidade de serviços e custos.

A compensação de custos é o reconhecimento de que os padrões de custo de várias atividades das empresas apresentam freqüentemente características que as põe em conflito entre si. Esse conflito é gerenciado pelo equilíbrio das atividades de forma que elas possam ser otimizadas coletivamente. A FIG.

4.4 mostra que, quando o serviço de transporte está sendo selecionado, seu custo e o efeito indireto nos níveis de estoque devido aos diferentes desempenhos de entrega dos transportadores, apresentam conflitos entre si. A melhor escolha econômica é o ponto em que a soma de ambos os custos é mais baixa, como indicado pela linha pontilhada. Além do que, sendo o CD uma instalação que servirá à ambientes urbanos, um transporte mais dinâmico, como o de caminhão, é mais adequado.



Autor: BALLOU (2001)

FIG. 4.4 Custo de Transporte x Estoque

3) Terceirização de Serviços de Transportes

A empresa deve determinar se irá realizar o transporte dos produtos por si própria ou se irá terceirizar suas atividades. A seguir são apresentadas as vantagens da realização do processo pela própria empresa e as vantagens na terceirização da atividade.

Alguns motivos pelos quais fabricantes e CD's optam por manter processos de transportes dentro da empresa:

- As operações próprias, em geral, são realizadas mais rapidamente;
- Com o transporte próprio, a empresa pode manter contato com o consumidor;

Os dados referentes aos clientes e aos produtos podem ser mantidos em sigilo;

A título de exemplo, serão citados alguns elementos do custo do transporte rodoviário, no caso de frota própria. Neste caso, o custo de transporte se torna complexo, englobando custos fixos e variáveis. Demais modais podem ser tratados de maneira equivalente.

Custos Fixos para transporte por frota própria

Segundo MONTENEGRO (2003) os custos relativos ao transporte incluem a depreciação do veículo, a amortização do financiamento, a remuneração de capital de um veículo, o salário de tripulação, o licenciamento e os seguro pagos.

Custos variáveis para transporte por frota própria

Conforme MONTENEGRO (2003) os custos variáveis de transportes estão diretamente relacionados com a quantidade de transporte realizada e incluem os custos como o pneumático, manutenção dos veículos, óleos lubrificantes, lavagem e lubrificação.

As vantagens competitivas na terceirização da atividade de transportes são relatadas por KOMAROVA (2000):

O transporte realizado por empresas especializadas pode reduzir os custos de embarque;

Empresas especializadas, em geral, têm softwares avançados e sistemas de informações que podem ser configurados para satisfazer às necessidades dos contratantes;

Nas operações próprias, em geral, faltam pessoas especializadas e expertise para operar as atividades eficientemente;

Maior flexibilidade nas operações logísticas. Poucas empresas possuem necessidades estáveis para instalação de mão-de-obra, esta instabilidade pode tornar atraente o uso de um serviço terceirizado.

Na busca do menor custo para o transporte, a empresa deverá estar atenta para a possibilidade de taxas especiais, subsidiadas pelo governo, para determinados produtos (MONTENEGRO, 2003).

O conjunto de veículos responsáveis pela distribuição dos produtos deverá realizar viagens ponto-a-ponto, entre os CD's e o mercado consumidor, em ciclos regulares e definidos em função da demanda requerida pelos consumidores, a fim de que a capacidade total de cada veículo seja atendida. Porém, mesmo que a capacidade total não seja atendida, os veículos realizarão as viagens a fim de atender toda a demanda (PEREIRA, 2002)

O custo de transporte é tratado como custo variável quando visto apenas como um serviço terceirizado, que se limita ao valor dos fretes cobrados para a entrega. Para análise do trabalho foi feita esta opção e foram calculados apenas como custos variáveis segundo a expressão da EQ. 4.3:

$$C_t = C_m \cdot d \quad \text{EQ. 4.3}$$

onde:

C_m = Custo médio de transporte rodoviário (frete)

d = distância entre os CD's e os mercados consumidores

4.4.5.3 CUSTOS DE ESTOQUE

Os custos de estoque estão associados ao espaço físico (custo do armazém), aos equipamentos de movimentação, aos investimentos em tecnologia (custos de manuseio de estoques), à mão de obra (custos de mão de obra) e à manutenção de estoques. São custos de importância fundamental dada as incertezas do mercado nas demandas. Que podem levar a um superdimensionamento da estrutura, aumentando os custos.

Assim, os custos de estocagem são compostos de três parcelas de custos fixos e duas parcelas de custos variáveis(MONTENEGRO, 2003):

1. **Custos do Armazém** - compreende a compra ou aluguel, impostos e manutenção do imóvel.
2. **Custo de aquisição de equipamentos** - compreende a depreciação dos equipamentos, a amortização do financiamento e a remuneração do capital investido na sua compra.

Custos de mão-de-obra - custos relativos aos salários e aos encargos financeiros.

E duas parcelas de custo variável são:

Custo de manuseio de estoques - custo associado à manutenção e energia para utilização dos equipamentos na movimentação dos produtos armazenados e ainda o custo de movimentação, separação e triagem da mercadoria;

Custo de manutenção dos estoques - custos associados à remuneração do capital investido, à depreciação, às taxas e seguros, às perdas e aos roubos de cargas envolvidos na manutenção do estoque.

O armazenamento dos produtos deve ser efetuado de maneira uniforme e otimizada, garantindo a facilitação no momento da distribuição.

4.4.5.4 CUSTOS DE OPERAÇÃO

O custo de operação dos CD's é formado pelo aluguel ou depreciação do imóvel, outros investimentos necessários para a sua operação; os custos administrativos e de pessoal, taxas, tarifas públicas e seguros. Estes custos podem ser agrupados, conforme o seu comportamento, em custos fixos e variáveis; fatores como aluguel/depreciação, taxas, seguros, normalmente são independentes do nível de atividade de um depósito específico compõem os custos fixos. Por outro lado, o custo de operação de produtos e custo de mão-de-obra comumente mantém uma relação direta com o volume de atividades do CD. Porém, para a aplicação do procedimento e cálculos no trabalho, os custos fixos e variáveis serão reunidos e agrupados nos custos de operação.

A FIG. 4. que resume a formulação final que será adotada para a resolução da modelagem matemática.

Na FIG. 4.6, que resume a formulação final que será adotada para a resolução da modelagem matemática, os custos são divididos apenas em fixos e variáveis sendo que a parcela de custos fixos compreenderá os custos fixos de instalação (C_{Fi}), os custos fixos de operação (C_{Fo}) e os custos fixos de estocagem (C_{Fe}). A parcela de custos variáveis compreenderá os custos variáveis de operação, estoque e os custos de transportes.

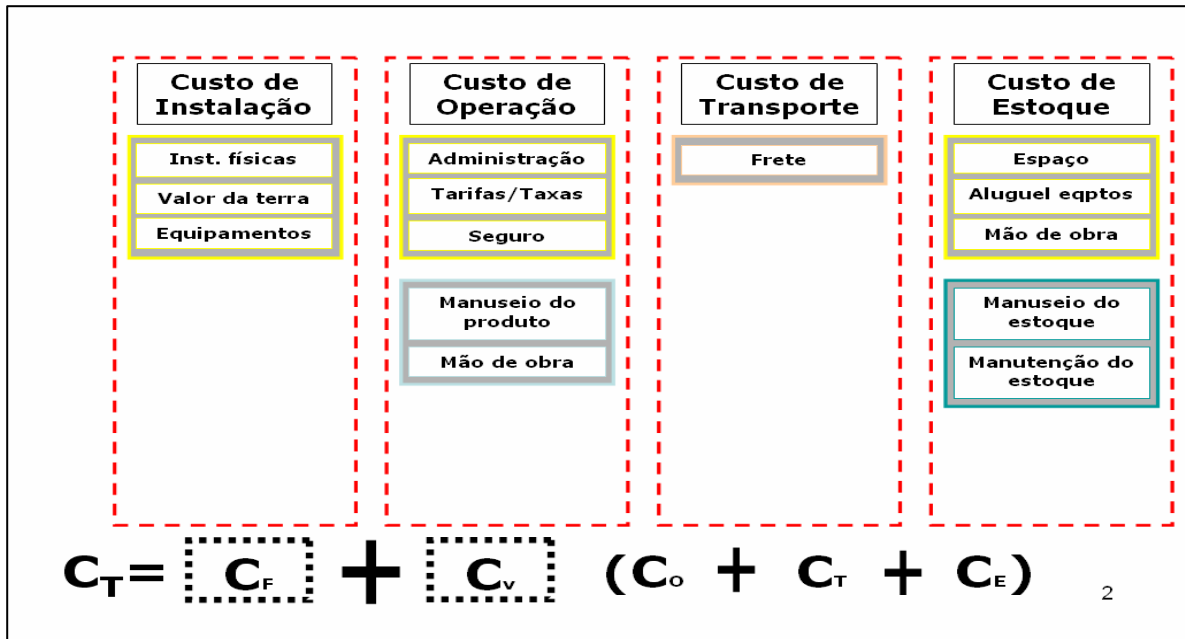


FIG. 4.6 Formulação Final dos Custos

4.5 MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROCEDIMENTO PROPOSTO

Após as revisões bibliográficas, apresentadas no capítulo anterior, nota-se que o problema se encaixa na classe de problemas de localização, amplamente tratado na Pesquisa Operacional. A localização de CD's é um problema clássico de Programação Linear Mista (CHOPRA, 2001). É um problema de transportes que envolve varias origens (CD's) e vários destinos (mercados).

O problema proposto é localizar Centros de Distribuição a fim de atender às demandas dos mercados locais, buscando utilizar a capacidade máxima de cada CD, diminuindo os custo de distribuição. Em outras palavras, atender o mercado consumidor minimizando os custos de instalação, operação, estoque e transportes.

Dado um conjunto de N potenciais locais candidatos a instalação de CD's, deseja-se selecionar aqueles locais que devam abrigar estes CD's de forma a minimizar o custo total do

sistema atendendo à demanda D de mercadorias de um conjunto de M mercados.

