

ADOLFO MACÊDO MESQUITA

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO DA LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO E
REVERSA NUMA FÁBRICA DE BEBIDAS**

**JOÃO PESSOA
2009**

ADOLFO MACÊDO MESQUITA

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO DA LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO E
REVERSA NUMA FÁBRICA DE BEBIDAS**

**Trabalho apresentado ao Departamento de
Engenharia de Produção, da Universidade
Federal da Paraíba, como requisito parcial
para a obtenção do título de Engenheiro de
Produção Mecânica.**

**Orientadora: Prof. Dr. Homero Catão Maribondo de Trindade.
Área de Concentração: Logística**

**João Pessoa
2008**

M582m Mesquita, Adolfo Macêdo

Modelo de otimização da logística de distribuição e reversa numa fábrica de bebidas / Adolfo Macedo Mesquita - João Pessoa, 2009.

55 f. il. :

Orientadora: Prof. Dr. Homero Catão M. da Trindade

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) Departamento de Engenharia de Produção / Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade Federal da Paraíba – UFPB

1. Logística 2. Pesquisa operacional 3. Modelo de transporte Título.

CDU: 658.5(043)

ADOLFO MACÊDO MESQUITA

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO DA LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO E REVERSA
NUMA FÁBRICA DE BEBIDAS**

LOCAL DA DEFESA: JOÃO PESSOA (PB)

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Homero Catão Maribondo Trindade (UFPB)

Prof. Múcio Antônio Sobreira Souto (UFPB)

Prof. Dr. Antônio de Mello Villar (UFPB)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe Maria Cristina Macêdo
Mesquita, pelo exemplo de força, coragem,
honestidade e seu amor incondicional.
Dedico também à mulher que
estará sempre ao meu
lado, Allana.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente gostaria de agradecer a meus pais Galba e Maria Cristina, pois eles sempre me ampararam e facilitaram meu caminho para que eu chegasse até aqui.
- Meus padrinhos e Severino e Lucila, que sempre me ajudaram em momentos difíceis.
- Agradeço a meus amigos Diogo, Rafael e Marcos, que me apoiaram e motivaram nos momentos em que eu não acreditei ser possível concluir essa fase acadêmica.
- Em especial agradeço Diogo pela paciência, pois sem seu incentivo esse trabalho não teria terminado.
- Aos amigos do Departamento de Engenharia de Produção da UFPB pela presteza e amizade.
- Anand e Alexandre que deram o pontapé inicial.
- A todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

“A sabedoria da vida não está em fazer aquilo que se
gosta, mas gostar daquilo que se faz.”
(Leonardo da Vinci)

RESUMO

MESQUITA, Adolfo Macêdo. **Modelo de otimização da logística de distribuição e reversa numa fábrica de bebidas**. João Pessoa, 2008. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Departamento de Engenharia de Produção. UFPB, 2008.

As grandes empresas têm se empenhado bastante para desenvolver seus sistemas logísticos a fim de alcançar vantagens competitivas no mercado em que atuam, por meio da combinação da diminuição dos custos e com a melhoria do nível de serviço ao seu cliente, não importando a qual setor da economia elas pertençam. O custo de transporte é, hoje em dia, o fator mais relevante na análise do custo logístico das principais empresas brasileiras. As diversas rotas de entrega, a deficiente malha rodoviária do país e a estrutura de transporte no Brasil, são fatores que contribuem diretamente para os custos elevados do transporte, da evasão e distribuição da produção. Quando analisamos estes fatores podemos relacioná-los diretamente aos custos de nossos produtos dentro e fora do Brasil. Assim, este trabalho tem como objetivo otimizar a logística de distribuição e reversa, de uma empresa de bebidas, estabelecendo quais os veículos devem ser utilizados e quais as filiais devem ser atendidas de forma a maximizar a utilização dos veículos próprios, através de uma modelagem matemática. Dessa forma, a metodologia utilizada nesta pesquisa é de modelos de transporte, onde se buscou, através do balanceamento da frota, minimizar os custos com o transporte. Através deste estudo, o conjunto de planejamento, operação e controle do fluxo de materiais da empresa pode ser melhorado, assegurando vantagens competitivas na cadeia de abastecimento (reduções de custos de transporte) e a conseqüente satisfação dos clientes.

Palavras-chaves: Logística. Pesquisa Operacional. Modelo de transporte.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Esquema de concepção do TCC	20
Figura 02 - Pirâmide estratégica logística	28
Figura 03 - Macrofluxo de distribuição	29
Figura 04 - Fluxograma logística reversa de pós-consumo	33
Figura 05 - Fluxograma logística reversa de pós-venda	34
Figura 06 - Metodologia da Pesquisa Operacional.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Matriz Custo do quilometro rodado	46
Tabela 02 - Matriz Tempo	46
Tabela 03 - Matriz distância	47
Tabela 04 - Matriz demanda.....	47
Tabela 05 - Resultados	48
Tabela 06 - Distância total percorrida	49
Tabela 07 - N° de dias utilizados	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Evolução dos conceitos de logística.....	14
Quadro 02 - Alguns exemplos de sucesso de aquisição e resultados alcançados.....	17
Quadro 03 - Rotina criada no programa computacional LINGO	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	DEFINIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA PROPOSTO.....	13
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
1.3	OBJETIVOS	18
1.4	ESTRATÉGIA E CONCEPÇÃO DA PESQUISA	18
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
2	METODOLOGIA	22
2.1	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....	22
2.2	AMBIENTE DA PESQUISA	23
2.3	O PROBLEMA E A METODOLOGIA UTILIZADA.....	23
3	EIXO TEMÁTICO DA PESQUISA	26
3.1	LOGÍSTICA.....	26
3.2	PESQUISA OPERACIONAL	35
3.3	PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	39
3.4	PROBLEMA DE TRANSPORTE.....	40
4	ESTUDO DE CASO	43
4.1	O MODELO.....	43
4.2	LEVANTAMENTO DOS DADOS.....	45
4.3	RESULTADOS.....	47
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	50
5.1	CONCLUSÃO	50
5.2	RECOMENDAÇÕES	51
	REFERÊNCIAS.....	52
	ANEXO	55
	A - Solução Lingo.....	55

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo trata da origem e da justificativa do trabalho proposto, bem como da formulação do problema e da pergunta da pesquisa. Serão também mostrados os objetivos, a estratégia do estudo e concepção da pesquisa e, por fim, a estrutura do trabalho.

1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA PROPOSTO

Desde os tempos bíblicos os líderes militares já se utilizavam da logística. As guerras eram longas e geralmente distantes, eram necessários grandes e constantes deslocamentos de recursos. Para transportar as tropas, armamentos e carros de guerra pesados aos locais de combate eram necessários um planejamento, organização e execução de tarefas logísticas, que envolviam a definição de uma rota, nem sempre o mais curta, pois era necessário ter uma fonte de água potável próxima, transporte, armazenagem e distribuição de equipamentos e suprimentos (DIAS, 2005, p. 27).

Segundo Neves (2005), a origem da palavra logística vem do grego “LOGISTIKOS”, do qual o latim “LOGISTICUS” é derivado, ambos significando cálculo e raciocínio no sentido matemático.

Para Bowersox & Closs (1996), a logística é definida como o processo de gerir estrategicamente a aquisição, movimentação e estocagem de materiais, parte de produtos acabados (com os correspondentes fluxos de informações) através da organização e dos seus canais de marketing, para satisfazer as ordens da forma mais efetiva em custos.

Segundo Oliveira (2007) logística é o conjunto de planejamento, operação e controle do fluxo de materiais, mercadorias, serviços e informações da empresa, integrando e racionalizando as funções sistêmicas desde a produção até a entrega, assegurando vantagens competitivas na cadeia de abastecimento e a conseqüente satisfação dos clientes.

Wood e Zuffo (1998) afirmam que o emprego da logística nas empresas tem ganhado diferentes definições, correspondendo a uma crescente amplitude de escopo, experimentada ao longo do tempo. O quadro 01 abaixo mostra a evolução do conceito de logística para estes autores.

	Fase zero	Primeira fase	Segunda fase	Terceira fase	Quarta fase
Perspectiva dominante	Administração de materiais	Administração de materiais + distribuição	Logística integrada	<i>Supply chain management</i>	<i>Supply chain management + efficient consumer response</i>
Focos	<ul style="list-style-type: none"> gestão de estoques gestão de compras movimentação de materiais 	<ul style="list-style-type: none"> otimização do sistema de transporte 	<ul style="list-style-type: none"> visão sistêmica da empresa Integração por sistema de informações 	<ul style="list-style-type: none"> visão sistêmica da empresa, incluindo fornecedores e canais de distribuição 	<ul style="list-style-type: none"> amplo uso de alianças estratégicas, <i>co-markership</i>, subcontratação e canais alternativos de distribuição

Fonte: Wood e Zuffo, 1998

Quadro 01 – Evolução dos conceitos de logística.

De acordo com Figueiredo e Arkarder (1998), a logística evoluiu de um tratamento mais restrito, voltado para a distribuição física de materiais e bens, para um escopo mais abrangente, em que se considera a cadeia de suprimentos como um todo e as atividades de compra, administração de materiais e distribuição.

O conceito cadeia de suprimentos pode ser expresso como uma rede de organizações envolvidas em diferentes processos e atividades, com o objetivo de fornecer produtos e serviços que satisfaçam as necessidades dos clientes.

O *Supply Chain Management* (SCM) é a gestão da cadeia de suprimento. Segundo alguns estudiosos, a competição no mercado global não ocorre entre empresas, mas entre cadeias de suprimento. A gestão da logística e do fluxo de informações em toda a cadeia permite aos executivos avaliar, pontos fortes, e pontos fracos na sua cadeia, auxiliando a tomada de decisões que resultam na redução de custos, aumento da qualidade, entre outros, aumentando a competitividade do produto e/ou criando valor agregado e diferenciais em relação a concorrência (Shapiro, 2001, p. 4).

De acordo com Farah (2002), a logística de distribuição é uma das ferramentas que provêem a disponibilidade de produtos onde e quando são necessários, coordenando fluxos de mercadorias e de informações de vários pontos de vendas dos mais variados bens.

Usualmente se pensa em logística como o gerenciamento do fluxo de materiais do seu ponto de aquisição até o seu ponto de consumo. No entanto, existe também um fluxo logístico reverso, do ponto de consumo até o ponto de origem, que precisa ser gerenciado (CARMO *et al*, 2004).

Logística Reversa é a área da logística empresarial que trata do planejamento, operação e controle do fluxo de matérias-primas, estoque em processo e produtos acabados (e seu fluxo de informação) do ponto de consumo ao início do ciclo produtivo, com o objetivo de agregar-lhes valor econômico, ambiental, legal, logístico e de imagem corporativa (vantagem competitiva).

