

FD-223  
BIBLIOTECA DE DOCUMENTOS  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

São Paulo  
1999.

Dissertação apresentada no  
Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

**ESTUDO PARA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS NO TRANSPORTE  
RODOVIÁRIO DE CARGAS GRANDELIZADAS NA INDÚSTRIA QUÍMICA**

DOUGLAS TACLA

PPS 201 em 1999  
coleção

DOUGLAS TACLA

**ESTUDO PARA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS NO TRANSPORTE  
RODOVIÁRIO DE CARGAS GRANDELIZADAS NA INDÚSTRIA QUÍMICA**

Dissertação apresentada no

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração : Engenharia Naval

Orientador :

Prof. Dr. Rui Carlos Botter

São Paulo

1999.

Dedico ao meu Pai essa pequena vitória, a quem em sua curta estada entre nós realizou grandes obras como professor, profissional e como Homem.  
lágrimas.

meus olhos, além das

ausência física, não houve um só dia que sua lembrança e exemplo não me desse força para buscar o objetivo, um só instante em que a luz de sua grande alma não iluminasse  
Ao meu Pai, M. Sc. **OSMAR TACIA**, no ano em que conto dez de sua

## AGRADECIMENTOS

Ao Mestre, Prof. Dr. Rui Carlos Botter.

Se cabe ao orientador indicar o caminho, o que dizer deste que muitas vezes criou o caminho carregando – me nos piores trechos; esteve ao meu lado em todos os momentos, até naqueles devidos a si e sua família, que não mede esforços para transmitir seus conhecimentos, reconhecidos no Brasil e exterior. O que dizer e como retribuir ? Somente posso dedicar minha eterna gratidão.

Ao Prof. Dr. Marco Brinati, que de tanto conhecer ignora os limites da obrigação de professor; e mais que ensinar, incentivava sempre com a luz de sua compreensão e sabedoria.

Ao Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Jr., meu amigo e valioso Mestre, quem primeiro me incentivou, e a quem devo o primeiro passo.

Aos companheiros e amigos verdadeiros. Absolutamente não teria conseguido sem eles:

M. Sc. André B. Mendes; M. Sc. Celso M. Hino; Eng. Ricardo F. de Souza; Eng. Sérgio L. Formazza.

À GAFOR Ltda.

À minha esposa Patrícia, e a minha família pelo incentivo e paciência.

A Deus.



## Resumo

O objetivo deste trabalho é propiciar ao Operador Logístico, atuante no segmento de transportes, um planejamento ótimo para gestão e dimensionamento de uma frota de caminhões tanques especializados em transporte a granel.

A pesquisa realizada para essa Dissertação de Mestrado propõe métodos para promover o aproveitamento de rotas compostas viáveis sob o ponto de vista operacional e de compatibilidade entre os produtos transportados, buscando minimizar os custos de transporte e otimizando a utilização de cada caminhão transportando carga, diminuindo assim seu deslocamento improdutivo.

A proposta consiste na elaboração de um modelo de programação linear, baseado em alterações do modelo clássico de transportes, que aborda todas as características técnicas, operacionais e econômicas do transporte de cargas perigosas, e sua implementação num caso real com uma significativa base de dados. Visando dar maior consistência ao método, introduz-se uma heurística que contempla as janelas de tempo impostas pelas restrições do mercado.

Os resultados obtidos demonstram a eficácia da proposta, a medida que com a implementação das rotas compostas traz, para a base de dados considerada, efetiva redução de distância total percorrida e da frota utilizada, e consequente aumento da produtividade.

A materialização dos ganhos apontados com composição de rotas depende da atuação do Operador Logístico, cuja atuação é discutida nesse trabalho e que deve interagir nos processos técnicos, econômicos e na integração do transporte de todos os produtos envolvidos.

## Abstract

The present dissertation intend to provide for the Logistics Operator, which also operates in a cargo transport market, an ideal planning to manage and evaluate a specialised fleet of tank trucks.

The research (that) was developed for this dissertation presents methods to achieve the utilization of possible composed routes from an operational point of view and compatibility between transported products, seeking for the minimum transportation cost, in order to get the maximum productivity of each truck transporting cargo, in addition reducing the truck travel without cargo.

The aim is to develop a linear program model, which considers all technical, operational, and economics characteristics from dangerous cargo transport, furthermore the application of this model in a real case study, whose has got an expressive data base.

To effective the advantages is necessary more then compose routes, but also interaction of "Logistics Operator" with technical and economic process, and seek for integrating all products are involved.