Seja então um conjunto de N locais candidatos à instalação dos CD's. Estes CD's suprirão as demandas D dos M mercados consumidores que registram um conjunto de P tipos de produtos.

Sejam: $i=1, 2, \dots, N$ o conjunto de N locais candidatos a instalação de um CD;

$j=1, 2, \dots, M$ o conjunto de mercado consumidor responsável pelas demandas;

$p=1, 2, \dots, P$ o conjunto de tipos de produtos movimentados pelos CD's e,

Seja Z o custo global do sistema, isto é, a soma dos custos de instalação e operação. Cada CD possui uma capacidade K para cada produto p. A formulação está na EQ. 4.4.

$$MinZ = \left(\sum_{i=1}^N f_i y_i + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{p=1}^P O_{ijp} x_{ijp} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{p=1}^P e_{ijp} x_{ijp} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{p=1}^P t_{ijp} x_{ijp} \right)$$

EQ. 4.4

Sujeito às restrições:

$$\sum_{j=1}^M x_{ijp} \leq K_{ip} y_i \quad \text{EQ. 4.5}$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ijp} y_i \leq D_{jp} \quad \text{EQ. 4.6}$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{se o CD } i \text{ for instalado no local candidato;} \\ 0 & \text{caso contrário;} \end{cases} \quad \text{EQ. 4.7}$$

As variáveis envolvidas na formulação, são:

f_i = custo fixo de instalação do CD i;

x_{ijp} = Unidades do produto p a serem transferidas do CD localizado em i ao mercado instalado no local j .

O_{ijp} = Custo de operação do CD i

e_{ijp} = Custo de estocagem da unidade do produto p no CD i .

t_{ijp} = Custo de transporte unitário dos produtos p do CD i ao mercado j .

$i = 1 \dots N$

onde N = número de Cd's a serem instalados nos locais escolhidos como candidatos;

$j = 1 \dots M$;

onde M = Número de mercados ou pontos de demanda atendidos pelos CD's a serem instalados nos locais candidatos;

$p = 1 \dots P$;

onde P = Tipos de unidades de produtos movimentadas pelos CD's;

A EQ. 4.5, garante que a capacidade de cada CD em relação ao produto tipo p não será ultrapassada. Onde, K_{ip} = capacidade de cada CD i em relação ao produto p e $x_{ijp} \geq 0$ para qualquer i , j ou p .

A EQ. 4.6 assegura que as solicitações de cada clientes serão atendidas, onde D_{jp} = demanda pelo produto p do cliente j .

A escolha de um modelo matemático para auxiliar na análise do problema de localização de CD's foi efetuada com base nos objetivos estipulados para o processo de análise, considerando-se as diversas restrições pertinentes. Como a aplicação de modelos sofisticados usualmente é sobremaneira dispendiosa, nem sempre apresentando vantagens em relação a

modelos mesmo complexos no tratamento de situações simples, a relação custo-benefício deve ser cuidadosamente estimada.

4.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Depois de aplicado o modelo matemático aqui desenvolvido para identificar a solução ótima, o problema ainda não está concluído. Uma das suposições da programação linear é a que todos os parâmetros de modelo sejam constantes conhecidas. Na verdade, os valores usados normalmente são apenas estimados com base numa previsão de condições futuras, do modo que pode ser superestimados ou subestimados.

Por esta razão, é importante proceder a uma análise de sensibilidade da solução obtida para investigar o efeito da mudança de algum ou de todos os parâmetros, sendo o objetivo básico desta análise identificar os parâmetros aos quais a solução é particularmente sensível.

Em relação aos parâmetros que representam as demandas, a capacidade e os custos, a análise das folgas obtidas com a solução ótima obtida podem ser estudadas e melhoradas criando-se cenários, variando os parâmetros de entrada até a obtenção da solução de menor custo. Utilizando o método de Tentativa e Erro.

Finalmente cabe-se recomendar a simulação do sistema implementando a solução obtida, com a finalidade de se propor ajustes convenientes.

4.7 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

O procedimento apresentado neste capítulo para a localização de Centros de Distribuição é alimentado pelos seguintes dados: locais candidatos, demanda, capacidade e custos fixos de transportes, de operação e de estoque.

Encontram-se na literatura diversos métodos para a solução do problema de localização, este trabalho utiliza a para a solução da metodologia a Programação Linear Mista para a determinação dos locais ótimos para a instalação dos CD's.

No capítulo seguinte será desenvolvido um estudo de caso onde o procedimento para a escolha de locais candidatos e a modelagem apresentados neste capítulo, serão aplicados. A vantagem na utilização do procedimento proposto é a simplicidade em que as variáveis são tratadas

5 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO E RESULTADOS

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo é desenvolvida uma aplicação do procedimento proposto, em um caso hipotético de uma Empresa distribuidora de produtos alimentícios do Estado de São Paulo, que contempla o planejamento para a localização de seus CD's.

Apesar do caso ser hipotético, os dados utilizados são próximos da realidade já que foram feitas visitas à algumas empresas e consultados profissionais e pessoas com conhecimento do problema.

O modelo matemático apresentado no capítulo anterior foi implementado em ambiente de planilha eletrônica Microsoft Excel, seguindo uma tendência mais recente de utilização de planilhas eletrônicas para resolução de modelagem matemática de problemas de otimização.

5.2 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO

Toma-se como base o fluxograma da FIG. 4.2 cujas etapas serão detalhadas a seguir:

5.2.1 ETAPA 1 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Escolher dentre os locais candidatos selecionados, aqueles que tem capacidade suficiente para garantir o abastecimento do mercado a ele designado com o menor custo global (Transporte, Armazenagem e Distribuição).

Para a aplicação do procedimento, foi selecionado o Estado de São Paulo como área geográfica de estudo dos CD's por se

tratar do estado brasileiro mais desenvolvido industrialmente e por requerer grandes demandas.

Segundo CRUZ (2001), a região que tem a maior concentração de centros de distribuição no país é a Grande São Paulo. Uma pesquisa realizada pela empresa de consultoria de imóveis comerciais CB Richard Ellis revela que existem 25 milhões de metros quadrados de CD's na área metropolitana. Em Campinas, segundo maior mercado, há 5 milhões de metros quadrados.

Área de Estudo - Descrição

Trata-se do Estado de São Paulo como pode-se observar na FIG. 5.1.

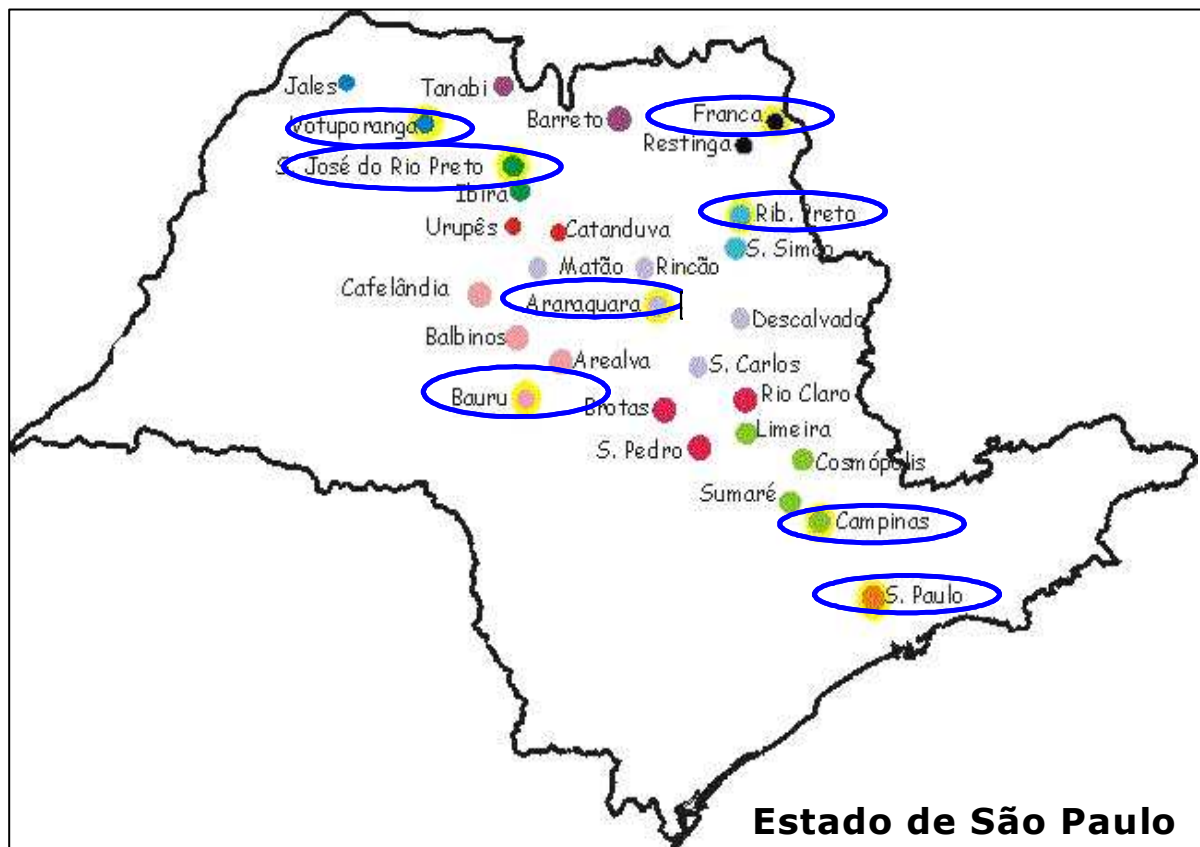


FIG. 5.1 Mapa de Estado de São Paulo

Seguindo as etapas descritas no capítulo anterior, definiram-se os locais candidatos à localização dos CD, bem como suas respectivas áreas de influência. Foi realizado um

estudo preliminar na região e foi verificada a adequação dos locais à construção dos CD's.