No mercado, a maior parte das empresas ainda vê a logística como simples função de transporte, não dispondo de uma estrutura suficiente para administrar seus processos de armazenagem e distribuição. Os recursos disponíveis de logística devem ser vistos como facilitadores das transações desse processo, desde a entrada até a saída, ou seja, entrega aos clientes/consumidores.

De uma forma geral, o problema de transporte e programação de veículos compartilha várias características de problemas com coleta e entrega, como por exemplo os serviços de mensagens (correios). Porém, com o aumento da competitividade entre as empresas, devido ao processo de globalização, aliado à maior disponibilidade de informação, consumidores e distribuidores, passaram a exigir mais na hora da compra, o nível do critério de serviço (a “qualidade” do serviço) se torna mais importante. Por isso, a informação oferecida na hora da venda deve ser rigorosamente cumprida no momento da entrega, com rastreabilidade e transparência de preços.

De acordo com Bertaglia (2003, p.10), “O objetivo clássico dos canais de distribuição é possibilitar que os produtos certos, na quantidade certa, estejam no seu destino no momento certo, considerando o menor custo possível.”.

O transporte é uma área chave de decisão dentro do composto logístico. À exceção do custo de bens adquiridos, o transporte absorve, em média, a porcentagem mais elevada de custos do que qualquer outra atividade logística. Embora as decisões de transporte se expressem em uma variedade de formas, as principais são a seleção do modal, a roteirização a programação de veículos e a consolidação do embarque (BOWERSOX & CLOSS, 1997).

Para Nogueira (2007), problemas de transporte, que possuem aplicação direta em logística, consistem em um caso particular da classe de problemas de programação linear. E de acordo com Lisboa (2002), este problema ocorre quando temos pontos de

fornecimento (origens) que devem enviar produtos a diversos pontos de consumo (destinos).

De modo genérico, temos m pontos de fornecimento e n pontos de demanda. Cada ponto de fornecimento i tem uma capacidade ou disponibilidade s_i unidades, e cada ponto de demanda j necessita tem uma necessidade ou demanda de d_j unidades para atender o mercado. O custo de transporte do ponto de fornecimento i ao ponto de consumo j é c_{ij} para cada unidade enviada (LISBOA, 2002).

As rotas entre cada ponto de fornecimento e cada ponto de consumo possuem custos proporcionais às quantidades enviadas. Assim o objetivo de um modelo de transporte é encontrar quantos produtos enviar por cada rota, de modo que o custo total de transporte seja o menor possível.

Isto posto, o presente trabalho, fundamentado na literatura existente sobre logística e modelos de transporte, responde a seguinte pergunta:

Quais os veículos devem ser utilizados e quais as filiais devem ser atendidas de modo a otimizar a logística de distribuição e reversa de uma fábrica de bebidas?

1.2 JUSTIFICATIVA

Face aos avanços do mundo contemporâneo, as empresas se vêem frente a novas oportunidades e desafios ao longo de todo o mundo. Para atingir e manter uma posição competitiva neste mercado, as corporações devem manter procedimentos de alta qualidade de produtos a custos e tempos de produção baixos além de orientação ao cliente (Noble, 1997; Rolstadås, 1998).

A estruturação do gerenciamento logístico deve se voltar para a questão central da distribuição dos produtos, dentro de critérios que otimizem o uso dos veículos, atentando para que não haja interrupção no fornecimento e que o serviço para o cliente represente um apoio ao seu *core business* (conjunto de produtos, segmentos de clientes e tecnologias com os quais uma empresa pode gerar a maior vantagem competitiva possível) (FARAH, 2002).

De acordo com Assad (1988) *apud* Cunha (2000), o balanceamento da frota de veículos consiste em uma das histórias de grande sucesso da Pesquisa Operacional nas últimas décadas. Isto pode ser medido pelo expressivo número de artigos que vêm sendo

publicados ao longo dos anos na literatura especializada, incluindo os anais de congressos da ANPET (Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes). Melo (2001) apresenta exemplos de sucesso e de ganhos significativos (Quadro 01) que várias empresas obtiveram depois da implantação sistemas de programação de veículos.

Empresa	Ramo	Problema	Resultado
Protege	Transporte de valores	Otimização de rota e frota	15% de redução da frota, mais rigor nos horários, maior qualidade de serviço
Sadia	Distr. Alimentos	Otimiz. de rota	Redução de 5% do custo operacional
Adriano Coselli	Atacadista	Red. tempo distrib. e Km	Redução de 2h no tempo total e duplicação das entregas (500 p/ semestre)
Luiz Tonin	Atacadista	Red. tempo distrib. e Km	Ganho de 3km p/ entrega, 30 entregas diárias p/ veículo, redução de 20% tempo de entrega e ampliação da área de atuação
Cofesa	Atacadista	Red. tempo distrib. e Km	Rotas mais "enxutas", maior controle da frota
Grupo Benjamin	Atacadista	Red. tempo distrib. e Km	Passou a atender 350 pedidos diários
Marilan Biscoitos	Distr. Alimentos	Red. tempo e custo distrib.	Redução de 5% nos custos de entrega, ganhos em produtividade, efic., qualid. e confian. dos clientes
Fuller	Distr. Alimentos	Red. tempo e custo distrib.	Economia de 27% nos custos de entrega e agilização das vendas
Transvalor	Transporte de valores	Red. Custos operacionais	Redução nas horas extras (7% domingo, 3% sábado. e 8% nos outros dias)
Grupo Martins	Distrib. De Atacado	Rapidez atendimento	Redução no tempo de ciclo e agilidade na entrega
Security Curiers	Distr. Refeição	Vale Geren./efic. na entrega	Redução no tempo ciclo c/ mais entregas, redução de frota
Panamco Spal	Distr. Bebidas	Otimiz. de frota	Redução de 25% no nº veículos, maior eficiência na entrega
Jardim América	Distr. Bebidas	Red. Custos, Otim. Frota/rotas	Redução de 10% a 15% dos custos de distribuição, otimização de rotas
Kibon	Distr. Sorvetes	Agilizar Distribuição	Mais 4000 clientes em 2 meses, redução de 25% Km e 95% ocupação dos veículos

Fonte: Adaptado de Melo (2001)

Quadro 02 – Alguns exemplos de sucesso de aquisição e resultados alcançados

Uma redução nos custos de transporte pode ser conseguida através da melhor utilização de cada veículo, proporcionando assim um balanceamento ótimo da frota utilizada. Visto que essa melhor distribuição de cargas maximizaria a utilização dos veículos próprios, não precisando assim utilizar veículos terceirizados, que geralmente possuem custos mais elevados.

Esta pesquisa não expõe um tema inédito, pois a logística tem sido amplamente estudada e divulgada, mas apresenta um assunto relevante e de grande utilidade prática nas organizações atuais – uma vez que o gerenciamento eficaz do sistema logístico através de modelos de otimização de transporte proporcionam uma redução de custos e maximização de lucros dentro das organizações.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral:

- ✓ Otimizar a logística de distribuição e reversa estabelecendo quais os veículos devem ser utilizados e quais as filiais devem ser atendidas de forma a maximizar a utilização dos veículos próprios.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- ✓ Revisão bibliográfica;
- ✓ Apresentar um modelo matemático de transporte que satisfaça as características logísticas da empresa;
- ✓ Identificar os custos de transporte com a utilização da frota própria;
- ✓ Indicar a viabilidade da utilização de um veículo próprio através do modelo matemático proposto.

1.4. ESTRATÉGIA DO ESTUDO E CONCEPÇÃO DA PESQUISA

A estratégia para desenvolver o estudo é composta de duas partes.

A primeira parte trata da revisão bibliográfica, que busca respaldar os conhecimentos relativos às áreas de estudo. A pesquisa para a revisão bibliográfica foi realizada através da Internet, de periódicos da literatura especializada, livros e teses, utilizando como palavras-chave: logística, pesquisa operacional e problemas de transporte, abordando as questões comuns às áreas de estudo:

A segunda parte consistiu na realização de um estudo de caso, que teve como objetivo apresentar o sistema logístico de distribuição e reversa existente na empresa,

delimitando a unidade-caso, possibilitando assim a coleta de dados, desenvolvimento de um modelo matemático e posteriormente sua análise e interpretação.

Desta maneira, foi possível analisar, interpretar e obter conclusões sobre o modelo proposto, visando dessa forma maximizar a utilização dos veículos próprios com maior rentabilidade por quilometro rodado.

A figura 2 apresenta um esquema geral da concepção do trabalho de pesquisa. Nela tem-se uma visão geral dos elementos: definição do tema e objetivo do estudo, domínio da revisão bibliográfica e o desenvolvimento do método no atendimento aos objetivos e o resultado esperado.