## Sumário

Resumo

Abstract

Lista de tabelas

Lista de figuras

Capítulo 1	Introdução e Objetivos.....	1
1.1	– O Transporte no Brasil.....	3
1.2	– Transporte Rodoviário no Brasil.....	5
1.3	– Motivação para a pesquisa.....	7
1.3.1	– Transporte de Carga Geral.....	7
1.3.2	– Transporte de Carga Líquida à Granel na Indústria Química.....	11
1.3.3	– Conceituação do Operador Logístico.....	14
1.4	– Os Objetivos e as Ferramentas para a Pesquisa.....	15
1.5	– Delimitamento do Trabalho.....	16
Capítulo 2	Revisão Bibliográfica.....	18
2.1	– Problema do Transporte.....	19
2.2	– Textos Publicados na Literatura Especializada.....	22
2.3	– Cargas Perigosas.....	23
2.3.1	– <i>IMDG - International Maritime Dangerous Goods Code</i> .....	23
2.3.2	Leis Brasileiras.....	23
2.4	Comentários sobre a Revisão Bibliográfica.....	23
Capítulo 3	Modelo de Programação Linear para a Composição de Rotas.....	23

3.1	- Notação Utilizada .....	23
3.2	- Variáveis de Decisão .....	23
3.3	- Função objetivo .....	23
3.4	- Restrições .....	23
3.4.1	- Comentários sobre as Restrições e a Desigualdade (maior igual): .....	23
3.5	- Detalhamento do cálculo dos custos de transporte .....	23
3.6	- Considerações sobre a modelagem matemática .....	23
3.6.1	- Exemplo Ilustrativo número 1: .....	23
3.6.2	- Exemplo Ilustrativo 2 .....	23
Capítulo 4 - Aplicação da Modelagem Matemática de programação Linear .....		
4.1	- Caracterização do Caso escolhido para aplicação da Pesquisa. ....	23
4.2	- Base de dados para a Implementação do modelo Matemático de	
Programação Linear. ....		
4.3	- Geração da rotas compostas possíveis .....	23
4.4	- Metodologia para implementação do modelo matemático .....	23
4.5	- Resultados computacionais .....	23
4.6	- Dimensionamento da frota .....	23
Capítulo 5 - Heurística Proposta .....		
5.1	- O objetivo da Heurística frente ao Modelo Matemático .....	23
5.2	- As Ferramentas e mecanismos para a elaboração da Heurística. ....	23
5.3	- Base de dados utilizada para a Heurística .....	23
5.4	- Resultados da Heurística .....	23
Capítulo 6 - Conclusões e Recomendações .....		
6.1	Do desenvolvimento do trabalho de pesquisa .....	23

6.2	Dos resultados obtidos.....	23
6.3	Implementação da proposta da pesquisa na realidade do transporte rodoviários de cargas líquidas a granel.....	23
6.4	Recomendações .....	23

## Lista de Tabelas

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO GERAL DOS CUSTOS RODOVIÁRIOS.....	8
TABELA 2 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E INTRÍNSECAS DOS PRODUTOS.....	23
TABELA 3 – CUSTOS VARIÁVEIS NO TRANSPORTE DE CARGAS LÍQUIDAS A GRANEL.....	23
TABELA 4 – CUSTOS FIXOS NO TRANSPORTE DE CARGAS LÍQUIDAS A GRANEL.....	23
TABELA 5 – OUTROS FATORES DE CUSTOS NO TRANSPORTE DE CARGA LÍQUIDA A GRANEL.....	23
TABELA 6 – PRODUTOS UTILIZADOS NA MODELAGEM MATEMÁTICA.....	23
TABELA 7 – COMPARAÇÃO DE VARIÁVEIS DO MODELO ORIGINAL E COMPACTO.....	23
TABELA 8 – MENSAGENS REFERENTES À CONDIÇÃO DO MODELO ( <i>MODEL STATUS</i> ) E À CONDIÇÃO DO MÉTODO DE RESOLUÇÃO ( <i>SOLVER STATUS</i> ) AO FINAL DO PROCESSAMENTO.....	23
TABELA 9 – RESUMO DOS RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO - VIAGENS.....	23
TABELA 10 – RESUMO DOS RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO - CUSTOS.....	23
TABELA 11 - CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DA UNIDADE DE TRANSPORTE.....	23
TABELA 12 – CÁLCULO DO FROTA.....	23
TABELA 13 – REDUÇÕES COM A APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO.....	23
TABELA 14 – BASE DE DADOS DA HEURÍSTICA PARA O PRODUTO ÁCIDO SULFÚRICO.....	23
TABELA 15 – RESUMO DO RESULTADOS DA HEURÍSTICA E COMPARAÇÃO COM OS RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO.....	23