Seguem na TAB. 5.1, a título de caracterização, informações acerca das cidades a serem objeto de estudo para este trabalho.

TAB. 5.1 Informações sobre as Cidades objeto de Estudo

CIDADE	ÁREA (km ²)	POPULAÇÃO (habitantes) Censo 2000	DENSIDADE (hab/km ²)
Araraquara	1.006	182471	181,38
Arealva	506	7244	14,31
Barretos	1.564	103913	66,44
Bauru	673	316064	469,63
Brotas	1.101	18886	17,15
Cafelândia	920	15793	17,16
Campinas	796	969396	1217,83
Descalvado	755	28921	38,30
Franca	607	287737	474,03
Jales	369	46186	125,16
Limeira	581	249046	428,65
Matão	527	71753	136,15
Restinga	246	5584	22,69
Ribeirão Preto	650	504923	776,80
Rio Claro	499	168218	337,11
São José do Rio Preto	433	358523	827,99
São Paulo	1.525	10434252	6842,13
São Pedro	618	27897	45,14
São Simão	618	13675	22,12
Sumaré	153	196723	1285,77
Tanabi	745	22587	30,31
Urupês	325	11833	36,40
Votuporanga	422	75641	179,24

FONTE: IBGE 2003

5.2.2 ETAPA 2 - ESCOLHA DOS LOCAIS CANDIDATOS

A escolha dos locais candidatos se fez segundo uma análise dos critérios apresentados no fluxograma da FIG. 4.3.

Na TAB. 5.2, são apresentados os municípios considerados para o estudo. A princípio todos os mercados poderiam ser

locais candidatos. Contudo, cada item foi analisado de forma que os locais que somaram a maior quantidade de pontos foram os selecionados como candidatos à implantação dos CD's. Na tabela, as colunas representam cada etapa do fluxograma da FIG. 4.3, a legenda dos números é apresentada logo após a tabela. A análise é feita tomando como base o terreno apresentado pelas cidades e suas características. Os locais selecionados também atuam como mercado consumidor por terem demandas próprias.

É realizado um *check list*, ver TAB. 5.2, com as características necessárias para que o local esteja apto à construção do CD. Todos os itens devem ser atendidos.

1. Identificação do Local Candidato: a cidade deve possuir um terreno disponível para a construção do Centro de Distribuição.
2. Característica do Local Candidato: a caracterização do local é feita com a análise do tipo de solo e fundação.
3. Infra-estrutura básica: verificar se há infra-estrutura básica no terreno apresentado.
4. Segurança: verificar a segurança do local; segurança contra incêndio, furto, inundações, ventos, seca.
5. Acessibilidade: acesso às vias principais, condição das estradas.
6. Consumo Local: verificar a demanda local pelo produto em questão.
7. Pré-Dimensionamento do CD candidato: verificar o espaço necessário e o espaço disponível para a construção do CD.
8. Estudo da Capacidade: potencial de ampliação da construção, compra de terrenos vizinhos.
9. Zoneamento: verificar se é permitido o tipo de imóvel no local selecionado.

10. Uso do Solo: se o terreno está de acordo com as condições administrativas do local.

11. Incentivos Fiscais: verificação de algum incentivo fiscal para a construção do CD na área, tais como redução/isenção de impostos.

12. Área Ambiental: verificar se a área não está sob proteção ambiental.

TAB. 5.2 Locais Candidatos à implantação do CD

	Cidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Locais Candidatos
1	Araraquara	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
2	Bauru	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
3	Campinas	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
4	Franca	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
5	Ribeirão Preto	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
6	São J R Preto	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		X
7	São Paulo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
8	Votuporanga	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
9	Arealva		x		x		x				x	x		
10	Barretos	x		x				x		x				
11	Brotas	x		x	x				x	x		x	x	
12	Cafelândia		x			x	x		x		x	x		
13	Catanduva	x			x							x		
14	Descalvado		x	x			x		x		x		x	
15	Jales	x					x	x			x		x	
16	Limeira		x		x		x		x		x	x		
17	Matão	x	x			x				x		x		
18	Restinga	x		x			x	x	x		x		x	
19	Rio Claro	x					x			x	x	x		
20	São Pedro		x		x		x		x	x			x	
21	São Simão	x		x		x		x			x	x		
22	Sumaré		x				x		x	x			x	
23	Tanabi	x	x	x		x		x			x	x		
24	Urupês	x	x		x		x		x	x			x	

Os números de cada cidade (coluna) foram arbitrados a título de simplificação para montagem das tabelas na planilha eletrônica (Microsoft Excel). Sendo os primeiros (até o número 8) os Locais Candidatos e os mercados consumidores (do 9 ao 24), em ordem alfabética.

O sistema logístico, representado no mapa da FIG. 5.1 é formado por 24 pontos de demanda e 8 locais candidatos para a

localização dos CD's previamente definidos. Os locais candidatos podem ser observados no mapa, destacado por contornos.

Definidos os locais candidatos, parte-se para o estudo da localização dos CD's. São apresentadas as distâncias (em quilômetros) dos locais candidatos a cada um dos mercados consumidores.

TAB. 5.3 Distâncias dos CD's Candidatos aos Mercados(1)

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Araraquara	Bauru	Campinas	Franca	Rib. Preto	São José R. Preto	São Paulo	Votuporanga
Araraquara	-	108,02	168,57	161,12	78,34	165,25	250,93	240,91
Bauru	108,02	-	215,56	261,79	180,76	169,50	283,65	230,64
Campinas	168,57	215,56	-	265,57	207,13	333,27	83,55	408,41
Franca	161,12	261,79	265,57	-	82,82	208,23	343,78	268,26
R Preto	78,34	180,76	207,13	82,82	-	167,71	289,92	239,98
S J Rio Preto	165,25	169,50	333,27	208,23	167,71	-	414,51	75,91
São Paulo	250,93	283,65	83,55	343,78	289,92	414,51	-	488,99
Votuporanga	240,91	230,64	408,41	268,26	239,98	75,91	488,99	-

TAB. 5.4 Distancias dos CD's Candidatos aos Mercados (2)

	9	10	11	12	13	14	15	16
	Arealva	Barretos	Brotas	Cafelândia	Catanduva	Descalvado	Jales	Limeira
Araraquara	80,24	54,70	143,48	148,12	110,19	58,68	298,86	117,00
Bauru	35,35	96,15	202,00	80,33	131,20	155,35	274,68	172,77
Campinas	213,70	129,43	304,04	289,46	278,39	125,33	464,57	51,57
Franca	227,93	208,16	121,54	268,78	176,45	153,52	329,18	225,33
R Preto	148,04	127,34	104,67	198,78	120,65	83,16	301,95	159,94
S J Rio Preto	142,92	208,12	89,35	111,88	55,09	218,55	136,04	281,83
São Paulo	287,99	207,49	387,59	361,63	359,97	208,77	543,70	134,47
Votuporanga	209,78	281,80	147,13	157,99	130,90	294,44	62,16	357,09

TAB. 5.5 Distancias dos CD's Candidatos aos Mercados (3)

	17	18	19	20	21	22	23	24
	Matão	Restinga	Rio Claro	São Pedro	São Simão	Sumaré	Tanabi	Urupês
Araraquara	28,95	150,69	93,34	88,10	73,49	147,64	200,54	132,83
Bauru	106,74	250,78	154,56	120,71	181,39	192,62	197,40	126,03
Campinas	197,52	259,72	75,23	96,09	166,46	23,09	368,37	297,82
Franca	155,08	11,16	208,94	229,75	105,75	254,34	234,28	209,70
R Preto	74,51	72,36	139,61	152,86	42,99	191,29	200,64	153,46
S J Rio Preto	136,52	198,76	258,19	244,75	203,35	311,68	35,35	43,48
São Paulo	279,81	338,85	157,92	171,58	248,48	103,29	449,35	377,53
Votuporanga	212,29	260,13	333,51	318,25	277,62	386,56	40,61	111,99

As distâncias medidas entre as cidades, são distâncias lineares, utilizando latitudes e longitudes em relação ao centro geográfico das cidades (locais candidatos e mercados consumidores). Para corrigir essas distâncias lineares, foram adicionado 10% a esses valores. Como uma referência para o estudo inicial, comparando os valores lineares com alguns valores reais, 10% foi o valor que mais se aproximou da realidade. Para o cálculo definitivo, estes valores devem ser medidos para cada situação. A distância entre os mercados é um fator de grande importância e sugere-se que para soluções aplicáveis e confiáveis sejam utilizadas rotas reais de transportes, para completar a matriz.

5.2.3 ETAPA 3 - ESTIMATIVA DE DEMANDA

Para decidir localizar os CD's, um estudo sobre a demanda potencial teve que ser desenvolvido. Deste estudo obteve-se uma estimativa da quantidade de pedidos média (total médio) de produtos/ano, igual a 650.000 t, com a distribuição apresentada na TAB. 5.6.

TAB. 5.6 Estimativa da Demanda dos Mercados

	Mercado Consumidor	Demanda (em toneladas)
1	Araraquara	200
2	Bauru	350
3	Campinas	550
4	Franca	260
5	Ribeirão Preto	650
6	São J. Rio Preto	250
7	São Paulo	612
8	Votuporanga	110
9	Arealva	451
10	Barretos	145
11	Brotas	210
12	Cafelândia	109
13	Catanduva	254

	Mercado Consumidor	Demanda (em toneladas)
14	Descalvado	286
15	Jales	176
16	Limeira	342
17	Matão	290
18	Restinga	100
19	Rio Claro	170
20	São Pedro	210
21	São Simão	310
22	Sumaré	150
23	Tanabi	120
24	Urupês	112

5.2.4 ETAPA 4 - PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE DOS CD'S

De acordo com o estudo da demanda, foram determinados os valores da TAB. 5.7 para a aplicação do problema.