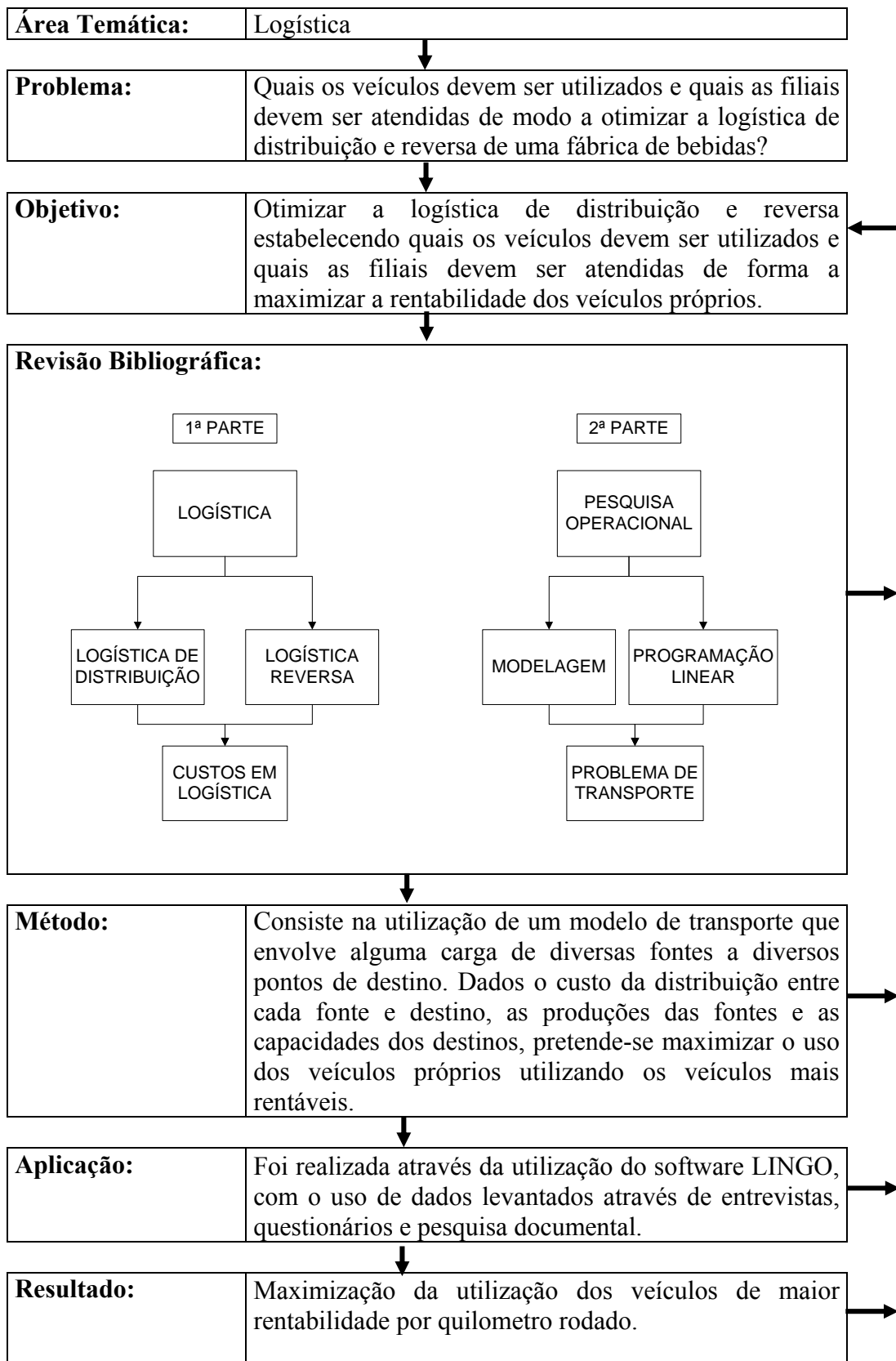


Figura 01 – Esquema de concepção do TCC

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos, conforme descritos à seguir.

O Capítulo 2 trata da metodologia deste estudo. Apresentando os procedimentos metodológicos da pesquisa e descrevendo o problema e o ambiente onde a pesquisa foi realizada. Por fim, foram feitas considerações sobre a metodologia de MODELOS DE TRANSPORTE, que foi utilizada para a construção do modelo matemático e análise dos resultados.

O Capítulo 3 descreve a problemática e suas interfaces, traçando o estado da arte do problema – a logística, a pesquisa operacional e o problema de transporte. Também são feitas considerações sobre assuntos relacionados a estes temas como custos em logística e modelagem.

O Capítulo 4 relata a aplicação do método de avaliação e discute os resultados obtidos no estudo de caso (realizado em uma fábrica de envase de água mineral e fabricação de refrigerante do Estado da Paraíba). Antes, porém, faz-se uma breve descrição do software utilizado neste estudo, o LINGO, descrevendo a rotina criada no programa. Ao final do capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a utilização do software.

O trabalho é concluído com o Capítulo 5, apresentando as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os procedimentos metodológicos desta pesquisa e o ambiente no qual ela foi realizada. Em seguida descreve-se o problema e a metodologia utilizada neste estudo.

2.1. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

2.1.1 Classificação da pesquisa quanto à natureza

Este estudo possui uma natureza explicativa na medida que registra, analisa e interpreta os fenômenos estudados, preocupando-se primordialmente em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, isto é, suas causas. Este tipo de pesquisa caracteriza-se por manipular diretamente as variáveis relacionadas com os objetos de estudo. A manipulação das variáveis proporciona o estudo da relação entre causas e efeitos de um determinado fenômeno. Interfere-se diretamente na realidade, manipulando-se a variável independente, a fim de observar o que acontece com a dependente. Este tipo de pesquisa inicia-se com algum tipo de problema ou indagação e pretende dizer de que modo ou por que causas o fenômeno é produzido.

Neste estudo foram investigadas as seguintes variáveis: o nível de oferta em cada fonte, a quantidade de demanda em cada destino e o custo do transporte unitário da mercadoria de cada fonte para cada destino.

2.1.2 Classificação da pesquisa quanto à abordagem

No que se refere à abordagem, esta pesquisa possui caráter qualitativo, uma vez que dela faz parte a obtenção de dados descritivos (primários e secundários) mediante contato direto e interativo (questionários, entrevistas e pesquisa documental) do pesquisador com a situação objeto de estudo. Permitindo assim uma perspectiva interpretativa das características estudadas.

2.2 AMBIENTE DA PESQUISA

Quanto ao universo pesquisado, foi escolhida uma empresa de bebidas localizada na região da grande João Pessoa – PB (Empresa Alfa). A empresa em questão trata-se de uma fábrica de envase de água mineral e fabricação de refrigerante que atende a nove filiais espalhadas pelas regiões norte e nordeste. Onde a transferência destes produtos é realizada através do modal rodoviário em veículos próprios.

2.3 O PROBLEMA E A METODOLOGIA UTILIZADA

Para a empresa Alfa o número de veículos próprios é insuficiente para atender toda a demanda, sendo assim, a empresa tem de recorrer à utilização de veículos terceirizados, que possuem custos maiores do que os veículos próprios.

Conforme dito anteriormente a fábrica de bebidas atende a nove filiais espalhadas pelas regiões norte e nordeste (Fortaleza, Belém, Maceió/Salvador, Mossoró, Natal, Recife, Crato e São Luís). No caso particular do destino Maceió/Salvador o transporte segue da sua origem para Maceió, lá é descarregado, segue para Salvador vazio, chegando lá é carregado e volta para origem.

Estes transportes são realizados por dez carretas e dois bi-trens, com capacidade de 27 e 40 toneladas respectivamente. E na utilização destes veículos deve-se considerar uma carga de retorno do destino para a origem.

O custo de transporte utilizando veículos próprios é menor que o custo utilizando veículos terceirizados. Entretanto o número de veículos próprios é, segundo a empresa, insuficiente para atender toda a demanda, sendo assim, a empresa tem de recorrer à utilização de veículos terceirizados.

O “fator limitante” para que a empresa possa atender a toda a demanda é a quantidade de produtos que carreta pode ofertar. Ou seja, a demanda tem que ser dimensionada com base no número de veículos utilizados para atender tal demanda. Dimensionando a demanda com base no número de veículos pode-se maximizar a lucratividade e a utilização dos veículos, atendendo assim ao objetivo proposto.

Como a empresa não relaciona os custos por quilômetro rodado de seus veículos com as distâncias percorridas por estes, os altos custos são inevitáveis. Dessa forma, a metodologia utilizada nesta pesquisa é de MODELOS DE TRANSPORTE, onde se buscou, através do balanceamento da frota, utilizar os veículos de uma maneira mais eficaz minimizando os custos com o transporte.

Baseando-se portanto nos conceitos teóricos e matemáticos da metodologia de MODELOS DE TRANSPORTE, tem-se a seguir a construção da modelagem para a realização deste estudo:

a) Escolha da variável de decisão:

X_{ijt} = Número de viagens entre as filiais i e j utilizando o veículo t.

b) Parâmetros:

C_t = Escala do custo do quilometro rodado do veículo t;

d_{ij} = Distância entre as filiais i e j;

C_{ij} = Custo para transportar os produtos da filial i para j utilizando a transportadora;

t_{ij} = Tempo de transporte entre as filiais i e j;

Dm_{ij} = Demanda entre as filiais i e j;

U = Número de dias úteis.

c) Função Objetivo (FO) e Restrições:

$$\text{máx} \sum_i \sum_j \sum_t (C_t d_{ij}) X_{ijt}$$

$$\sum_t X_{ijt} \leq Dm_{ij} \quad \forall i, j \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ijt} * t_{ij} \leq U \quad \forall t \quad (2)$$

$$X_{ijt} \in Z^+ \quad \forall i, j, t \quad (3)$$

A função objetivo garante maximizar a utilização dos veículos próprios, alocando da melhor forma os veículos aos seus destinos e buscando a maior rentabilidade da frota através da escala de custo.

A restrição (1) determina que o número total de viagens realizadas entre as filiais i e j utilizando o veículo t deve ser menor ou igual que a demanda total entre estas filiais. A restrição (2) define que o número total de dias utilizados pelo veículo t deve ser menor ou igual ao total de dias úteis. A última restrição determina que a variável tenha que ser inteira e positiva.

CAPÍTULO 3 - EIXO TEMÁTICO DA PESQUISA

A pesquisa bibliográfica está dividida em duas partes. A primeira tem o intuito de conhecer e analisar as informações científicas existentes sobre Logística, Logística de distribuição e Logística Reversa. Já a segunda aborda temas relacionados à pesquisa operacional e modelos de transporte, que serviram como instrumento de pesquisa para este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Antes de se discutir o conceito de problema de transporte se faz necessária a apresentação de alguns conceitos logísticos relacionados ao tema, como também uma explanação sobre pesquisa operacional, mostrando sua estrutura, fases e técnicas.

3.1 Logística

O termo Logística, de acordo com o Dicionário Aurélio (2006), vem do francês *Logistique* e tem como uma de suas definições "a parte da arte da guerra que trata do planejamento e da realização de: projeto e desenvolvimento, obtenção, armazenamento, transporte, distribuição, reparação, manutenção e evacuação de material para fins operativos ou administrativos".

Até o fim da Segunda Guerra Mundial a Logística esteve associada às atividades militares. Nesse período, com o avanço tecnológico e a necessidade de suprir os locais destruídos pela guerra a logística passou a ser adotada pelas empresas.

Kent e Flint *apud* Figueiredo e Arkarder (1998) estudaram a evolução do pensamento logístico e apontaram cinco eras ou etapas principais.

A primeira delas ficou conhecida como a Era do Campo ao Mercado e teve início na virada para o século XX. Essa etapa teve na economia agrária sua principal influência teórica e tinha como principal preocupação as questões de transporte para o escoamento da produção agrícola.

A segunda era, rotulada de Funções Segmentadas, estendeu-se de 1940 até o início da década de 60 e sofreu grande influência militar, com o pensamento logístico voltado para a identificação dos principais aspectos da eficiência no fluxo de materiais, em

especial as questões de armazenamento e transportes, tratadas separadamente no contexto da administração de bens.

A terceira etapa, denominada de Funções Integradas, ocorreu do início da década de 60 até os primeiros anos da década de 70 e marcou o início de uma visão integrada nas questões logísticas. Essa era deixou de concentrar o foco na distribuição física e passou a englobar um espectro mais amplo de funções, sob influência da economia industrial, explorando aspectos como custo total e abordagem de sistemas. Nesse período observou-se o aparecimento de um gerenciamento consolidado das atividades de transporte de suprimentos e distribuição, armazenagem, controle de estoque e manuseio de materiais.