## Lista de Figuras

FIGURA 1 - ATENDIMENTO DE DOIS PEDIDOS COM DOIS VEÍCULOS.....	2
FIGURA 2 - ATENDIMENTO DE DOIS PEDIDOS COM UM VEÍCULO FAZENDO TRÊS TRAJETOS 3	
FIGURA 3 - ESQUEMA DE UM CONJUNTO DE FORNECEDORES, FÁBRICAS, CLIENTES E	
VEÍCULOS.....	23
FIGURA 4 - ILUSTRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS TIPO: CAMINHÃO "TRUCK".....	23
FIGURA 5 - ILUSTRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS TIPO: "CARRETA" (CAVALO MECÂNICO E SEMI	
REBOQUE TANQUE).....	23
FIGURA 6 - ESQUEMA DE VIAGEM SIMPLES PARA VARIÁVEL NEOFI.....	23
FIGURA 7 - ESQUEMA DE VIAGEM SIMPLES PARA VARIÁVEL N <sup>º</sup> EFCI.....	23
FIGURA 8 - ESQUEMA DE VIAGEM SIMPLES PARA VARIÁVEL M <sup>º</sup> EFOFCIJ.....	23
FIGURA 9 - ESQUEMA DE VIAGEM SIMPLES PARA VARIÁVEL M <sup>º</sup> EFOFOFII.....	23
FIGURA 10 - ESQUEMA DE VIAGEM SIMPLES PARA VARIÁVEL M <sup>º</sup> EFCFCIJ.....	23
FIGURA 11 - EXEMPLO ILUSTRATIVO 1.....	23
FIGURA 12 - EXEMPLO ILUSTRATIVO 2.....	23
FIGURA 13 - GERENCIAMENTO DE TRANSPORTES DA EMPRESA.....	23
FIGURA 14 - ILUSTRAÇÃO DE ROTA TIPO OFC.....	23
FIGURA 15 - MECANISMO DE ATENDIMENTO DOS PEDIDOS E PROGRAMAÇÃO DA FROTA	
PARA VIAGENS SIMPLES E COMPOSTAS.....	23

## Capítulo 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O objetivo maior deste trabalho é propiciar ao Operador Logístico um **planejamento ótimo para gestão e dimensionamento de uma frota de caminhões** tanques especializados em transporte a granel, com demanda de carga conhecida.

A pesquisa visa propor métodos para promover o aproveitamento de rotas compostas viáveis sob o ponto de vista operacional e de compatibilidade entre os produtos transportados em cada trecho, isto é, buscar o transporte de carga no retorno até o ponto inicial.

Busca-se com este trabalho minimizar os custos de transporte otimizando a utilização de cada caminhão, aumentando seu deslocamento transportando carga, diminuindo assim seu deslocamento improdutivo (sem carga).

A Figura 1 mostra um exemplo de um transporte de carga líquida a granel tradicional, onde utiliza-se dois caminhões para atendimento de dois pedidos de



transporte; e na Figura 2 é esquematizado o mesmo trajeto em um único caminho realizando os dois pedidos – o que ilustra o objetivo da pesquisa.