TAB. 5.7 Pré-Dimensionamento da Capacidade dos CD's

Número	Local Candidato	Capacidade (em toneladas)
1	Araraquara	1500
2	Bauru	1450
3	Campinas	900
4	Franca	1530
5	Ribeirão Preto	1130
6	São José do Rio Preto	1350
7	São Paulo	890
8	Votuporanga	1250

5.2.5 ETAPA 5 - ESTIMATIVA DOS CUSTOS

5.2.5.1 CUSTOS FIXOS

Os custos fixos foram calculados considerando cada valor do terreno correspondente e instalações a serem construídas, bem como mão-de-obra e funcionários a serem contratados. Por meio de entrevista a profissionais da área, foram determinados os valores apresentados da TAB. 5.9:

TAB. 5.8 Custos Fixos detalhados dos CD's Candidatos

Custos Fixos	Araraquara	Bauru	Campinas	Franca	Rib. Preto	São J.R. Preto	São Paulo	Votuporanga
Construção Armazém	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Construção Administração	511.500	494.000	301.500	424.000	382.000	459.000	298.000	424.000
Instalações Físicas	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
Projetos da Obra	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Armazém	37.500	36.250	22.500	31.250	28.250	33.750	22.250	31.250
Construção da Guarita	97.500	86.250	462.500	151.250	276.250	143.750	586.250	341.250
Portaria	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Administração								
Valor do Terreno								
Equipamentos Fixos	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
Custos de Operação	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500
Administração	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
Encargos Sociais	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Manutenção								
Tarifas/Taxas	500	500	500	500	500	500	500	500
Seguros	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
Custos de Estocagem	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500
Espaço								
Aluguel dos Equipamentos	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Mão-de-obra – Operários	511.500	494.000	301.500	424.000	382.000	459.000	298.000	424.000
Custo total	807.000	777.000	947.000	767.000	847.000	797.000	1.067.000	957.000

A TAB. 5.9 apresentam-se de forma resumida os custos fixos utilizados para a aplicação do procedimento em cada CD candidato; estes custos independem da quantidade de carga movimentada.

TAB. 5.9 Custos Fixos - Resumo

	Local Candidato	Custos Fixos (R\$)
1	Araraquara	807.000,00
2	Bauru	777.000,00
3	Campinas	947.000,00
4	Franca	947.000,00
5	Ribeirão Preto	847.000,00

6	São José do Rio Preto	797.000,00
7	São Paulo	1.067.000,00
8	Votuporanga	957.000,00

5.2.5.2 CUSTOS VARIÁVEIS

Custos de Transportes

O transporte de produtos entre os CD's e os mercados é efetuado exclusivamente por meio do transporte rodoviário. Os custos envolvidos variam conforme a propriedade da frota de veículos responsável pela distribuição. No caso de frota própria, para uma estimativa precisa de custo de transporte rodoviário, deveríamos considerar o preço de aquisição de veículos, a capacidade de transporte (volume); a vida útil em anos e Kms; consumo, impostos, custo de mão-de-obra e custo médio de manutenção. Devido às dificuldades associadas à mensuração destes fatores, e falta de informações confiáveis, basea-se as estimativas de custo nos valores de frete rodoviários estabelecido por um estudo realizado pela COPPEAD, FLEURY (2003), que estabelece um valor médio para a carga transportada pelo modal rodoviário no Brasil, o custo médio do frete calculado de 1000 toneladas por Km foi de US\$ 19 ou US\$ 0,019 t/Km, como pode ser observado na TAB. 5.10.

TAB. 5.10 Preços relativos dos Diferentes Modais

(em US\$ por 1000 toneladas-quilometro)	
Modal de Transporte	BRASIL*(US\$)
Aéreo	523
Rodoviário	19
Ferrovário	11
Dutoviário	11
Aquaviário	7

(*) Os dados do Brasil foram convertidos para US\$ a uma taxa de 3,00 reais por dólar

Os custos aqui tratados para o transporte serão custos terceirizados, portanto será computado apenas um valor pelas

mercadorias movimentadas, apresentados como custos variáveis, que se limitam ao frete cobrado pelas empresas responsáveis de acordo com a distancia percorrida. Os custos de transporte são mostrados nas tabelas 5.11 a 5.13:

TAB. 5.11 Custos de Transportes (1)

	Araraquara	Bauru	Campinas	Franca	R Preto	São José R. Preto	São Paulo	Votuporanga
Araraquara	-	108,02	168,57	161,12	78,34	165,25	250,93	240,91
Bauru	108,02	-	215,56	261,79	180,76	169,50	283,65	230,64
Campinas	168,57	215,56	-	265,57	207,13	333,27	83,55	408,41
Franca	161,12	261,79	265,57	-	82,82	208,23	343,78	268,26
R Preto	78,34	180,76	207,13	82,82	-	167,71	289,92	239,98
S J R Preto	165,25	169,50	333,27	208,23	167,71	-	414,51	75,91
São Paulo	250,93	283,65	83,55	343,78	289,92	414,51	-	488,99
Votuporanga	240,91	230,64	408,41	268,26	239,98	75,91	488,99	-

TAB. 5.12 Custos de Transportes (2)

	9	10	11	12	13	14	15	16
	Arealva	Barretos	Brotas	Cafelândia	Catanduva	Descalvado	Jales	Limeira
Araraquara	80,24	54,70	143,48	148,12	110,19	58,68	298,86	117,00
Bauru	35,35	96,15	202,00	80,33	131,20	155,35	274,68	172,77
Campinas	213,70	129,43	304,04	289,46	278,39	125,33	464,57	51,57
Franca	227,93	208,16	121,54	268,78	176,45	153,52	329,18	225,33
R Preto	148,04	127,34	104,67	198,78	120,65	83,16	301,95	159,94
S J R Preto	142,92	208,12	89,35	111,88	55,09	218,55	136,04	281,83
São Paulo	287,99	207,49	387,59	361,63	359,97	208,77	543,70	134,47
Votuporanga	209,78	281,80	147,13	157,99	130,90	294,44	62,16	357,09

TAB. 5.13 Custos de Transportes (3)

	17	18	19	20	21	22	23	24
	Matão	Restinga	Rio Claro	São Pedro	São Simão	Sumaré	Tanabi	Urupês
Araraquara	28,95	150,69	93,34	88,10	73,49	147,64	200,54	132,83
Bauru	106,74	250,78	154,56	120,71	181,39	192,62	197,40	126,03
Campinas	197,52	259,72	75,23	96,09	166,46	23,09	368,37	297,82
Franca	155,08	11,16	208,94	229,75	105,75	254,34	234,28	209,70
R Preto	74,51	72,36	139,61	152,86	42,99	191,29	200,64	153,46
S J R Preto	136,52	198,76	258,19	244,75	203,35	311,68	35,35	43,48
São Paulo	279,81	338,85	157,92	171,58	248,48	103,29	449,35	377,53
Votuporanga	212,29	260,13	333,51	318,25	277,62	386,56	40,61	111,99

Custos de operação

Os custos de operação, variáveis, são referentes à movimentação das cargas. Estes custos serão somados aos custos de estocagem inseridos aos cálculos na modelagem matemática. Estes custos variam de acordo com a demanda dos mercados.

Na TAB 5.14 é possível observar como foram divididos estes custos:

TAB. 5.14 Custos de Operação

Custo de Operação	R\$
Carga e Descarga de Produtos	0,38
Mão-de-obra	0,10
Total	0,48

Custo de Estoque

Os custos de estoque variáveis, são custos referentes à movimentação de cargas, assim como os custos de operação, e são apresentados na TAB. 5.15, a seguir:

TAB. 5.15 Custos de Estoque

Custo de Estoque	R\$
Manuseio do Estoque	0,25
Movimentação do Estoque	0,38
Total	0,63

A soma total dos custos de operação e estoque é **R\$ 1,11**. Este valor será multiplicado pela demanda movimentada.

5.3 ETAPA 6 - MODELO MATEMÁTICO

5.3.1 APRESENTAÇÃO PROBLEMA

A análise do problema consiste na caracterização mais detalhada, incluindo as restrições ao projeto. Os critérios a

serem utilizados na avaliação de soluções alternativas, também deverão ser definidos nessa fase.

Optou-se, para aplicação da formulação por localizar CD's que atendam a um único produto, ou produtos do mesmo gênero, que possam ser armazenados em embalagens de mesmo tamanho para uma melhor disposição na estocagem e no transporte. Os produtos serão movimentados de forma consolidada, em pallets.

Tendo $p=1$, a formulação apresentada na EQ.4.4. do item 4.2, sofreu uma pequena alteração:

$$\text{Min}Z = \left(\sum_{i=1}^N f_i y_i + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M O_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M e_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M t_{ij} x_{ij} \right) \quad \text{EQ. 5.1}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^M x_{ij} \leq K_i y_i \quad \text{EQ. 5.2}$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} y_i \leq D_j \quad \text{EQ. 5.3}$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{se o CD } i \text{ for instalado no local candidato;} \\ 0 & \text{caso contrário;} \end{cases} \quad \text{EQ. 5.4}$$

A função-objetivo minimiza o custo total. A solução identificará os CD's que devem ser implantados e a alocação da demanda do mercado desses CD's.

5.3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO PROBLEMA UTILIZANDO O SOLVER

A implementação do problema foi feita utilizando o Solver, do Microsoft Excel. O Solver utilizado para a aplicação do procedimento foi o encontrado no pacote básico do *Microsoft Office 2003*, este programa resolver o problema de programação linear mista pelo método de *branch and bound*.

Este programa é recomendável para um número pequeno de variáveis (10 a 30), porém existem outras versões capazes de resolver problemas com um maior número de variáveis.

Existem outros programas capazes de resolver este tipo de equação. Tais como: LINDO (*linear, interactive, and discrete optimize*); *what's best*; *visual xpress* e *LINGO*; entre outros.

Segundo LANCHTERMACHER (2002), o segredo da modelagem de um problema de programação linear em uma planilha eletrônica está na maneira como se arrumam as células.

O primeiro passo ao implementar um programa utilizando uma planilha eletrônica é confeccionar uma tabela de dados para alimentar a modelagem.