A era seguinte, Foco no Cliente, estendeu-se do início dos anos 70 até meados dos anos 80 e concentrou-se na aplicação de métodos e modelos quantitativos às questões logísticas, dando maior ênfase às questões de produtividade e custos de estoque.

A quinta era, que se inicia de meados dos anos 80 até os dias atuais, tem ênfase estratégica e foi rotulada como “A logística como elemento diferenciador”. Esta etapa é identificada como a última fronteira empresarial em que se pode ser exploradas novas vantagens competitivas e ficou conhecida como a era do *Supply Chain Management*, cujo pano de fundo é a globalização e o avanço nas tecnologias de informação.

A evolução da logística tem se apresentado nas empresas com o alargamento do seu escopo e a integração de suas atividades que passam a abraçar funções que, anteriormente, eram conduzidas de forma fragmentada nas organizações. Ao fluxo material, centrado nas atividades de transporte e armazenagem, a logística passa a gerenciar e ter como componentes fundamentais, os fluxos de informações e financeiros correspondentes, estendendo seu âmbito de atuação para a integração com fornecedores a montante da empresa e canais de distribuição e clientes a jusante.

Copacino (1997:32) apresenta uma definição simples para logística, ou seja, “administração do fluxo de produtos da fonte ao ponto de uso”; porém, acrescenta que o entendimento do desenvolvimento de estratégias logísticas se referencia a quatro níveis, a saber: Implementação, Operacional, Estrutural e Estratégico, conforme apresenta a Figura 02.

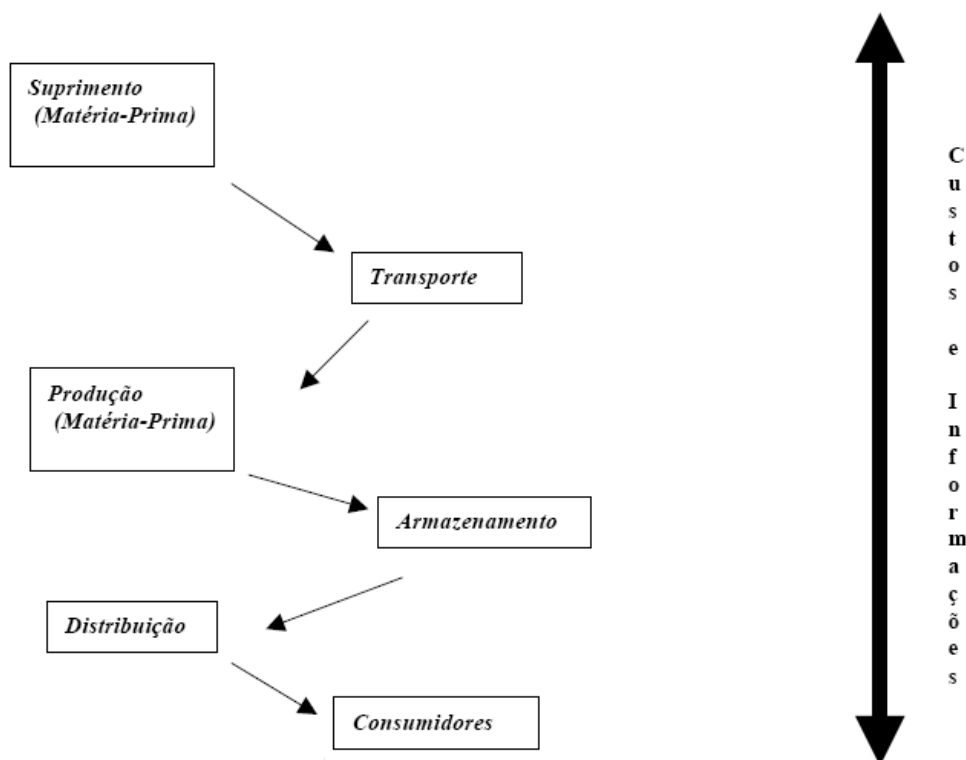


Figura 02 – Pirâmide estratégica logística

O autor aponta que as decisões na pirâmide estratégica logística são interdependentes e o instrumento pode ser utilizado como uma forma efetiva de integração dessas decisões. Essa integração pode ser considerada ao se consubstanciar o conceito de Logística Integrada o qual, conforme se mostra a seguir, pode ser entendido também como Administração da Cadeia de Suprimentos.

De acordo com a Associação Brasileira de Logística (ASLOG), Logística é definida como o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo e armazenagem eficientes e de baixo custo de matérias primas, estoque em processo, produto acabado e informações relacionadas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do cliente.

De maneira geral, todas as definições apresentadas acima podem ser estruturadas em um esquema que se pode chamar de macrofluxo da logística, proposto pelo *Council of Logistics Management*. Este macrofluxo relaciona os componentes envolvidos na logística com os custos e informações que permeiam a cadeia de suprimentos, conforme mostrado na figura 03.



Fonte: *Concil of Logistics Management*

Figura 03 – Macrofluxo de distribuição

Beamon (1998) define cadeia de suprimento como “processo integrado dentro do qual um número de várias entidades de negócios trabalha junto num esforço para adquirir matérias-primas em determinados produtos finais e oferecer esses produtos nos pontos de venda”.

Já Cox (2001) afirma que uma cadeia de suprimento pode ser descrita como “uma rede ampliada de relacionamentos de permuta que devem existir para a criação de qualquer produto ou serviço que é fornecido a um cliente final. Para que um produto ou serviço seja fornecido a um cliente ele deve começar com matéria – prima de alguma espécie e então passar por uma série de estágios de permuta entre compradores e fornecedores. Em cada estágio deve ocorrer alguma forma de transformação, ou intermediação, destinada a agregar valor ao produto ou serviço como percebido pelo comprador naquele estágio e, em última instância pelo cliente final”.

Abramczuk (2001), por sua vez, critica essas duas definições e coloca que “uma cadeia de suprimento é representada por uma concatenação lógica de atividades diferenciadas e complementares, necessárias para que um produto ou serviço seja

criado, elaborado e colocado ao alcance do cliente final. Esse conceito descritivo refere-se a uma concatenação de atividades físicas”.

Com a inovação e o capitalismo, as empresas procuraram ser cada vez mais competitivas, não somente em custo, mas também em qualidade e produtividade. As novas exigências para a atividade logística no Brasil e no mundo passam pelo maior controle e identificação de oportunidades de redução de custos, redução nos prazos de entrega e aumento da qualidade no cumprimento do prazo, disponibilidade constante dos produtos, programação das entregas, facilidade na gestão dos pedidos e flexibilização da fabricação, análises de longo prazo com incrementos em inovação tecnológica, novas metodologias de custeio, novas ferramentas para redefinição de processos e adequação dos negócios, entre outros.

O desenvolvimento deste projeto se dá a partir do entendimento, da importância e das implicações de algumas áreas da logística relacionadas ao tema. Nos tópicos seguintes é apresentada uma breve abordagem de cada uma delas.

3.1.1 Logística de Distribuição

Os especialistas em Logística denominam de distribuição física de produtos, ou resumidamente distribuição física, os processos operacionais e de controle que permitem transferir os produtos desde o ponto de fabricação, até o ponto em que a mercadoria é finalmente entregue ao consumidor (ORLANDELI, 2005).

A distribuição representa para a empresa o último passo antes de colocar o produto à venda no mercado. Distribuição é “o conjunto de atividades entre o produto pronto para o despacho e sua chegada ao consumidor final” (MARTINS & CAMPOS, 2005). Essas atividades constituem os canais de distribuição diretos, responsáveis pela comercialização e entrega de produtos ao consumidor ou cliente final.

Segundo Orlandelli (2005), as formas como as empresas estruturam seus canais de distribuição têm se alterado substancialmente nas últimas décadas, fruto do ambiente cada vez mais competitivo, da maior atenção dirigida ao consumidor final, do uso crescente da tecnologia da informação, da maior diversificação e da distribuição física mais ágil e mais confiável. Questões de natureza estratégica, derivadas da dinâmica crescente observada no ambiente de negócios, passaram a preocupar os executivos.

A definição mais detalhada dos objetivos dos canais de distribuição depende essencialmente de cada empresa, da forma com que ela compete no mercado e da estrutura geral da cadeia de suprimento. No entanto, Orlandelli (2005) identifica alguns fatores gerais, que estão presentes na maioria dos casos. São eles:

- Garantir a rápida disponibilidade do produto nos segmentos do mercado identificados como prioritários.
- Intensificar ao máximo o potencial de vendas do produto em questão;
- Analisar a necessidade de promoções especiais do produto etc.;
- Buscar a cooperação entre os participantes da cadeia de suprimento no que se refere aos fatores relevantes relacionados com a distribuição.
- Garantir um nível de serviço preestabelecido pelos parceiros da cadeia de suprimento;
- Garantir um fluxo de informações rápido e preciso entre os elementos participantes;
- Buscar, de forma integrada e permanente, a redução de custos, atuando não isoladamente, mas em uníssono, analisando a cadeia de valor no seu todo.

3.1.2 Logística Reversa

O ciclo dos produtos na cadeia comercial não termina quando, após serem usados pelos consumidores, são descartados. Há muito se fala em reciclagem e reaproveitamento dos materiais utilizados. Esta questão se tornou foco no meio empresarial, e vários fatores cada vez mais as destacam, estimulando a responsabilidade da empresa sobre o fim da vida de seu produto.

Para Mueller (2005), logística reversa pode ser definida como sendo apenas uma versão contrária da Logística como a conhecemos. O fato é que um planejamento reverso utiliza os mesmos processos que um planejamento convencional. Ambos tratam de nível de serviço, armazenagem, transporte, nível de estoque, fluxo de materiais e sistema de informação. No entanto a Logística Reversa deve ser vista como um novo recurso para a lucratividade.

De acordo com Bowersox & Closs (2001), as necessidades da logística reversa também provêm das legislações que proíbem o descarte indiscriminado de

resíduos no meio ambiente e incentivam a reciclagem de recipientes de bebidas e materiais de embalagem. O aspecto mais significativo da logística reversa é a necessidade de um máximo controle quando existe uma possível responsabilidade por danos à saúde humana, por exemplo produtos vencidos ou contaminados. Assim, a retirada dos mesmos do mercado é semelhante a uma estratégia de serviço máximo ao cliente que deve ser realizado sem se considerar o custo.

Os canais de distribuição diretos não prevêm o retorno dos produtos comercializados à empresa que os fabricou, pois esse processo representa o inverso da função desses canais. Nesse contexto surgem os chamados canais de distribuição reversos, ou simplesmente CDRs, que constituem todas as etapas ou meios necessários para o retorno de uma parcela dos produtos comercializados, seja devido a defeitos de fabricação, prazo de validade vencido, ciclo de vida útil encerrado ou reaproveitamento de embalagens, ao ciclo produtivo da empresa.