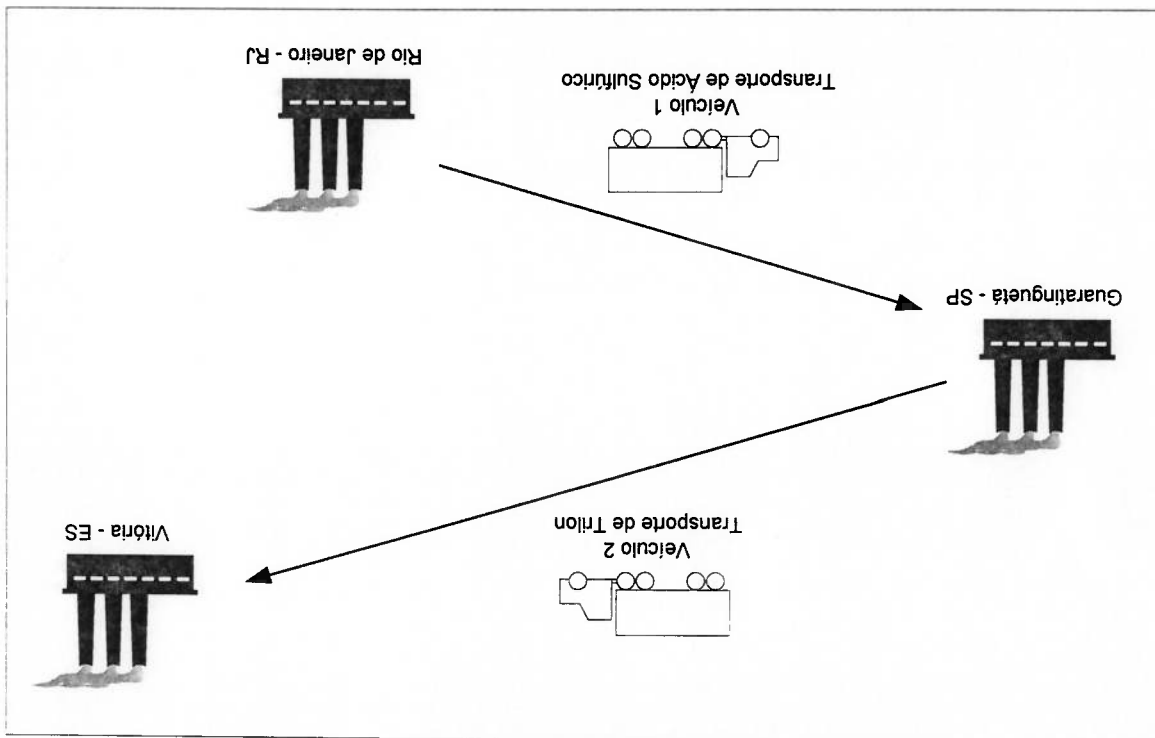


Figura 1 – Atendimento de dois pedidos com dois veículos

Neste capítulo serão tratados os aspectos gerais do transporte no Brasil, aproximando o foco para o transporte rodoviário, até a abordagem detalhada dos aspectos técnicos, de mercado e financeiro do transporte de carga líquida a granel – alvo desta pesquisa.

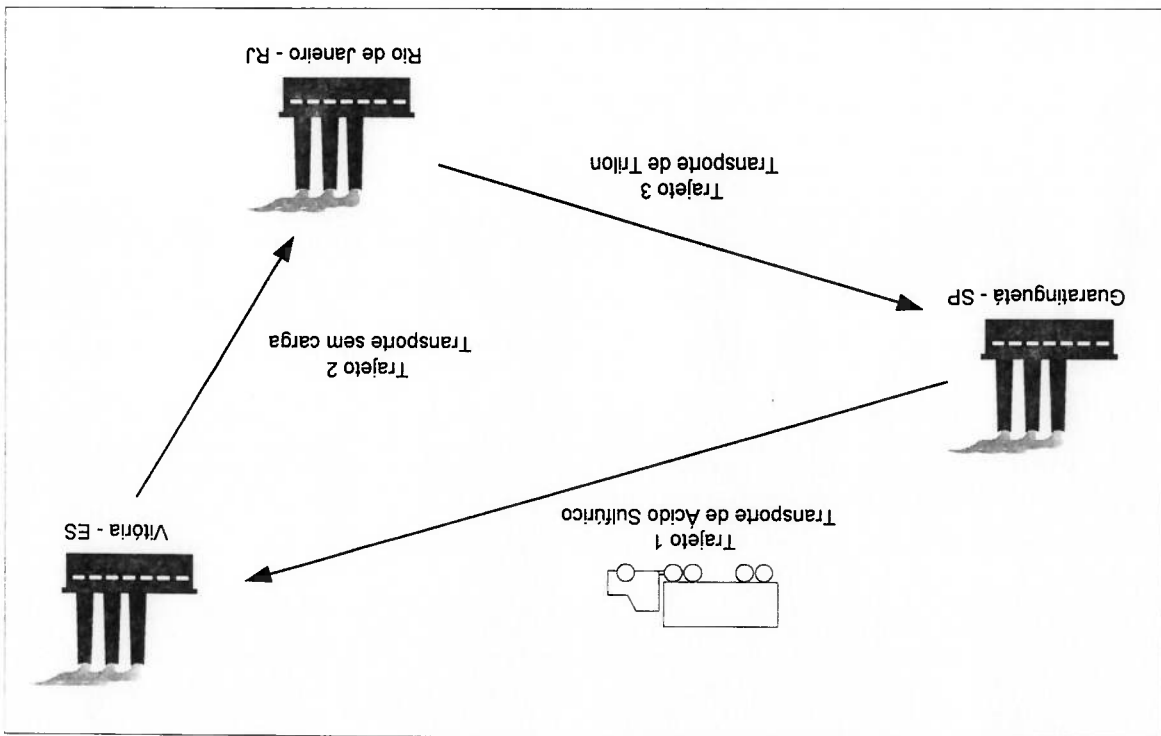


Figura 2 – Atendimento de dois pedidos com um veículo fazendo três

trajetos

### 1.1 – O Transporte no Brasil

Em meados de 1800 a “indústria” ferroviária iniciou-se no país com empresas europeias e foi aumentando cada vez mais sua importância social e a participação no transporte de cargas; pode-se dizer que além de gerar empregos e transporte era instrumento de integração nacional, mais que isto a ferrovia desbravava novas fronteiras internas, e as estações criadas eram a muitas vezes a razão do nascimento e existência das cidades. Assim e mesmo com todos os percalços no início dos anos 90 o Brasil contava com mais de 30 mil quilômetros de ferrovia.