Observe na FIG. 5.2. Digitar **todos** os dados de entrada.

A FIG. 5.2 apresenta os dados que servirão de entrada para a implementação do problema.

The image shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "Procedimento Final". The spreadsheet contains a table with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Procedimento Final												
2													
3				1	2	3	4	5	6	7	8		
4		Cidade	Demanda	Araraqua	Bauru	Campinas	Franca	Rib Preto	São JRP	São Paulo	Votup.		F
5	1	Araraquara	200										0
6	2	Bauru	350										0
7	3	Campinas	550										0
8	4	Franca	260										0
9	5	Ribeirão Preto	650										0
10	6	São J. Rio Preto	250										0
11	7	São Paulo	612										0
12	8	Votuporanga	110										0
13	9	Arealva	451										0
14	10	Barretos	145										0
15	11	Brotas	210										0
16	12	Cafelandia	109										0
17	13	Catanduva	254										0
18	14	Descalvado	286										0
19	15	Jales	176										0
20	16	Limeira	342										0
21	17	Matão	290										0
22	18	Restinga	100										0
23	19	Rio Claro	170										0
24	20	São Pedro	210										0
25	21	São Simão	310										0
26	22	Sumaré	150										0
27	23	Tanabi	120										0
28	24	Urupes	112										0
29	Seleção												
30	Demanda Atendida												
31	Ociosidade												
32	Custos Fixos			807.000	777.000	947.000	767.000	847.000	797.000	1.067.000	957.000		
33	Capacidade			1.400	1.340	900	1.530	1.020	1.150	890	770		
34													
35	Custo TOTAL <input type="text"/>												

FIG. 5.2 Planilha de Dados

A primeira coluna refere-se ao número dos mercados consumidores.

A Segunda coluna é a demanda que foi estimada no item 5.2.3 dos respectivos mercados.

Os custos apresentados na tabela são os custos fixos. Os custos variáveis estão em uma outra planilha chamada de Dados.

Os custos variáveis são utilizados na formulação no momento em que são inseridos os custos de transportes

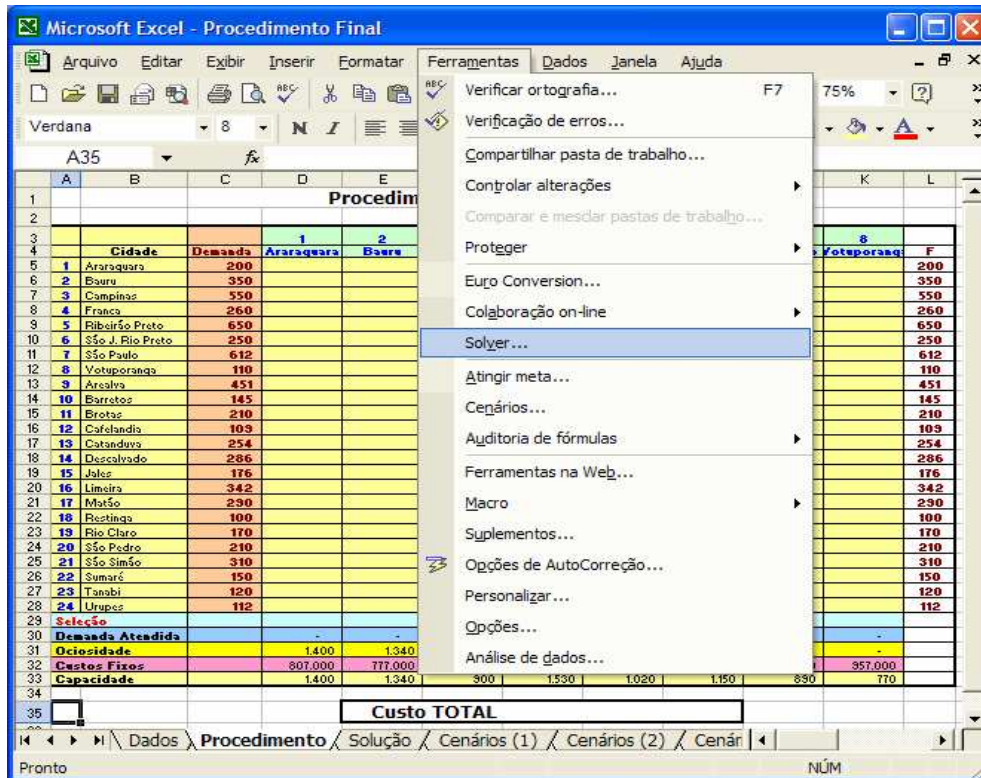


FIG. 5.3 Tela de Ativação do Solver do Excel

O próximo passo é clicar na janela do Solver; escolhe-se a Célula de Destino, essa que representa o valor da função objetivo e apresentará o custo total para a implantação dos CD's. A FIG 5.3 mostra a janela referente a definição da célula destino.

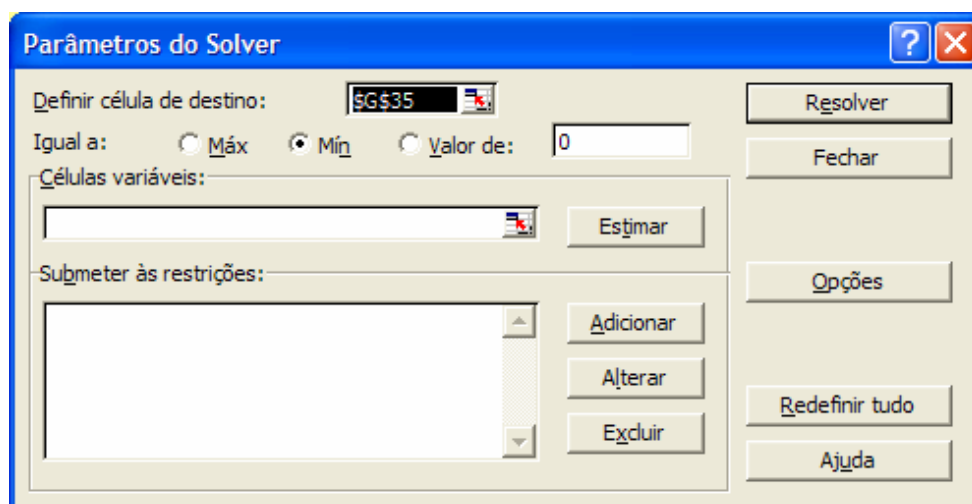


FIG. 5.4 Escolha da Célula de Destino

Porém a célula de destino (G35) carrega a fórmula do custo total apresentada na modelagem do problema como EQ. 5.1. Observar na FIG. 5.2 para montar a equação da função objetivo.

Como deseja-se encontrar o custo mínimo para a instalação dos CD's, é marcada a opção **min** ainda na janela da FIG. 5.4; as variáveis de decisão que compreendem as células D5 a K29, são inseridas como apresenta a FIG. 5.5. Voltar a FIG. 5.4 e adicionar as restrições do modelo matemático.



FIG. 5.5 Entrada das Variáveis de Decisão

O próximo passo é a escolha das restrições na mesma janela da FIG. 5.6. Pode ser observada na FIG. 5.5 a composição das restrições a serem atendidas.

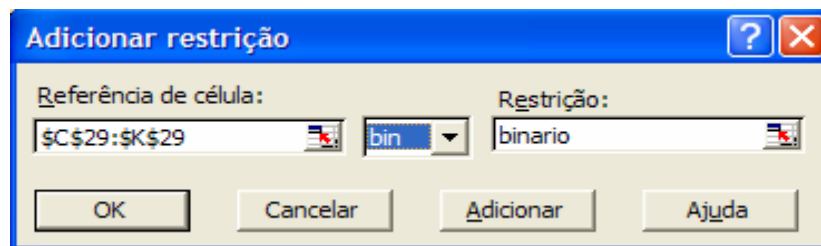


FIG. 5.6 Janela de Entrada de Restrição

Após adicionar a restrição, clicar **ok** e adicionar a próxima. A restrição que aparece na FIG. 5.6 é a referente ao **y** que é a variável de decisão, variável que decidirá a existência ou não do CD naquela localidade, variável binária.

Depois de adicionar todas as restrições, a janela de parâmetros do *solver* terá a apresentação da FIG. 5.7.

Para a resolução do problema utilizando o *solver*, faltam apenas alguns ajustes que são feitos apertando o botão opções da tela de parâmetros do *Solver*.

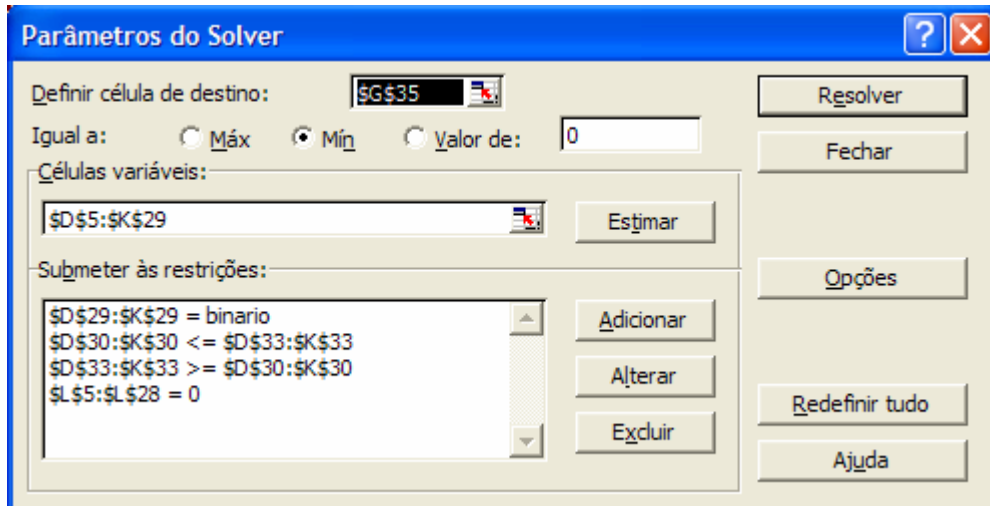


FIG. 5.7 Parâmetros de Entrada do Solver

O ultimo passo é escolher as opções para a resolução do problema, que é possível conforme FIG. 5.. Os valores podem ser preenchidos como indicado na figura.