Os canais de distribuição reversos podem ser classificados em duas categorias, ou seja, pode ser de pós-consumo ou de pós-venda.

a) Logística reversa de pós-consumo

Bens de pós-consumo são os produtos ou materiais constituintes cujo prazo de vida útil chegou ao fim, sendo assim considerados impróprios para o consumo primário, ou seja, não podem ser comercializados em canais tradicionais de vendas. No entanto, não quer dizer que não possam ser reaproveitados. Isso é possível graças à adoção da logística reversa e de seus canais de distribuição reversos (CDRs).

CDRs são as etapas envolvidas no retorno de produtos considerados bens de pós-consumo. Essas etapas formam o processo logístico no pós-consumo.

Para falar em pós-consumo é preciso antes falar em ciclo de vida ou vida útil de um produto. “A vida útil de um bem é entendida como o tempo decorrido desde a sua produção original até o momento em que o primeiro possuidor se desembaraça dele” (LEITE, 2003). Assim sendo, um produto ou material torna-se bem de pós-consumo quando sua vida útil é encerrada e, mesmo assim, ainda pode ser aproveitado para algum fim específico, conforme Figura 04.

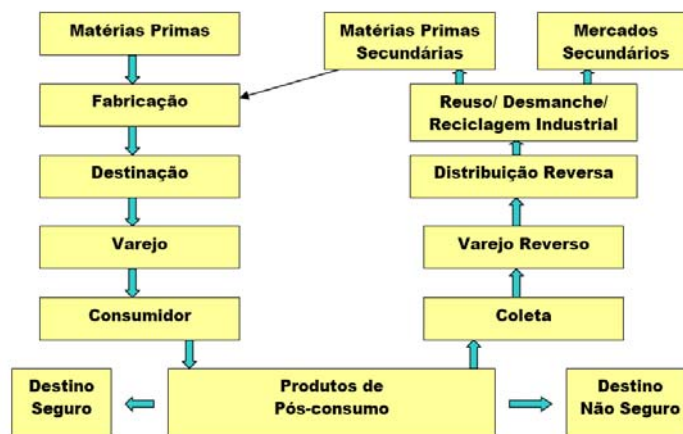


Figura 04 – Fluxograma logística reversa de pós-consumo

O retorno desse bem de pós-consumo ao ciclo produtivo constitui a principal preocupação da logística reversa (LEITE, 2003). A descartabilidade de um produto é que dá início ao processo de logística reversa. “O foco de atuação da logística reversa envolve a reintrodução dos produtos ou materiais à cadeia de valor através do ciclo produtivo ou de negócios e, portanto, um produto só é descartado em último caso” (CHAVES e MARTINS, 2005).

“Para a logística o conceito de ciclo de vida do produto vai a partir de sua concepção até o destino final dado a este produto, seja o descarte, reparo ou reaproveitamento” (TRIGUEIRO, 2003).

“O processo de logística reversa gera materiais que retornam ao processo tradicional de suprimento, produção e distribuição” (BARBOSA et. al., 2005).

b) Logística reversa de pós-venda

Segundo Leite (2003), o retorno de produtos ao centro produtivo ou de negócios, ou logística reversa de pós-venda, como pode ser chamada, é definida da seguinte maneira: [...] específica área de atuação da logística reversa que se ocupa do planejamento, da operação e do controle do fluxo físico e das informações logísticas correspondentes de bens de pós-venda, sem uso ou com pouco uso, que por diferentes motivos retornam aos diferentes elos da cadeia de distribuição direta, que constituem uma parte dos canais reversos pelos quais fluem esses produtos.

Ainda segundo Leite (2003), ao contrário dos bens de pós-consumo, os bens de pós-venda têm características que os diferem destes primeiros. São produtos que geralmente apresentam pouco uso, ou muitas vezes nem foram utilizados. Os bens de

pós-consumo são produtos que já tiveram sua vida útil esgotada, ou então, já não têm mais serventia para o consumidor que fez a primeira aquisição.

Esses produtos retornam por vários motivos, sejam eles comerciais, por erro no momento da emissão do pedido, garantia, defeitos de fabricação, de funcionamento ou até por danos causados no transporte (Leite, 2003).

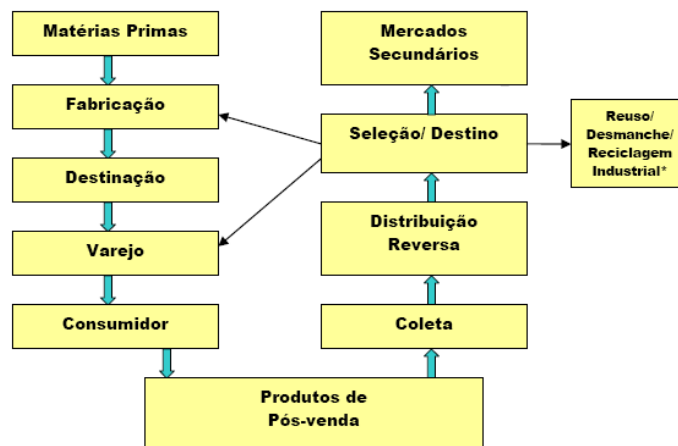


Figura 05 – Fluxograma logística reversa de pós-venda

3.1.3 Custos em Logística

Para Ballou (1995), o conceito de custo total é a soma dos custos de transporte, armazenagem e processamento de pedidos sobre alguma variável logística, como por exemplo, número de depósitos, modal de transporte, etc.

Para Daganzo (1996), os custos de uma operação logística incluem custos relacionados ao movimento (vencendo a distância) e a retenção (vencendo o tempo).

De acordo com este autor, o custo de movimento é classificado como custo de manuseio (inclui empacotamento) e custo de transporte (inclui o carregamento). O custo de retenção inclui custos com aluguéis e custos de espera (custos de oportunidade, custos de perdas durante as esperas, etc). Para um valor fixado de facilidades (máquinas e local), o custo de aluguel permanece fixo, mas o custo de espera dependerá de como se dá o processamento dos itens.

Segundo Christopher (1997), um dos princípios básicos do custeio logístico é que o sistema deve refletir o fluxo de materiais, isto é, ele deve ser capaz de identificar os custos resultantes do fornecimento do serviço ao cliente. Um segundo princípio, segundo este autor, é que ele deve possibilitar uma análise separada de custos e receitas, por tipo de cliente e por segmento de mercado ou canal de distribuição.

Lambert (1994) afirma que a análise do custo total envolve as seguintes categorias de custos: níveis de serviço ao cliente (o custo de vendas perdidas), custo de transporte, custos de armazenagem, custos de processamento e informação, custos de produção em lote e custos de estocagem.

3.2 Pesquisa Operacional

Durante a Segunda Guerra Mundial, um grupo de cientistas foi convocado na Inglaterra para estudar problemas de estratégia e de tática associados com a defesa do país. O objetivo era decidir sobre a utilização mais eficaz de recursos militares limitados. A convocação deste grupo marcou a primeira atividade formal de pesquisa operacional.

Com o fim da guerra, a utilização de técnicas de pesquisa operacional atraiu o interesse de diversas outras áreas. A natureza dos problemas encontrados é bastante abrangente e complexa, exigindo, portanto uma abordagem que permita reconhecer os múltiplos aspectos envolvidos. Uma característica importante da pesquisa operacional é que facilita o processo de análise e de decisão é a utilização de modelos. Eles permitem a experimentação da solução proposta. Isto significa que uma decisão pode ser mais bem avaliada e testada antes de ser efetivamente implementada. A economia obtida e a experiência adquirida pela experimentação justificam a utilização da Pesquisa Operacional.

Com o aumento da velocidade de processamento e quantidade de memória dos computadores atuais, houve um grande progresso na Pesquisa Operacional. Este progresso é devido também à larga utilização de microcomputadores, que se tornaram unidades isoladas dentro de empresas. Isso faz com que os modelos desenvolvidos pelos profissionais de Pesquisa Operacional sejam mais rápidos e versáteis, além de serem também interativos, possibilitando a participação do usuário ao longo do processo de cálculo.

3.2.1 Modelagem

Segundo Hillier & Lieberman (2005) um modelo é uma representação de um sistema real, que pode já existir ou ser um projeto aguardando execução. No primeiro

caso, o modelo pretende reproduzir o funcionamento do sistema, de modo a aumentar sua produtividade. No segundo caso, o modelo é utilizado para definir a estrutura ideal do sistema.

A confiabilidade da solução obtida através do modelo depende da validação do modelo na representação do sistema real. A validação do modelo é a confirmação de que ele realmente representa o sistema real. A diferença entre a solução real e a solução proposta pelo modelo depende diretamente da precisão do modelo em descrever o comportamento original do sistema (LISBOA, 2002).

Um problema simples pode ser representado por modelos também simples e de fácil solução. Já problemas mais complexos requerem modelos mais elaborados, cuja solução pode vir a ser bastante complicada.

3.2.1.1 Estrutura de um modelo matemático

Em um modelo matemático, são incluídos três conjuntos principais de elementos:

- Variáveis de decisão e parâmetros: variáveis de decisão são as incógnitas a serem determinadas pela solução do modelo. Parâmetros são valores fixos no problema;
- Restrições: de modo a levar em conta as limitações físicas do sistema, o modelo deve incluir restrições que limitam as variáveis de decisão a seus valores possíveis (ou viáveis);
- Função objetivo: é uma função matemática que define a qualidade da solução em função das variáveis de decisão.

3.2.2 Fases do Estudo de Pesquisa Operacional

Segundo Hillier & Lieberman (2005), um estudo de pesquisa operacional geralmente envolve as seguintes fases:

a) Definição do problema

A definição do problema baseia-se em três aspectos principais:

- ✓ descrição exata dos objetivos do estudo;
- ✓ identificação das alternativas de decisão existentes;
- ✓ reconhecimento das limitações, restrições e exigências do sistema.

A descrição dos objetivos é uma das atividades mais importantes em todo o processo do estudo, pois a partir dela é que o modelo é concebido. Da mesma forma, é essencial que as alternativas de decisão e as limitações existentes sejam todas explicitadas, para que as soluções obtidas ao final do processo sejam válidas e aceitáveis.

b) Construção do modelo

A escolha apropriada do modelo é fundamental para a qualidade da solução fornecida. Se o modelo elaborado tem a forma de um modelo conhecido, a solução pode ser obtida através de métodos matemáticos convencionais. Por outro lado, se as relações matemáticas são muito complexas, talvez se faça necessária a utilização de combinações de metodologias.

c) Solução do modelo

O objetivo desta fase é encontrar uma solução para o modelo proposto. Ao contrário das outras fases, que não possuem regras fixas, a solução do modelo é baseada geralmente em técnicas matemáticas existentes.