Apesar de ter tecnologia alinhada com as mais modernas existentes na época, a falta de planejamento de longo prazo marcou a ferrovia por muitos anos. Voltada predominantemente para o transporte de passageiros e da safra agrícola; aparentemente nunca previu que um dia existiriam cargas a serem transportadas de um polo a outro do país, e mesmo que o Brasil cresceria além da faixa litorânea, pois a ferrovia estacionou na época em que o transporte era de safras modestas e no interior sempre próximo ao litoral; deixando de contribuir significativamente quando a agricultura avançou em distância rumo ao interior, e em modernidade rumo ao futuro.

A industrialização no mundo no início deste século chegou ao Brasil com o atraso normal e inerente aos países subdesenvolvidos, trazendo também a necessidade de transportes de grandes volumes, maior variedade, e maiores distâncias.

A ferrovia adoeceu pelo esquecimento, já não atendia a contento. Há muito não recebia investimentos para o crescer e modernizar-se, e sequer percebia manutenção adequada.

Com a volúpia do então Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, que absolutamente possuía notória preferência pelo modal rodoviário, a ferrovia agonizava. A recuperação da Ferrovia só iniciou de forma efetiva nos dois últimos anos com o advento da Privatização.

A Privatização materializada na forma de concessões e dividida por regiões, passou à iniciativa privada toda a malha ferroviária e demais recursos. Os resultados começam a surgir e existe a expectativa que a médio prazo venha a ocorrer a retomada das cargas devidas a este modal (Rodrigues, et al, 1998)

Uma importante dificuldade que as concessionárias que assumiram as operações ferroviárias, terão que enfrentar com altos investimentos, é a diferença de bitola

existente entre as redes, atualmente, além de em sua maioria não serem diretas o bastante a ligar dois pontos, o sistema pode obrigar a vários transbordos.

## 1.2 – Transporte Rodoviário no Brasil.

O Governo de 1956 à 1961, além de marcar-se por conturbações políticas trouxe obras faraônicas como as hidrelétricas Furnas e Três Marias, e a fantástica capital Brasília. Com a gestão de Kubitschek iniciava-se a integração com a região amazônica através de rodovias (Belém – Brasília e Brasília – Acre).

Kubitschek implementou também uma política de abertura de fronteiras comerciais e favoreceu a entrada de multinacionais no país, notadamente indústrias automobilísticas; carros e caminhões multiplicavam-se, nasciam mais estradas.

Consolidava-se então a perpetuação do Brasil como um país eminentemente rodoviário; hoje a malha rodoviária conta com mais de 1,8 milhão de quilômetros de estradas (IBGE, 1996).

Para um país com dimensões continentais ter praticamente a totalidade de seu transporte escoado por rodovias é um grande problema. Enquanto, por exemplo, na Europa não percorre-se mais de 400 km por rodovia em condições normais de uma viagem, é comum no Brasil cargas percorrem mais de 6000 km de caminho em um ciclo completo.

O aumento da carga movimentada obriga a reações imediatas de investimentos; pois o aumento da circulação de caminhões satura as estradas rapidamente, requerendo novas estradas e mais manutenção nas existentes. A capacidade de absorção de maiores

volumes transportados pela hidrovia e ferrovia é melhor, pois uma vez bem estruturadas, não requerem ampliações tão bruscas.

Diversas indústrias multinacionais fabricantes de caminhões têm no Brasil seu maior ponto de produção e vendas; e por mais que se esforcem nem sempre conseguem acompanhar o ritmo irregular de crescimento da economia brasileira, ficando a dever por vezes a produção necessária.

Tais fatores são apenas parte do complexo problema da dependência do transporte rodoviário, gerando consequências para toda a economia, dentre outras:

- custos diretos de transportes elevados;
- atraso do *Lead Time* (tempo total de entrega);
- avarias nas cargas pela deficiência das rodovias e sucateamento da frota de veículos.

Tais fatos acarretam uma elevação do custo total de nosso produto interno bruto e, por isso, buscam-se alternativas, com mais intensidade, a partir do processo de maior abertura no Brasil e globalização da economia mundial, para ser mais competitivo; assim a evolução tem caminhado para:

- otimização de métodos logísticos, através de ferramentas científicas;
- aumento do volume de cargas unitárias;
- alternativas para transferências de grandes volumes através de ferrovia, hidrovia, e marítimos de cabotagem (modais que tentam surgir ou ressurgir através da iniciativa privada).