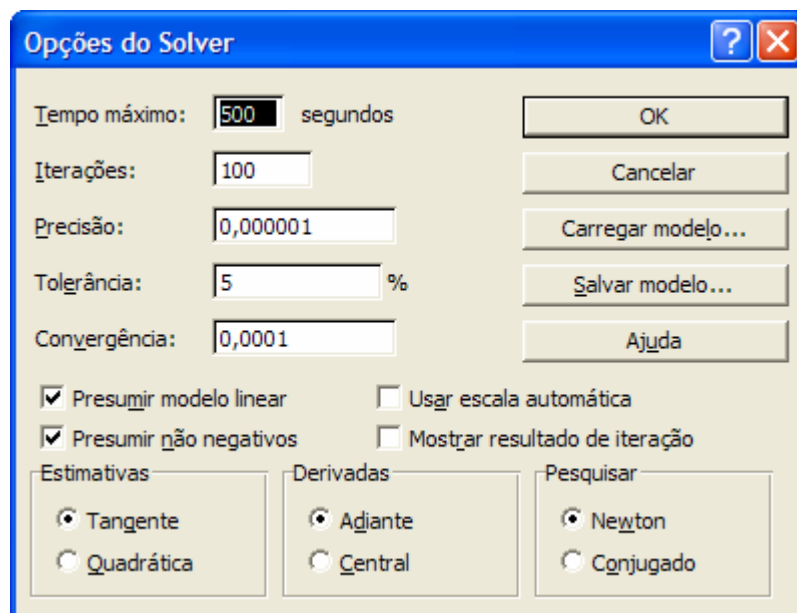


FIG. 5.8 Opção de não-negatividade

Na janela da FIG. 5. é marcar que o modelo é linear. Feitas as opções, volta-se a janela inicial do Solver, FIG. 5.7, apertar o botão resolver.

Então, os resultados do problema são apresentados na própria planilha implementada, como é possível observar no item 5.3.

5.4 ETAPA 7 - RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

São apresentados na TAB. 5.16 os resultados referente à aplicação do procedimento, são mostradas as cidades (mercados consumidores), locais candidatos, e quais foram os locais escolhidos e onde cada demanda proveniente das cidades será alocada.

Como resposta, observa-se o custo total do investimento, e a ociosidade do sistema, isto é, a capacidade de crescimento da demanda (folga). Essa ociosidade pode ser diminuída, modificando a capacidade dos CD's candidatos, porém, é interessante uma folga no sistema pois, no caso de aumento da demanda em alguma cidade que pode ser solucionado sem a necessidade de abertura de outro CD.

Dentre as configurações examinadas aquelas apresentou o menor custo total anual sugeriu a alocação de CD's nas localidades de Araraquara, Bauru, Franca, Ribeirão Preto, São José do Rio Preto e Votuporanga.

Define-se como configuração ou solução, a uma conformação em que são alocados os CD nos locais candidatos, de maneira que a demanda total da área em estudo seja atendida, a um determinado custo total anual (produção + distribuição).

TAB. 5.16 Resultados da Aplicação do Procedimento

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Procedimento Final											
2												
3				1	2	3	4	5	6	7	8	
4		Cidade	Dem.	Araraquara	Bauru	Campinas	Franca	Rib Preto	São JRP	São Paulo	Yotup.	F
5	1	Araraquara	200	200	-	-	-	-	-	-	-	0
6	2	Bauru	350	-	350	-	-	-	-	-	-	0
7	3	Campinas	550	103	-	-	447	-	-	-	-	0
8	4	Franca	260	-	-	-	260	-	-	-	-	0
9	5	Ribeirão Preto	650	-	-	-	-	650	-	-	-	0
10	6	São J. Rio Preto	250	-	-	-	-	-	250	-	-	0
11	7	São Paulo	612	-	220	-	392	-	-	-	-	0
12	8	Votuporanga	110	-	-	-	-	-	110	-	-	0
13	9	Arealva	451	-	451	-	-	-	-	-	-	0
14	10	Barretos	145	145	-	-	-	-	-	-	-	0
15	11	Brotas	210	-	-	-	82	-	128	-	-	0
16	12	Cafelandia	109	-	109	-	-	-	-	-	-	0
17	13	Catanduva	254	-	-	-	-	-	254	-	-	0
18	14	Descalvado	286	-	-	-	-	286	-	-	-	0
19	15	Jales	176	-	-	-	-	-	176	-	-	0
20	16	Limeira	342	342	-	-	-	-	-	-	-	0
21	17	Matão	290	290	-	-	-	-	-	-	-	0
22	18	Restinga	100	-	-	-	100	-	-	-	-	0
23	19	Rio Claro	170	170	-	-	-	-	-	-	-	0
24	20	São Pedro	210	-	210	-	-	-	-	-	-	0
25	21	São Simão	310	-	-	-	249	61	-	-	-	0
26	22	Sumaré	150	150	-	-	-	-	-	-	-	0
27	23	Tanabi	120	-	-	-	-	-	120	-	-	0
28	24	Urupes	112	-	-	-	-	-	112	-	-	0
29	Seleção			1	1	0	1	1	1	0	0	
30	Demanda Atendida			1.400	1.340	-	1.530	997	1.150	-	0	
31	Ociosidade			-	-	-	-	23	-	-	-	
32	Custos Fixos			807.000	777.000	947.000	767.000	847.000	797.000	1.067.000	957.000	
33	Capacidade			1.400	1.340	900	1.530	1.020	1.150	890	770	
34												
35				Custo TOTAL			4.015.509,84					

5.4.1 DISTRIBUIÇÃO DA CARGA

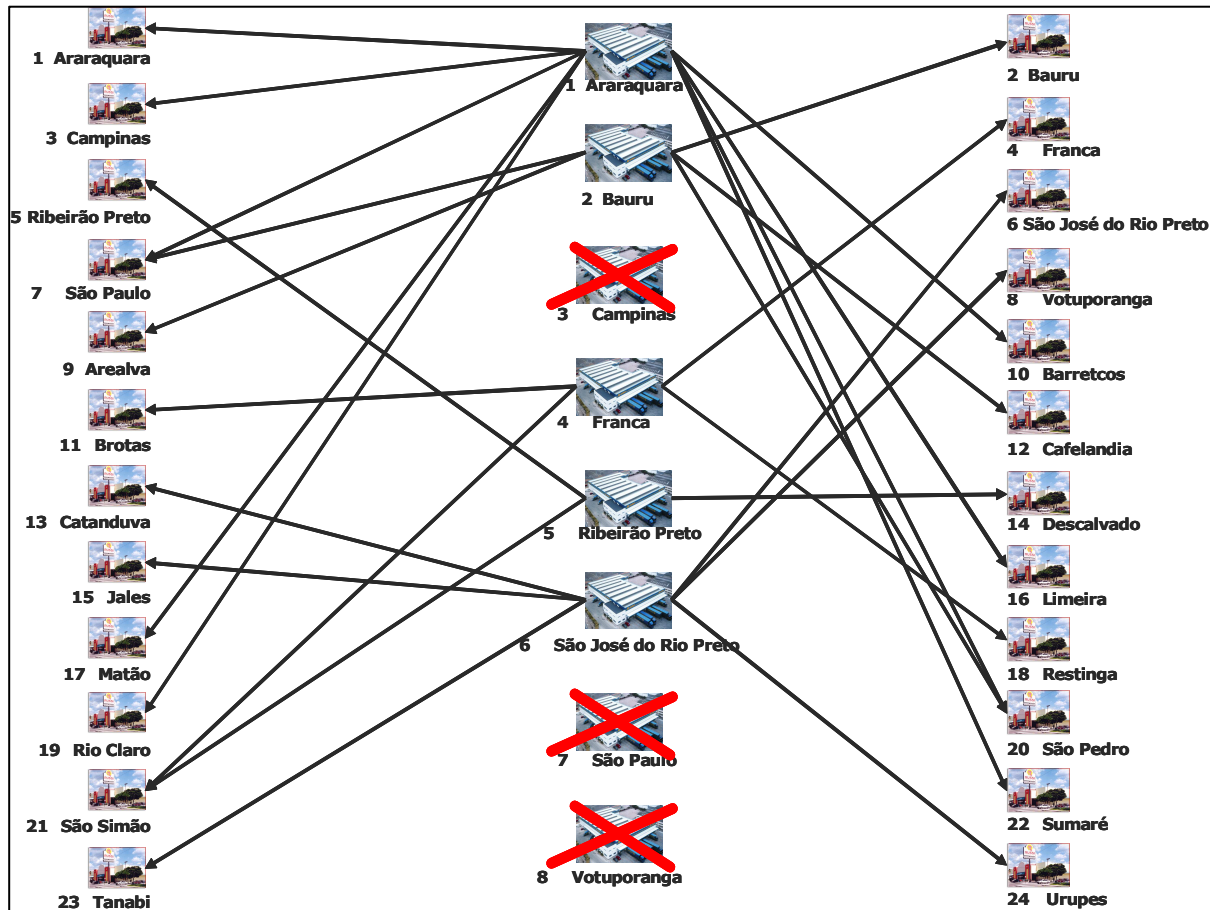
A distribuição da demanda, isto é, qual CD servirá a quais mercados consumidores são dados também como resultado da aplicação do modelo. Os produtos chegam da fábrica situada em Araraquara, e são distribuídos pelo CD's escolhidos. Toda a demanda é atendida.

A tabela 5.5 apresenta a composição do custo total anual para a configuração de menor custo (também chamada ótima).

O esquema apresentado na FIG. 5.3, mostra quais foram os CD's escolhido para serem implantados e para onde distribuem

as demandas requeridas. Proveniente de quais CD's virão as mercadorias.