No caso de um modelo matemático, a solução é obtida pelo algoritmo mais adequado, em termos de rapidez de processamento e precisão da resposta. Isto exige um conhecimento profundo das principais técnicas existentes. A solução obtida, neste caso, é dita "ótima".

d) Validação do modelo

Nessa altura do processo de solução do problema, é necessário verificar a validade do modelo. Um modelo é válido se, levando-se em conta sua inexatidão em representar o sistema, ele for capaz de fornecer uma previsão aceitável do comportamento do sistema.

Um método comum para testar a validade do sistema é analisar seu desempenho com dados passados do sistema e verificar se ele consegue reproduzir o comportamento que o sistema apresentou.

É importante observar que este processo de validação não se aplica a sistemas inexistentes, ou seja, em projeto. Nesse caso, a validação é feita pela verificação da correspondência entre os resultados obtidos e algum comportamento esperado do novo sistema.

e) Implementação da solução

Avaliadas as vantagens e a validação da solução obtida, esta deve ser convertida em regras operacionais. A implementação, por ser uma atividade que altera

uma situação existente, é uma das etapas críticas do estudo. É conveniente que seja controlada pela equipe responsável, pois, eventualmente, os valores da nova solução, quando levados à prática, podem demonstrar a necessidade de correções nas relações funcionais do modelo conjunto dos possíveis cursos de ação, exigindo a reformulação do modelo em algumas de suas partes.

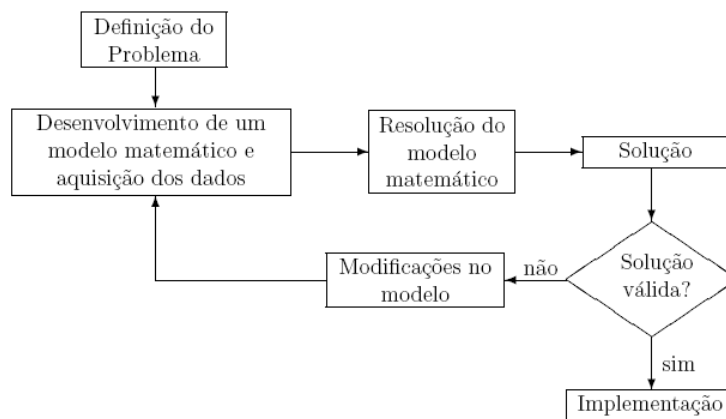


Figura 06 – Metodologia da Pesquisa Operacional

3.2.3 Técnicas Matemáticas em Pesquisa Operacional

A formulação do modelo depende diretamente do sistema a ser representado. A função objetivo e as funções de restrições podem ser lineares ou não-lineares. As variáveis de decisão podem ser contínuas ou discretas (por exemplo, inteiras) e os parâmetros podem ser determinísticos ou probabilísticos (LISBOA, 2002).

O resultado dessa diversidade de representações de sistemas é o desenvolvimento de diversas técnicas de otimização, de modo a resolver cada tipo de modelo existente. Estas técnicas incluem, principalmente: programação linear, programação inteira, programação dinâmica, programação estocástica e programação não-linear. Programação linear é utilizada para analisar modelos onde as restrições e a função objetivo são lineares; programação inteira se aplica a modelos que possuem variáveis inteiras (ou discretas); programação dinâmica é utilizada em modelos onde o problema completo pode ser decomposto em subproblemas menores; programação estocástica é aplicada a uma classe especial de modelos onde os parâmetros são descritos por funções de probabilidade; finalmente, programação não-linear é utilizada em modelos contendo funções não-lineares.

Uma característica presente em quase todas as técnicas de programação matemática é que a solução ótima do problema não pode ser obtida em um único passo,

devendo ser obtida iterativamente. É escolhida uma solução inicial (que geralmente não é a solução ótima). Um algoritmo é especificado para determinar, a partir desta, uma nova solução, que geralmente é superior à anterior. Este passo é repetido até que a solução ótima seja alcançada (supondo que ela existe).

3.3 Programação Linear

Segundo Lanzer (1982), Programação Linear é um instrumento de Pesquisa Operacional na solução prática de problemas decisórios objetivos e de certa complexidade.

Puccini (1976) define programação linear da seguinte forma:

Os problemas de Programação Linear referem-se à distribuição eficiente de recursos limitados entre as atividades competitivas, com a finalidade de atender a um determinado objetivo, por exemplo, maximização de lucro ou minimização de custos.(Puccini, 1976).

Constantemente nos deparamos com um problema que normalmente está atrelado à escassez, seja de tempo, seja de matéria prima ou até mesmo de conhecimento sobre o assunto. E, para solucionarmos esses problemas, devemos buscar o emprego da melhor forma possível desses recursos a fim de torná-los eficientes e eficazes. Ou seja, maximizar ou minimizar uma quantidade que poderá ser receita, lucro, custo ou escala de funcionários e que deve ser chamada de objetivo. O objetivo pode ser dependente de um ou mais recursos escassos. A quantidade a ser minimizada ou maximizada é descrita como uma função matemática dos recursos escassos, que são representados por variáveis de decisão.

A capacidade de formular um problema se vincula diretamente à experiência adquirida no assunto. Caixeta-Filho (2001) sugere três passos básicos para formulação do problema a ser resolvido por Programação Linear. Caixeta-Filho (2001)

- a) Deve ser definido o objetivo básico do problema – que a princípio deve ser único – com respeito à otimização a ser perseguida. Tal objetivo será assim respeitado por uma função objetivo, a ser maximizada ou minimizada.

- b) Para que essa função objetivo possa ser matematicamente especificada, as alternativas possíveis para a ocorrência de tal otimização – as chamadas variáveis de decisão envolvidas – deverão ser definidas. Normalmente, assume-se que todas essas variáveis possam assumir somente valores positivos.
- c) Tais variáveis podem estar sujeitas a uma série de limitações também conhecidas como restrições do problema – normalmente representadas por inequações.

Segundo Lanzer (1982), um problema de Programação Linear tem três características fundamentais:

- a) Existência de um escalar que se busca otimizar e que é uma função linear das incógnitas do problema;
- b) Existência de um sistema de equações lineares que define a viabilidade de qualquer plano potencial às condições específicas estabelecidas no problema e;
- c) Condicionamento de não negatividade sobre todas as incógnitas do problema, incluindo as auxiliares.

Lachtermacher (2002) afirma que todo problema de Programação Linear parte de algumas hipóteses que são assumidas quando tentamos resolvê-los:

- 1) Proporcionalidade: O valor da função-objetivo é diretamente proporcional ao nível de atividade de cada variável de decisão.
- 2) Aditividade: Considera as atividades (variáveis de decisão) do modelo como entidades totalmente independentes, não permitindo que haja interdependência entre as mesmas, isto é, não permitindo a existência de termos cruzados, tanto na função-objetivo como nas restrições.
- 3) Divisibilidade: Assume que todas as unidades de atividade possam ser divididas em qualquer nível fracional, isto é, qualquer variável de decisão pode assumir qualquer valor fracionário.
- 4) Certeza: Assume que todos os parâmetros do modelo são constantes conhecidas. Em problemas reais, a certeza quase nunca é satisfeita, provocando a necessidade de análise de sensibilidade dos resultados.

3.4 Problema de Transporte

Um problema bastante comum que muitas vezes pode ser modelado como um problema de programação linear é o problema de transporte. Este problema envolve o transporte de alguma carga de diversas fontes a diversos pontos de destino. Dados o

custo da distribuição entre cada fonte e destino, as produções das fontes e as capacidades dos destinos, pretende-se minimizar o custo total do transporte (HILLIER & LIEBERMAN, 2005).

Os problemas de transporte ocorrem quando temos pontos de fornecimento (origens) que devem enviar produtos a diversos pontos de consumo (destinos). As rotas entre cada ponto de fornecimento e cada ponto de consumo possuem custos proporcionais às quantidades enviadas. Assim o objetivo de um modelo de transporte é encontrar quantos produtos enviar por cada rota, de modo que o custo total de transporte seja o menor possível.

Os problemas de transporte são utilizados na realização de atividades como: controle de inventários, programação de empregos, contratação de pessoal, fluxo de materiais, etc.

Segundo Lisboa (2002), as principais dificuldades de um problema de transporte são:

✓ Não balanceamento entre oferta e demanda

Caso isso ocorra, o problema não pode ser resolvido da maneira apresentada. Deve-se então criar uma origem ou destino fictício para que o problema esteja balanceado.

Para o problema inicial, se a produção total for maior que a capacidade total, criar um depósito fictício com capacidade igual à produção total menos a capacidade total, com custos de distribuição nulos. Se a produção total for menor que a capacidade total, criar uma fábrica fictícia.

Outra maneira de se resolver o problema seria tratar as restrições pertinentes não mais como equações e sim como inequações.

✓ Soluções múltiplas

Ocorrem quando, detectada a solução ótima, um dos valores das contribuições for zero. O caminho fechado para a variável x_{ij} correspondente indicará a forma de obtenção da solução alternativa.

Segundo Shamblim e Stevens Jr. (1979), o problema de transporte requer a alocação de unidades partindo de certo número de postos de origem para certo número de destinos, de tal modo que esta alocação seja ótima (a um mínimo custo ou um lucro máximo).

Lisboa (2002) apresenta a seguinte forma genérica para o problema de transporte:

Minimizar:
$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

sujeito a
$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = F_i$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = D_j$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ para } i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n,$$

em que x_{ij} é a quantidade alocada da origem i para o destino j e c_{ij} é o custo ou o lucro da alocação de uma unidade da origem i para o destino j . Os valores F_i são as quantidades disponíveis em cada origem e os valores D_j são as quantidades necessárias em cada destino. Estes valores são frequentemente conhecidos como exigências de contorno.

Para que o problema tenha solução, ele deve estar balanceado, ou seja, devemos ter o total armazenado igual ao total da produção. Isso pode ser definido pela equação

$$\sum_{i=1}^m F_i = \sum_{j=1}^n D_j$$

Esta equação mostra que a soma dos valores F_i e D_j deve ser igual. Esta limitação não impõe nenhuma restrição séria ao problema. Tudo que se exige é a introdução de uma origem ou um destino fictício que satisfaça essa equação.

O fato de o problema estar balanceado, faz com que uma das restrições seja redundante. Isto significa que o problema se reduzirá a $(m + n - 1)$ restrições e $(m \times n)$ variáveis de decisão.

CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO

O Capítulo 4 relata o estudo de caso realizado neste trabalho, que teve como objetivo apresentar o sistema logístico de distribuição e reversa existente na empresa, delimitando a unidade-caso, possibilitando assim a coleta de dados e posteriormente sua análise e interpretação.

Antes porém, faz-se uma breve descrição do software utilizado neste estudo, o LINGO, que é uma ferramenta simples para utilizar o poder da otimização linear ou não-linear para formular problemas grandes, resolvê-los e analisar a solução concisamente. Sabendo-se que este se trata de um modelo de programação inteira.