### 1.3 – Motivação para a pesquisa.

#### 1.3.1 – Transporte de Carga Geral

O transporte rodoviário da carga geral embalada é realizado em equipamentos denominados “Carga seca”; ou “graneleira”, que são equipamentos com custo relativo de aquisição baixo e possuem como característica principal a grande versatilidade quanto à sua aplicação.

Essa versatilidade é que torna este tipo de transporte responsável pela maioria da movimentação de carga no país, podendo transportar entre outros tipos de produtos:

- Sacaria;
- Grãos;
- Tambores;
- Contêineres;
- “Pallets”;
- Bags;
- Caixas (carga tracionada).

Mesmo que alguns tipos de carga, ou embalagem obriquem adaptações no equipamento, estas serão de baixo custo e tecnicamente simples.

O Mercado que rege o transporte no Brasil de produtos acondicionados em uma das formas mencionadas acima está consolidado e tem uma política de contratação e remuneração bastante clara.

A seguir mostra-se na Tabela 1, de forma simples, como o preço é formado para o mercado de transporte rodoviário em geral e na sequência comentários sobre como o mercado de carga geral aplica as tarifas.

Maior detalhamento sobre formação de preços e planilhas de custos será encontrado ao longo do trabalho.

**Tabela 1 – Composição Geral dos Custos Rodoviários**

Tipificação do Custo		Composição	
Variáveis		01 – manutenção	
		02 – combustível	
		03 – lubrificantes	
		04 – lavagem	
		05 – pneus	
		06 – porção variável da remuneração e despesas de viagem motorista	
		07 - seguro da carga	
		08 – pedágios	
		Fixos	
02 – impostos/licenças/documentos obrigatórios			
03 - seguro do equipamento de transporte			
04 – porção fixa da remuneração do motorista			
05 – remuneração do pessoal administrativo			
06 – remuneração do pessoal operacional			
07 - despesas administrativas/operacionais			
Administração Lucro			
Rerido pelo mercado, podendo variar normalmente de 6 a 20%.			

Observação sobre a tabela: a composição dos custos apresentada na tabela de Cargas) em meados dos anos 80, passou a ser desenvolvida pelas Empresas de maior porte do setor e, com algumas variações, é adotada pela maioria delas.

Cabe observar que no mercado de carga geral a grande competição faz com que as empresas de transporte normalmente abduquem de grande parte dos custos fixos, principalmente àqueles relacionados ao capital; este fato deve-se pela grande predominância de “carreiros autônomos” com baixos custos fixos e/ou totalmente

despreparados para elaborar planilhas de custos; limitando-se a praticar fretes aviltados pela concorrência predatória. Assim “transportadores” desaparecem todos os dias e os sobreviventes assistem a delapidação de seu patrimônio.

Deseja-se aqui enfatizar que os fretes praticados para o transporte fracionados (carga seca), acima de 300 km (distância apenas referencial) contemplam apenas a “ida”, ou seja o transporte da carga propriamente dito, e não “a ida e a volta”, portanto o retorno do veículo não está coberto por este frete.

Para o retorno do caminhão, será preciso conseguir nova carga, que terá a outra parcela de custos e lucros cobertos.

Destá forma a somatória das receitas obtidas em cada trecho cobrirá (ao menos em tese) o custo total da viagem; assim rateado entre os contratantes das cargas transportadas.

O ciclo completo poderá ter  $n$  arcos com número de cargas transportadas menor ou igual a  $n$ , e participações diferentes na composição final do faturamento total da viagem.

Distâncias menores que 300 km, que são consideradas curtas, não é favorável o uso da carga de retorno. Isso ocorre porque a variável tempo é a mais importante na produtividade do veículo.

O tempo do ciclo é diretamente afetado na carga de retorno em dois momentos, a saber:

- os tempos de carga e descarga são muito significativos no total do ciclo, pois se considerarmos em média como 4 horas o tempo total das operações de carregamento e descarregamento; esse tempo poderá chegar a 25% do tempo total



do ciclo, enquanto para viagens longas (1000 Km, por exemplo), os tempos de carga e descarga não representam mais de 10% do tempo total do ciclo.

- A busca de carga de retorno demanda tempo, não só no deslocamento em vazio, mas também na espera da oportunidade da nova carga.

Tratando-se de viagens longas as possibilidades de compatibilização de cargas movimentação de cargas fracionadas também é benéfica deste evento, pois é viável a compatibilização de tipos de produtos diferentes.

Por exemplo é possível levar de uma região “a” até uma região “b” tambôres de um produto químico, e trazer da região b para a (ou outra qualquer no itinerário de retorno) sacaria com resinas plásticas; ou o transporte de “pallets” com embalagens combinando no retorno com transporte de *bags* de farinha.

Assim é possível operacionalizar uma infinidade de combinações de transporte até mesmo com carretas granelêiras que possuem alguma peculiaridade, como grades altas e bocais apropriados para o escoamento da carga, pode sem nenhuma adaptação transportar produtos das outras classes citadas.