FIG. 5.9 Esquema de Distribuição de Mercadorias



5.5 ETAPA 8 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Com o objetivo de analisar a relevância das variáveis no processo de localização de Centros de Distribuição, aplicou-se diversas vezes a técnica proposta, montando vários cenários, com alterações hipotéticas nos dados de entrada. Os parâmetros foram variados em 20% (acréscimo e decréscimo); demanda, custos fixo, capacidade e custos de transportes, com as combinações possíveis. As diferentes simulações que constituem essa análise de sensibilidade serão descritas a seguir na TAB. 5.17:

TAB. 5.17 Análise de Sensibilidade

Cenário	Multiplicadores				Locais Candidatos								(1) Custo Total		Ociosidade
	Kcap	Ccf	Kdem	Ktransp	1	2	3	4	5	6	7	8	Cenário	Variação	
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1	1		1	1	1			4.347.810	0	0,36%
2	1,2	1,0	1,0	1,0	1	1		1		1			3.468.036	-20,23%	1,36%
3	1,0	1,2	1,0	1,0	1	1		1	1	1			5.123.891	17,85%	0,36%
4	1,0	1,0	1,2	1,0	1	1	1	1	1	1	1		6.263.762	44,07%	6,88%
5	1,0	1,0	1,0	1,2	1	1		1	1	1			4.399.273	1,18%	0,36%
6	1,2	1,2	1,0	1,0	1	1		1		1			4.087.587	-5,99%	1,34%
7	1,2	1,0	1,2	1,0	1	1		1	1	1			4.399.273	1,18%	0,36%
8	1,2	1,0	1,0	1,2	1	1		1		1			3.542.092	-18,53%	1,36%
9	1,0	1,2	1,2	1,0	1	1	1	1	1	1	1		6.703.652	54,18%	6,88%
10	1,0	1,2	1,0	1,2	1	1		1	1	1			5.194.453	19,47%	0,36%
11	1,0	1,0	1,2	1,2	1	1	1	1	1	1	1		6.314.714	45,24%	6,88%
12	1,2	1,2	1,2	1,0	1	1		1	1	1			5.194.453	19,47%	0,36%
13	1,2	1,2	1,0	1,2	1	1		1		1			4.161.643	-4,28%	1,36%
14	1,2	1,0	1,2	1,2	1	1		1	1	1			4.483.947	3,13%	0,36%
15	1,0	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1	1	1	1		7.516.514	72,88%	6,88%
16	1,2	1,2	1,2	1,2	1	1		1	1	1			5.279.128	21,42%	0,36%
17	0,8	1,0	1,0	1,0	1	1	1	1	1	1	1		6.187.739	42,32%	2,60%
18	1,0	0,8	1,0	1,0	1	1		1	1	1			3.533.531	-18,73%	0,36%
19	1,0	1,0	0,8	1,0	1	1		1		1			3.243.805	-25,39%	5,58%
20	1,0	1,0	1,0	0,8	1	1		1	1	1			4.258.149	-2,06%	0,36%
21	0,8	0,8	1,0	1,0	1	1	1	1	1	1	1		4.985.939	14,68%	2,60%
22	0,8	1,0	0,8	1,0	1	1		1	1	1			4.258.149	-2,06%	0,36%
23	0,8	1,0	1,0	0,8	1	1	1	1	1	1	1		6.151.991	41,50%	2,60%
24	1,0	0,8	0,8	1,0	1	1		1		1			2.812.692	-35,31%	5,58%
25	1,0	0,8	1,0	0,8	1	1		1	1	1			3.462.969	-20,35%	0,36%
26	1,0	1,0	0,8	0,8	1	1		1		1			3.184.946	-26,75%	5,58%
27	0,8	0,8	0,8	1,0	1	1		1	1	1			3.462.969	-20,35%	0,36%
28	0,8	0,8	1,0	0,8	1	1	1	1	1	1	1		4.950.191	13,85%	2,60%
29	0,8	1,0	0,8	0,8	1	1		1	1	1			4.201.699	-3,36%	0,36%
30	1,0	0,8	0,8	0,8	1	1		1		1			2.753.834	-36,66%	5,58%
31	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1		1	1	1			3.406.519	-21,65%	0,36%

A TAB 5.17, confeccionada no *Microsoft Excel*, a primeira linha apresenta os multiplicadores - valores que são utilizados para modificar o cenário base.

A linha número 1 apresenta o cenário base, foi o primeiro a ser rodado utilizando o programa implementado no *Solver*. Este "cenário base" servirá de apoio para as simulações efetuadas nas próximas aplicações.

Tomando o cenário 1 como base, foram aplicadas variações nos parâmetros Kcap - coeficiente de capacidade, Ccf - Custos

fixo, K_{dem} - Coeficiente de demanda, k_{transp} - coeficiente de transporte.

As colunas onde aparecem os locais candidatos expressam a existência ou não do CD para o cenário em questão.

Foi aplicado como exemplo, um acréscimo e depois um decréscimo de 20% sobre os valores chamados aqui de "cenário base", que foram os valores da primeira aplicação nos seguintes valores de entrada: capacidade do CD, custos fixos, demanda e custos de transportes.

As variações admitidas, são justificadas pelo fato de que, aplicando-se tais percentuais de variações, os consumos estimados segundo hipóteses assumidas estariam sendo considerados, uma vez que seus valores estão dentro desta faixa de variação, isto é, entre -20% e +20% do consumo inicialmente considerado.

Na TAB. 5.17, o acréscimo no valor da capacidade dos CD's com os outros parâmetros fixos (cenário 2) ocasionou uma redução na alocação de CD's. Com isso foi possível eliminar o CD's de Ribeirão Preto. Contudo o valor da ociosidade do sistema subiu para de 0,36 para 1,36%.

No Cenário 3, com o acréscimo no valor do custo fixo apenas, a configuração do sistema continua a mesma. Não sendo, portanto interessante essa alteração. Porém, quando esse parâmetro é variado com um dos outros, há modificações na configuração final, como pode se observar, por exemplo, nos cenários 9,13,15.

Variando a demanda, cenário 4, é possível notar a mudança na configuração com o acréscimo de 2 CD's, o de Campinas e São Paulo para atender a solicitação da nova demanda.

A variação de 20% nos custos de transporte não mudou a configuração do sistema, porém, quando mudado esse percentual ou associado é possível notar variações, como por exemplo.

Acrescendo de 40% os custos de transportes, têm-se a inclusão do CD de São Paulo.

Ainda tratando dos acréscimos, foram feitas as combinações possíveis entre os parâmetros analisados, essas combinações são apresentados do cenário 9 ao 16. É possível notar as modificações sofridas.

Tratando-se do decréscimo, para a capacidade (cenário 17) houve um aumento no número de CD's, de 5 para 7. Acrescendo, Campinas e São Paulo, porém a ociosidade do sistema passou para 2,60%.

Com a redução de 20% na demanda (cenário 19), é possível observar a não necessidade de abertura do CD de Ribeirão Preto, contudo houve um grande acréscimo na ociosidade, passando para 5,58%.

5.6 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Por fim, convém frisar que a presente aplicação se constitui basicamente em um exercício acadêmico e tem como objetivo ilustrar como se deve utilizar o modelo aqui proposto.

O procedimento foi considerado satisfatório. A simplicidade é uma característica importante da metodologia. Porém, quanto mais detalhados forem os dados de entrada, maior será a credibilidade e a relevância da aplicação.

Após a análise de sensibilidade apresentada, constatou-se que a variação dos dados de entrada influenciam muito na configuração do sistema. E as simulações também colaboram para a melhor escolha da configuração do sistema.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

De maneira geral, as ferramentas disponíveis para a determinação da localização ótima de CD's conseguem representar todas as restrições do problema, possibilitando a sua modelagem. A vantagem da utilização da Programação Linear neste tipo de problema é que se garante a obtenção da melhor solução possível (ótima) para o problema.

O modelo desenvolvido neste trabalho, quer seja pelo baixo custo e simplicidade de operação, quer seja pela abrangência dos resultados passíveis de serem gerados, demonstrou ser bastante poderoso como instrumento auxiliar na análise do problema de localização. Como bem ilustrado, a utilização do modelo permitiu uma avaliação clara dos diferentes trade-offs envolvidos na minimização do custo total na implantação de um CD, principalmente como estes são afetados por modificações nos parâmetros relevantes.

Os resultados de presente trabalho poderão oferecer subsídios a análises semelhantes em outras regiões na medida em que são conhecidos os comportamentos das variáveis intrínsecas ao problema. Assim, tendo-se como base as simulações realizadas com os diversos cenários, é possível uma visão preliminar das medidas a serem adotadas.

Sob o ponto de vista técnico-econômico é possível utilizar esse procedimento para proceder comparações entre pequenos e grandes CD's. Outrossim, deverão ser ponderadas as possíveis externalidades advindas da implantação de CD's, qualquer que seja a sua capacidade.

Neste trabalho, foi considerado para a alocação de CD's de uma empresa de produtos alimentícios, tal procedimento pode

ser aplicado a outras análises, independentemente do tipo de material ou mercadoria a ser utilizada, e da região a ser estudada, desde que compatibilizados com os dados de entrada.

Salienta-se que o problema abordado está diretamente ligado a vários setores da economia. Entre eles o setor de transportes, bem como a tecnologia da informação voltada ao "Supply Chain" (Cadeia de Suprimentos).

Dentre outras aplicações, este modelo pode ser utilizado para: - Orientar estudos de viabilidade de uma rede de transporte doméstico de carga fracionada, a partir da localização de num sistema de terminais interiores anteriormente determinado pelo modelo.

Por fim, outro aspecto bastante positivo do modelo, que pode ser muito bem explorado, é a flexibilidade do seu emprego para a determinação de localização ótima de novos CD's, a partir de um conjunto já existente.

O procedimento desenvolvido apresenta toda uma seqüência logística possibilitando, uma seleção clara dos locais candidatos, eliminando assim a subjetividade do processo.