4.1 O MODELO

4.4.1 Software utilizado

A informática tem um papel fundamental no desenvolvimento da Pesquisa Operacional, pois a popularização do uso de computadores pessoais impulsionou o desenvolvimento de um grande número de programas que resolvem estes tipos de problemas.

São programas especialistas que podem ser utilizados por empresas pequenas até multinacionais, com licenças gratuitas ou não. Os melhores programas resolvem problemas de programação linear, não-linear, problemas de transporte, roteirização de veículos, entre outros.

A escolha do software mais adequado a cada problema depende de quatro aspectos (SILVA, 2000):

- O objetivo que se encontra com a otimização;
- Número de variáveis que o problema contém;
- Plataforma computacional disponível;
- Facilidade de operação do software, em relação a entrada de dados e relatórios de saída.

Assim, os softwares de pesquisa operacional informam relatórios finais da solução ótima encontrada, número de interações, valores das variáveis de decisão e os resultados da análise de sensibilidade. A interpretação é responsabilidade do analista que deverá ter experiência e conhecimento teórico para tomar decisões. Neste TCC será

utilizado o programa LINGO 10.0 da empresa LINDO SYSTEMS. Esta é a última versão deste programa computacional, que tem como opcional o uso limitado de variáveis e restrições de suas funções, além de ter sido encontrado em outras pesquisas científicas.

4.4.2 Rotina criada no programa computacional LINGO

A resolução e a análise do problema foi realizado com a ajuda de um software de pesquisa operacional, onde foi analisada a melhor alocação dos veículos. A partir das matrizes de custo do quilometro rodado dos caminhões (tabela 01), juntamente com a quantidade de produtos a serem ofertados (tabela 02), tempo de viagem (tabela 03) e distância entre o ponto de oferta e o ponto de demanda (tabela 04), foi feita a leitura dos dados de uma planilha através do comando `@OLE('nomearq.xls','nome do conjunto de células')`. Para a utilização de uma planilha do Excel, devemos definir um nome para cada conjunto de células referenciadas no modelo.

A inserção dos dados no programa segue os seguintes passos:

- 1º passo. Declarar das variáveis escolhidas, que no caso são: Número de viagens entre as filiais, Veículos, Demanda E Custo por quilômetro rodado;
- 2º passo. Declarar os valores de cada variável;
- 3º passo. Declarar a função objetivo a maximizar;
- 4º passo. Declarar as restrições de oferta e demanda. A restrição de não-negatividade das variáveis não precisa ser declarada, pois o programa a realiza automaticamente.

A seguir tem-se a rotina criada no programa:

```

MODEL:
! Modelo...;
SETS:
  ORIGEM /@OLE('DA.xls', 'Origem')/: P;
  DESTINO /@OLE('DA.xls', 'Destino')/: Q;
  VEICULO/@OLE('DA.xls', 'Veiculo')/: CUSTO;
  OD(ORIGEM, DESTINO): DISTANCIA, DEMANDA, TEMPO;
  ROTAS(ORIGEM, DESTINO, VEICULO): X;
ENDSETS
DATA:
CUSTO = @OLE('DA.xls', 'Custo');
DISTANCIA = @OLE('DA.xls', 'Distancia');
DEMANDA = @OLE('DA.xls', 'Demanda');
TEMPO = @OLE('DA.xls', 'Tempo');

ENDDATA

! Função Objetivo;

  MAX = @SUM(ROTAS(I, J, T):
    (CUSTO(T)*DISTANCIA(I,J))* X(I, J, T));

! Restrições de demanda;

  @FOR(OD(I,J): @SUM(VEICULO(T): X(I, J, T)) <= DEMANDA(I,J));

! Restrições de tempo;

  @FOR(VEICULO(T): @SUM(OD(I,J): X(I, J, T)*TEMPO(I,J)) <= 25);

! Variáveis inteiras;

@FOR( ROTAS( I, J, T): @GIN(X(I, J, T)));

END

```

Quadro 03 - Rotina criada no programa computacional LINGO

4.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Associada a frota própria estão os custos fixos (depreciação, salários/encargos e fardamentos) e os custos variáveis (combustível, capatazia, despesas de viagem e manutenção). Assim, dividindo-se o valor destes custos de veículos próprios pela distância percorrida pelos mesmos, teremos o custo por quilômetro rodado de cada veículo. O veículo VC50073 encontra-se atualmente quebrado, sendo assim seus custos foram considerados altos, para inviabilizar sua utilização, uma vez que este veículo não está sendo utilizado pela empresa. Com base nesses dados foi criando uma

escala de custos, $1-\alpha$, para melhor adequação a modelagem, onde o α seria a porcentagem do custo por quilometro rodado.

Veículo	Custos Totais (fixos +variáveis)	Km percorridos	Custo por Km rodado	α(%)	Escala de Custo
VC050073	-	-	50,0	64,714	0,3529
VC050062	R\$135.238,01	33.838	4,00	5,173	0,9482
VC050066	R\$115.082,28	29.202	3,94	5,101	0,9490
VC050077	R\$122.429,04	43.397	2,82	3,651	0,9635
VC050087	R\$170.131,59	65.490	2,60	3,362	0,9664
VC050060	R\$110.912,09	43.678	2,54	3,287	0,9671
VC050089	R\$178.470,29	84.896	2,10	2,721	0,9728
VC050085	R\$130.782,39	79.043	1,65	2,141	0,9786
VC050088	R\$174.831,82	83.834	2,09	2,699	0,9730
VC050068	R\$136.093,40	71.685	1,90	2,457	0,9754
VC050084	R\$116.176,75	68.115	1,71	2,208	0,9779
VC050086	R\$130.674,01	68.031	1,92	2,486	0,9751

Fonte: Levantamento Próprio

Tabela 01 – Matriz Custo do quilometro rodado

O número de dias utilizados para realização das viagens é também outro fator importante e que deve ser considerado. O total de dias utilizados de um determinado veículo não deve ultrapassar vinte e cinco dias, ou seja, o número de dias úteis de um mês. A seguir tem-se o número de dias necessários para algumas viagens, já contabilizando o número total de dias (ida e volta).

Origem	Destino	Nº de Dias
João Pessoa	Recife	1
João Pessoa	Natal-RN	1
João Pessoa	Fortaleza	3
João Pessoa	Mossoró	3
João Pessoa	Maceió-AL/Salvador	4
João Pessoa	Belém	8
João Pessoa	São Luiz	6
João Pessoa	Salvador	4
João Pessoa	Crato	3

Tabela 02 – Matriz Tempo

A tabela 03 apresenta a distância entre os pontos de oferta e os pontos de demanda. O caso do ponto de origem como sendo a cidade de Fortaleza e o ponto de demanda como sendo a cidade de João Pessoa está sendo considerado pois é daquela cidade de onde são fornecidos os vasilhames utilizados no envase das bebidas.

Origem	Destino	Distância (Km)
João Pessoa	Fortaleza	657,8
João Pessoa	Belém	3000
João Pessoa	Mossoró	422,7
João Pessoa	Natal	167
João Pessoa	Recife	130,3
João Pessoa	Salvador	945
João Pessoa	São Luiz	1580
João Pessoa	Crato	594,5
João Pessoa	Maceió-AL/ Salvador	945

Tabela 03 – Matriz distância

Para se determinar o número de veículos deve-se somar por percurso o número de carretas necessárias para atender a demanda. Essa quantidade suportada por cada veículo varia de acordo com o tipo de acondicionamento dos produtos (manual ou paletizado).

Percurso	Demanda (unid.)	Nº. de Veículos
João Pessoa-Fortaleza	146250	33
Fortaleza-João Pessoa	2923001	7
João Pessoa-Belém	28866	4
João Pessoa-Maceió/Salvador	13680	3
João Pessoa-Mossoró	14100	5
João Pessoa-Natal	43688	12
João Pessoa-Recife	82424	25
João Pessoa-Crato	16660	4
João Pessoa-São Luiz	11356	2

Fonte: Levantamento Próprio

Tabela 04 – Matriz demanda

4.3 RESULTADOS

Após aplicação da modelagem no software Lingo, pode-se obter os seguintes resultados demonstrados na tabela 5:

Origem	Destino	Veículos	Nº de viagens
Fortaleza - CE	João Pessoa - PB	VC050085	1
Fortaleza - CE	João Pessoa - PB	VC050084	1
Fortaleza - CE	João Pessoa - PB	VC050089	5
João Pessoa - PB	Fortaleza - CE	VC050068	7
João Pessoa - PB	Fortaleza - CE	VC050086	7
João Pessoa - PB	Fortaleza - CE	VC050088	7
João Pessoa - PB	Fortaleza - CE	VC050089	2
João Pessoa - PB	Fortaleza - CE	VC050060	8
João Pessoa - PB	Fortaleza - CE	VC050087	2
João Pessoa - PB	Belém - MA	VC050085	2
João Pessoa - PB	Belém - MA	VC050084	2
João Pessoa - PB	Mossoró - RN	VC050077	5
João Pessoa - PB	Natal - RN	VC050060	1
João Pessoa - PB	Natal - RN	VC050087	7
João Pessoa - PB	Natal - RN	VC050077	4
João Pessoa - PB	Recife - PE	VC050077	6
João Pessoa - PB	Recife - PE	VC050066	19
João Pessoa - PB	Salvador - BA	VC050089	1
João Pessoa - PB	São Luiz - MA	VC050085	1
João Pessoa - PB	São Luiz - MA	VC050084	1
João Pessoa - PB	Crato - CE	VC050087	4
João Pessoa - PB	Maceio-AL/Salvador-BA	VC050068	1
João Pessoa - PB	Maceio-AL/Salvador-BA	VC050086	1
João Pessoa - PB	Maceio-AL/Salvador-BA	VC050088	1

Tabela 05 – Resultado da modelagem

A tabela acima representa os números de viagens dos veículos, alocados aos trechos, em variáveis inteiras, respeitando as restrições do modelo.

Através tabela 05 pode-se perceber que o número de veículos existente na empresa é mais do que suficiente para atender toda a demanda, não precisando assim, a empresa recorrer a veículos terceirizados.

Na tabela a seguir pode-se verificar as distancias percorridas por cada veículo. Conforme visto na tabela 01 os veículos VC050062 e VC050073 são os que possuem maior custo por quilometro rodado. Dessa forma é possível verificar que a utilização dos mesmos não foi considerada viável pela modelagem matemática, apresentando zerada sua utilização. Já os veículos VC050085 e VC050084, com menores custos, foram os mais utilizados, conforme pode ser verificado na tabela 06.