Pode-se concluir que o aproveitamento de caminhões que retornam de longas distâncias, é prática antiga e natural, ou seja um caminho convencional (tipo carga seca), que transporta um produto *a* de um ponto *i* a um ponto *j*, retorna ao ponto *i* com um produto *b*.

O equipamento em questão pode transportar um gama grande de produtos normalmente embalados e quando o roteiro inclui grandes centros esta prática pode ser facilmente usada. Consegue-se a carga previamente com ciclo contratado na origem, ou buscando-se cargas “spot” ao entregar-se a primeira.

Não há praticamente riscos empreender longa viagem, como 2 ou 3 mil quilômetros sem ter contratado a carga de volta, pois a grande quantidade de “agentes” faz este trabalho por pequena comissão, restando ao transportador apenas esperar o tempo necessário para os trâmites normais.

É preciso porém considerar que o Brasil, gigante em extensão, não possui equilíbrio produção/consumo entre suas regiões assim a demanda de transporte entre elas também não é equilibrada; o mercado então cuida de regular as tarifas; que por este motivo não necessariamente são iguais para os trechos de ida e volta da viagem; desequilíbrio este que por vezes obriga a esperas consideráveis ou trechos percorridos sem carga.

### 1.3.2 – Transporte de Carga Líquida à Granel na Indústria Química.

Nas Indústrias Químicas que movimentam cargas à granel o cenário de transporte é totalmente diferente, pois a embalagem do produto é o próprio equipamento de transporte, o que o torna específico para o produto ou na melhor das hipóteses específico à classe que o produto pertence.

Esta especificidade tem como implicação direta dois aspectos, a saber:

- alto custo relativo de investimento inicial e de operação;
- dificuldade em compatibilizar rotas.

Esses aspectos serão detalhados na sequência do trabalho.

A compatibilização de rotas no transporte de produtos líquidos à granel, otimizando a utilização das unidades transportadoras, visando o dimensionamento da frota, é o objetivo maior deste trabalho e sua principal motivação é a diminuição de

custos no sistema, tentando aproximar as tarifas praticadas no mercado de carga seca, mostrado na seção 1.3.1.

Algumas razões fazem esta pesquisa de mestrado particularmente importante e aplicável na prática, compondo a motivação para a escolha do tema. São elas:

### *1.3.2.1 – Aumento da produção e transferência de especialidades.*

Antes do maior acirramento da economia, a maioria dos produtos químicos transferidos eram compostos finais, via de regra prontos e embalados para o consumo, onde parte da matéria prima e produtos intermediários eram importados ou produzidos pelo próprio produtor final. A mudança trouxe a movimentação de especialidades que não podem ser transportados por equipamentos tão comuns em operações comuns.

Equipamentos e operações pouco comuns implicam em custos maiores do que a carga geral, portanto enquadram-se na proposta desta pesquisa.

### *1.3.2.2 – Criação de Pólos Produtivos.*

Com a intenção de incentivar regiões específicas do país, o governo fomentou a criação de pólos produtivos em regiões até então pouco tradicionais na produção industrial. Tal fato vem naturalmente a aumentar a movimentação de produtos intermediários, e via de regra especialidades.

Com a grande distância física entre os principais pólos o transporte segue a tendência apresentada acima, onde a movimentação de cargas embaladas tem a composição de frete rateada entre os contratantes de cada um dos trechos.

Na carga líquida à granel via de regra os veículos de transporte percorrem essas longas distâncias carregados em apenas um sentido, havendo dificuldades para se encontrar e compatibilizar cargas de retorno, sendo esta a grande motivação para a pesquisa.

### 1.3.2.3 – *Movimentação de carga a Granel*

Outra forma de otimizar processos produtivos e logísticos, é transformar a movimentação produtos para forma granel, isto é produtos normalmente transportados em sacos; “pallets”; ou *bags*, agora tendem a perder sua embalagem, transformando-se muitas vezes em especialidades e requerendo equipamentos especiais de transporte. Um exemplo disto é o sem número de resinas plásticas até então transportadas em sacos ou *bags*, agora transportadas em carretas tipo silo, que são altamente específicas para esse tipo de transporte.

É preciso porém que a especialização do transporte, com consequente majoração de custos e tarifas não inviabilizem o processo, neutralizando vantagens

como:

- economia de embalagens;
- economia de mão de obra de manuseio do material nas áreas de armazenamento e produção;
- economia de espaço físico de armazenagem;
- ganho de qualidade e eficiência produtiva.

Este desafio, que é uma real necessidade do mercado, é também importante motivo para realização deste trabalho.