Observam-se ainda as modificações introduzidas nos parâmetros do modelo, mesmo que sensíveis provocaram mudanças na configuração inicial do sistema. Variações moderadas nos parâmetros levaram à diminuição ou ao acréscimo de CD's ao sistema, não implicando no deslocamento espacial dos CD's. Portanto, para o problema analisado, parecem existir pontos ideais para a localização dos CD's, os quais não tendem se modificar com a variação homogênea da demanda ou quaisquer alterações moderadas nos parâmetros considerados no modelo.

Com o incremento da demanda por exemplo, a nova situação ótima para o problema inclui todas as instalações das soluções ótimas correspondentes ao cenário inicial, um ou dois CD's adicionais. Assim, os novos CD's podem ser acrescentados ao sistema quando a evolução dos parâmetros se fizer necessário,

sem implicar em perda de eficiência do sistema como um todo. Esta prioridade tem implicações importantes à medida que facilita sobremaneira a tarefa de planejamento da operação do sistema logístico em longo prazo.

Para a aplicação do procedimento, foi utilizada uma versão básica do Solver, disponível gratuitamente com o Microsoft Excel, que limita o modelo a um número de variáveis determinada. Porém, a versão profissional do programa denominada *Large-Scale LP Solver Engine Version 4.0*, é capaz de resolver instâncias com até 16 mil variáveis de decisão. Ainda existe uma outra versão capaz de resolver problemas com até 200.000 variáveis. (FRONTLINE, 2003)

Apesar de ser o caso ideal, a PL tem o seu uso limitado a problemas de pequeno porte, pois a caracterização do problema real fica bastante restrita e o tempo computacional para encontrar a solução ótima é demasiadamente extenso em relação a outros enfoques.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As principais sugestões para novos trabalhos relacionadas os estudo desenvolvido, são:

Estudo dos reflexos da implantação dos CD's na demanda e na oferta de transportes de carga na região.

Determinação da quantidade mínima de carga a ser movimentada numa determinada área que justifique a implantação do CD.

Estudo de distribuição dos fluxos de cargas advindas dos CD's implantados;

Avaliação da influencia da operação de um terminal interior nos custos operacionais de movimentação de cargas nos CD's.

Recomenda-se também, utilizando a metodologia localizar centros de recepção, triagem, ou reciclagem para utilização na logística reversa.

Partindo do modelo apresentado, implementado em Excel, utilizar um algoritmo específico desenvolvido em uma linguagem de alto nível para a determinação da solução ao invés do Solver, em Object Pascal, C++, etc.

Outras recomendações para futuros trabalhos seria a análise de uma nova sistemática para a localização de CD's. Um sistema que envolva o tempo de entrega como uma variável e o tempo de processamento da mesma dentro do CD e o desenvolvimento de um modelo analítico baseado em um algoritmo de busca direta, ou simulação, capaz de tratar problemas de localização cujas restrições dificultem o emprego do modelo apresentado. Um modelo alternativo poderia ser utilizado inclusive em conjuntos com o instrumental apresentado, enriquecendo ainda mais os resultados da análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, Pedro Leonardo de Lacerda. **Implantação de Tecnologias de Automação de Depósitos: Um Estudo de Caso**. Mestrado em Administração. COPPEAD, UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial**. Editora Boolman, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2001.
- BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J. **Logística Empresarial: o processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.
- CHOPRA, Sunil & MEINDL, Peter, **Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation**. Ed. Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- CHRISTOPHER, Martin; **Logistics and Supply Chain Management**. Livro, Pitman Published, Londres, 1992.
- CORREIO PAULISTA, **Vinhedo ganha supercentro de peças da VW**, Jornal com Formato Virtual disponível no site http://www.cosmo.com.br/cpopular/motor/2003/06/06/materia_mot_58853.shtm ,capturado em 20.07.2003.
- CRUZ, Ana Cláudia. **Alugar Galpão é opção de Investimento**. Relatório da Gazeta Mercantil Logística. São Paulo, 23.07.01, pág. 4.
- ERLENKOTTER, D. **A Dual-Based Procedure for Uncapacitated Facility Location**. Operation Research, Vol 26, pag 992-1009, 1978.
- FEARON, David. **Alfred Weber: Theory of the Location of Industries, 1909**. Artigo de 1999, disponível em <http://www.csiss.org/classics/content/51> Capturado em 27.02.2003.
- FLEURY, Paulo Fernando. **Gestão Estratégica do Transporte**, CEL - COPPEAD, UFRJ, Rio de Janeiro, artigo disponível no site: <http://www.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fs-busca.htm?fr-estrat-trans.htm> , em 20.07.2003.
- FRONTLINE SYSTEM INC, **XPRESS LP/MIP Solver for Microsoft Excel**. Disponível em <http://www.solver.com> , site acessado em 16.11.2003.

- GOEBEL, Dieter. **Logística - Otimização Do Transporte E Estoques na Empresa.** Artigo da COPPE/UFRJ do site: http://www.ie.ufrj.br/ecex/pdfs/logistica_otimizacao_do_transporte_e_estoques_na_empresa.pdf em 05.01.2004.
- GOLBBARG, Marco Cesar & LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização Combinatória e Programação Linear.** Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2000.
- HAKIMI, S. L. **Optimum Location of Switching Centers and Absolute Centers and Median of a Graph,** Operation Research, 12, p. 450 - 459, 1964.
- HARKNESS, Joseph; REVELLE, Charles, **Facility Location with Increasing Production Costs,** Operation Reseach vol 145, pág 1-13, 2003.
- HOOVER, Edgar M. Jr.. **Location theory and the shoe and leather industries.**Cambridge: Harvard University, 1937.
- IBGE, Anuário Estatístico - 1997. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística,** Rio de Janeiro, 2003.
- KOMAROVA, Ana Danielevna Hernández. **Transporte Multimodal de Cargas: Análise de Alternativas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - IME - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2000.
- KUENH, A. A. & HAMBURGER, M. J. **A Heuristic Program for Localtion Warehouse.** Management Science, Vol 9 , pag 643-666, 1963
- LACERDA, Leonardo, **Armazenagem Estratégica: Analisando novos Conceitos.** Artigo do CEL - Centro de Estudos em Logística, COPPEAD - UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.
- LANCHETERMACHER, Gerson, **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões.,** Livro, Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2002.
- LEAL, Marcus Amorim. **Localização de Depósitos: Um modelo de Análise aplicado ao Setor de Distribuição de Combustíveis.** Tese (Mestrado em Administração) - Coppead - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 1995.
- LIMA, Márcia Lopes, **Procedimento para Concepção de Terminais Rodoviários de Carga Fracionada.** Tese de Mestrado (Engenharia de Transportes), IME - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1989.

- LOBO, Débora da Silva, **Dimensionamento e Otimização Locacional de Unidades de Educação Infantil**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2003.
- LÖSCH, August. **The economics of location**. Yale University, Connecticut, 1954.
- LOVE, Robert F.; MORRIS, James G.; WESOLOWSKY, George O..**Facilities Location Models & Methods**., Livro, Estados Unidos, 1988.
- MAIA, Maria de Fátima Rocha. **A Importância da Indústria Têxtil no Desenvolvimento do Município de Montes Claros**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 119 p., Minas Gerais, 2001.
- MARQUES, Érico Veras & DI SERIO, Luis Carlos. **O ECR no Varejo Brasileiro**. Artigo FVG São Paulo. Disponível no site: http://www.fgvsp.br/academico/professores/Di_Serio/ecr.doc capturado em 10.12.2003.
- MONTENEGRO, Luis Cláudio Santana. **Logística Reversa: Custos e Benefícios Associados**.Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - IME - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2003.
- MOREIRA, Fábio Maurício Rodrigues. **Estudo de Localização de Facilidades Logísticas**. Tese (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro, 1990. pág 43-59
- NOVAES, Antônio Galvão, **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**, Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2001.
- NOVAES, Antônio Galvão. **Sistemas Logísticos: Transporte, Armazenagem e Distribuição Física de Produtos**. Editora Edgard Bluncher Ltda, São Paulo, 1989. pág. 207-236
- OLIVEIRA, Paulo Renato. **Processos de Fabricação: Just in Time**. Artigo disponível em pagina da Internet. Capturado do site <http://geocities.yahoo.com.br/prcoliveira2000/> em 05.01.2004.
- PEREIRA, Fábio Maia. **Cidades Médias Brasileiras: Uma Tipologia a partir de suas (des) economias de aglomeração**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 117 p, Minas Gerais, 2002.
- PEREIRA, Gesiane Silveira. **Adequabilidade e Alocação de Equipamentos em Terminais Multimodais de Contêineres**.

Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia (IME) Rio de Janeiro, 2001.

REVISTA FLUXO, **De Vinhedo para o mundo**. Versão do site: http://www.revistafluxo.com.br/arquivo/junho_2003/index_materia_capa.php ,capturado em 20.07.03.

RIBEIRO, Priscilla Cristina C., **Logística: conteúdo, ensino e mercado de trabalho**. Artigo de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Ouro Preto, Capitulado do site <http://www.asee.org/international/INTERTECH2002/567.pdf> em 20.04.2002.

RODRIGUES, Alexandre Medeiros. **Estratégia de Picking na Armazenagem**. Artigo do CEL - Centro de Estudos em Logística, COPPEAD - UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

RODRIGUES, Alexandre Medeiros. **Estratégias de Picking na Armazenagem**. Artigo de CEL, COPPEAD, UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Capturado de site <http://www.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fs-busca.htm?fr-picking.htm>

SANDERS, Anthony B., **Von Thünen Model**, capturado do site: http://fisher.osu.edu/~sanders_12/luse.pdf , em 20.10.2003

SILVA, Edmilton Menezes. **Uma Proposta Metodológica para a Escolha de Sítio Aeroportuário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) COPPE - UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1985.

SYNAY, Maria Cristina Fogliatti de. **Métodos de Otimização II, Notas de Aula**, Curso de mestrado do IME - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2002.