Veículos	Distância Total
VC050062	0,00
VC050073	0,00
VC050066	4.951,40
VC050066	4.951,40
VC050077	7.126,60
VC050087	9.725,20
VC050089	11.069,20
VC050068	11.099,20
VC050086	11.099,20
VC050088	11.099,20
VC050084	16.475,60
VC050085	16.475,60

Tabela 06 – Distância total percorrida

A tabela 07 mostra que o resultado obtido a parti do Lingo satisfaz a restrição de número de dias úteis existentes no modelo. Pode-se verificar que nenhum dos caminhões faz mais do que 25 dias úteis.

Veículos	Nº de dias utilizados
VC050062	0
VC050073	0
VC050066	19
VC050066	19
VC050068	21
VC050086	21
VC050088	21
VC050077	25
VC050084	25
VC050085	25
VC050087	25
VC050089	25

Tabela 07 – Nº de dias utilizados

Este resultado apresenta a maximização da utilização dos veículos próprios da empresa, priorizando-se o uso dos veículos com menores custos, obtendo-se assim uma redução nos custos totais de transporte.

O resultado limitou-se a otimizar a logística de distribuição e reversa estabelecendo quais os veículos devem ser utilizados e quais as filiais devem ser atendidas, não se preocupando com a análise do custo de utilização de veículos terceirizados.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo, apresentam-se as conclusões finais do presente trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento da modelagem matemática e utilizando-se dos conceitos de logística e pesquisa operacional, obteve-se uma noção da real situação da utilização dos veículos próprios que estão envolvidos no processo de distribuição de produtos e abastecimento dos insumos para a empresa.

Assim sendo, de acordo com os dados obtidos, a conclusão que se chega é que o número de veículos da frota da empresa é suficiente para atender a demanda, precisando os mesmos serem balanceados de acordo com a solução encontrada.

Assim, o objetivo geral foi alcançado, na medida em que através da modelagem matemática foi possível maximizar a utilização dos veículos priorizando aqueles mais rentáveis.

Com respeito aos objetivos específicos pode-se concluir que através da pesquisa bibliográfica pôde-se estudar elementos essenciais para logística e sua cadeia de suprimento, modelo de transporte, pesquisa operacional e custo de transporte dando embasamento teórico para criação da modelagem matemática, identificação dos custos de transporte e constatação da viabilidade de utilização dos veículos próprios através do balanceamento da frota proposto pelo modelo.

Através deste estudo, o conjunto de planejamento, operação e controle do fluxo de materiais da empresa pode ser melhorado, assegurando vantagens competitivas na cadeia de abastecimento (reduções de custos de transporte) e a conseqüente satisfação dos clientes.

O sistema de cálculo de custos e o problema da melhor utilização de veículos próprios constituem excelentes oportunidades de pesquisa de novas estratégias de soluções logísticas mais adequadas à realidade brasileira.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Além da contribuição do próprio trabalho, o TCC traz em seu contexto, as sugestões para trabalhos futuros, a partir do trabalho nela desenvolvido. Assim, pode-se indicar como sugestões e extensão do tema em estudo:

- Realizar uma análise de custos, modificando a modelagem matemática e/ou acréscimo de novas restrições, fazendo-se uma comparação entre a utilização de veículos próprios e veículos terceirizados.
- Elaborar um modelo matemático visando a aplicação do problema de roteirização de veículos. Com o objetivo de determinar um ou mais roteiros ou seqüências de paradas a serem cumpridas pelos veículos da frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento.

REFERÊNCIAS

ABRAMCZUK, A. A. *Os relacionamentos na cadeia de suprimentos sob o paradigma da desintegração vertical de processo: um estudo de caso.* Dissertação de Mestrado da Engenharia de Produção USP, 2001.

ASLOG - Associação Brasileira de Logística Disponível em <<http://www.aslog.org.br/>>, acesso em 05/09/2008.

ASSAD, A.A. *Modeling and implementation issues in vehicle routing.* In: *Vehicle Routing: Methods and Studies*, B.L.Golden, A.A.Assad (eds), North Holland, Amsterdam, p. 7-46.

BALLOU, R.H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial.* 4ª ed. Porto Alegre: Bookmann, 2001.

BARBOSA, A.; BENEDUZZI, B.; ZORZIN, G.; MENQUIQUE, J. e LOUREIRO, M.C. *Logística reversa: o reverso da logística.* Disponível em: <http://www.aslog.org.br/> Acesso em 8 set. 2008.

BEAMON, B. M. *Supply chain design and analysis: Models and methods.* International Journal of Production Economics, v.55, n.3, p.281-294,1998.

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

BOWERSOX, D. J.; CLOSS,D. J. *Logistical management: the integrated supply chain process.* New York: McGraw-Hill,1996.

CAIXETA FILHO, J.V.; *Pesquisa Operacional: Técnicas de otimização aplicada a sistemas agroindustriais.* São Paulo. Atlas. 2001.

CARMO, M.G.M.T.; SOTERO, R.C.R.; FERNANDES, S.O. *Logística Reversa III* Disponível em <<http://www.ietec.com.br/>>, acesso em 05/09/2008.

CHAVES, G.L.D. & MARTINS, R.S. *Diagnóstico da logística reversa na cadeia de suprimentos de alimentos processados no oeste paranaense.* In: VIII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais (SIMPOI), ago. 2005, São Paulo. Anais...São Paulo: FGV, 2005.

COX, A; SANDERSON, J.; WATSON, G. *Supply chains and power regimes: toward an analytic framework for managing extended networks of buyer and supplier relationships.* The journal of supply Chain Management, v. 37, n.2, p. 28-35, 2001.

CUNHA, C.B. *Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais.* Departamento de Engenharia de Transportes Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

DAGANZO, C.F. (1995) *Properties of Link Travel Time Functions Under Dynamic Loads.* *Transportation Research*, 29B, pág(s) 95-98.

DICIONÁRIO AURELIO DA LÍNGUA PORTUGUESA - 3ª edição Revista e Atualizada. Editora Positivo, 2005

FARAH Jr, M. *Os desafios da logística e os centros de distribuição física.* Rev. FAE BUSINESS , n.2, jun. 2002.

FIGUEIREDO, K., ARKADER, R. *Da Distribuição Física ao Supply Chain Management: o pensamento, ensino e as necessidades de captação em logística.*, 1998. Extraído de <<http://www.cel.coppead.ufrj.br>> em outubro de 2002

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introduction to Operations Research*, 8. ed, McGraw Hill, International Edition, 2005

LACHTERMACHER, G.; *Pesquisa operacional na tomada de decisões. revisão Luiz Flávio Autran Monteiro Gomes.* Rio de Janeiro. Campus, 2002.

LANZER, E.A.; *Programação Linear: conceitos e aplicações.* Rio de Janeiro. IPEA/INPES. 1982.

LEITE, P.R. *Logística Reversa: Meio ambiente e competitividade.* São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LISBOA, E.F.A. *Apostila do Curso pesquisa Operacional.* Rio de Janeiro, 2002

MARTINS, P.G. & CAMPOS, P.R. *Administração De Materiais E Recursos Patrimoniais.* São Paulo:Saraiva, 2005.

MELO, A.C.S.; FILHO, V.J.M. *Sistemas De Roteirização E Programação De Veículos.* Pesqui. Oper., July/Dec. 2001, vol.21, no.2, p.223-232. ISSN 0101-7438.

MUELLER, Carla Fernanda. *Logística Reversa, Meio-ambiente e Produtividade.* Grupo de Estudos Logísticos. Universidade de Federal de Santa Catarina, 2005.

NOBLE, J.S. *An integrated dynamic performance measurement system for improving manufacturing competitiveness.* International Journal of Production Economics. n. 48, p. 207-225, 1997

NOGUEIRA, F. *Problema de Transporte (Redes).* <Disponível em www.engprod.ufjf.br> Acesso em 10 de março de 2007.

PUCCINI, A.L.; *Introdução à Programação Linear.* Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos. 1976.

OLIVEIRA, L.H. *Introdução à Logística.* <Disponível em <http://www.administradores.com.br>> Acesso em 01 de março de 2007.

ORLANDELI, R.; *Um modelo markoviano-bayesiano de inteligência artificial para avaliação dinâmica do aprendizado: aplicação à logística.* Tese de Doutorado.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 2005

ROLSTADÅS, A. *Enterprise performance measurement*. International Journal of Operations & Production Management. v. 18, n. 9/10, p. 989-999, 1998.

SHAPIRO, JEREMY F. *Modeling the Supply Chain*. Duxbury, 2001.

SILVA, M. S. *Análise e otimização de um sistema de distribuição física: um estudo de caso no Distrito Federal utilizando softwares de pesquisa operacional e de sistemas de informação geográfica*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2000.

TRIGUEIRO, F.G.R. *Logística reversa: a gestão do ciclo de vida do produto*. Disponível em: <http://www.administradores.com.br>>, acesso em 05/09/08.

WOOD JR., Thomaz; ZUFFO, Paulo Knorich. *Supply Chain Management*, *Revista de Administração de Empresas*, v.38,n.3, p.55 – 63, jul-set.1998.

ANEXO

ANEXO A – Solução do Lingo

Global optimal solution found.

Objective value: 53458.70
 Extended solver steps: 0
 Total solver iterations: 122

Variable	Value	Reduced Cost
X(FOR, JPA, VC050085)	1.000000	-643.7133
X(FOR, JPA, VC050084)	1.000000	-643.2789
X(FOR, JPA, VC050089)	5.000000	-639.9021
X(JPA, FOR, VC050068)	7.000000	-641.6367
X(JPA, FOR, VC050086)	7.000000	-641.4467
X(JPA, FOR, VC050088)	7.000000	-640.0449
X(JPA, FOR, VC050089)	2.000000	-639.9021
X(JPA, FOR, VC050060)	8.000000	-636.1808
X(JPA, FOR, VC050087)	2.000000	-635.6827
X(JPA, BEL, VC050085)	2.000000	-2935.756
X(JPA, BEL, VC050084)	2.000000	-2933.774
X(JPA, MOS, VC050077)	5.000000	-407.2657
X(JPA, NAT, VC050060)	1.000000	-161.5114
X(JPA, NAT, VC050087)	7.000000	-161.3849
X(JPA, NAT, VC050077)	4.000000	-160.9022
X(JPA, REC, VC050077)	6.000000	-125.5423
X(JPA, REC, VC050066)	19.00000	-123.6539
X(JPA, SAL, VC050089)	1.000000	-904.6959
X(JPA, SLU, VC050085)	1.000000	-1546.165
X(JPA, SLU, VC050084)	1.000000	-1545.121
X(JPA, CRA, VC050087)	4.000000	-574.5110
X(JPA, MAC_SAL, VC050068)	1.000000	-921.7796
X(JPA, MAC_SAL, VC050086)	1.000000	-921.5068
X(JPA, MAC_SAL, VC050088)	1.000000	-919.4929