### 1.3.2.4 – *Grandes Conjuntos de “Plantas” industriais em uma única*

#### *localização Geográfica.*

Visando maior otimização de suas unidades produtoras e diminuição de seus custos fixos, muitas indústrias optaram por concentrar várias plantas em um único local físico.

Esses plantas industriais utilizam um grande número de caminhões, que contratados de forma isolada e individual por planta, normalmente gera ociosidade de frota, ou no mínimo baixo aproveitamento. A desagregação das cargas e rotas com as frotas disponíveis para realizá-las torna necessário a figura do operador logístico, que é conceituado a seguir:

### 1.3.3 – Conceituação do Operador Logístico

O Operador Logístico é uma pessoa jurídica capacitada para administrar o subsistema de recepção de matérias primas, o subsistema de despacho de produtos acabados, os níveis de estoque, além de integrar de forma constante e integrada com os setores de compras e vendas da empresa a fim de conseguir maiores ganhos no transporte integrado dos produtos.

O operador logístico deverá manter um conjunto de dados sobre recepção, transporte, níveis de estoques e despacho dos diferentes insumos e produtos acabados, que gerem montagem de eficientes índices de desempenho dos setores envolvidos e também possibilitem obter continuamente soluções racionais e mais uniforme para a aquisição, estocagem, transporte e despacho dos produtos.

A função do Operador Logístico dentro de uma Indústria Química, será a busca incessante pela otimização e racionalização dos recursos de transporte/armazenagem. Essa tarefa está diretamente ligada a quantidade de produtos acabados/matérias primas que serão por ele administrados.

É de suma importância para o sucesso do Operador Logístico de um indústria química, que movimentam cargas líquidas a granel a plena utilização dos veículos de transporte, que é conseguida não só com uma administração eficiente, mas também

com a busca da compatibilização de cargas e rotas, como apresenta a proposta deste trabalho.

#### 1.4 – Os Objetivos e as Ferramentas para a Pesquisa.

O objetivo deste trabalho, como foi colocado, é otimizar o aproveitamento de uma frota de caminhões localizadas numa única base com características heterogêneas no transporte de produtos diferentes a partir de  $n$  origens à  $m$  destinos. Para tanto, pretende-se desenvolver e aplicar modelos matemáticos e Heurísticas para melhorar o desempenho e diminuir os custos de transporte rodoviários de graneis líquidos na indústria química, enfocando principalmente o aproveitamento de rotas compostas viáveis sob o ponto de vista operacional e de compatibilidade entre os produtos transportados em cada trecho, dimensionando-se a frota necessária.

As ferramentas predominantes serão as conhecidas em pesquisa operacional. Com auxílio de métodos computacionais, sempre embasados com experiências práticas e atuais.

Numa primeira etapa propõe-se desenvolver um modelo matemático linear para minimizar os custos de transporte entre as possíveis origens, fábricas químicas e destinos, determinando-se o número de viagens em cada rota, sujeito às restrições operacionais desse tipo de transporte e às restrições de compatibilidade do produto.

Face a irregularidade da demanda de matérias primas recebidas pelas fábricas e das vendas de produtos químicos industrializados pelas mesmas, será desenvolvido em uma segunda etapa uma Heurística que permita alocar os veículos às viagens

solicitadas, utilizando-se sempre que possível as rotas compostas, visando comparar os resultados dessa Heurística com os resultados do modelo de programação linear e obedecendo-se às mesmas restrições desse primeiro modelo.

## 1.5 – Delimitação do Trabalho

Esse trabalho de Dissertação de Mestrado para melhor entendimento de sua estrutura, pode ser dividida em:

- Capítulo 1: Objetivos/Introdução/Motivação para a Pesquisa;
- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica;
- Capítulo 3: Algoritmo – Modelo Matemático; Elaboração de Heurística – implementação computacional;
- Capítulo 4: Aplicação do modelo matemático exposto no Capítulo 3;
- Capítulo 5: Heurística proposta;
- Capítulo 6: Análise de resultados, Conclusões e recomendações.

No Capítulo 1 apresenta-se os objetivos do trabalho, e são colocadas aspectos que historicam o transporte no Brasil, iniciando esse histórico de forma genérica e concluindo com as principais razões que fazem do Brasil um país eminentemente rodoviário.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica do tema, onde a ênfase é dada a trabalhos de planejamento e programação de frota; problemas de coleta e entrega, e roteirização, os textos têm as soluções encaminhadas através das mesmas ferramentas

utilizadas nesta pesquisa, que são: modelos de programação linear, pesquisa operacional e Heurísticas com implementação computacional.

O Capítulo 3 motivo maior desta pesquisa, apresenta o modelo matemático para a composição de rotas, que busca minimização dos custos de transporte e o aproveitamento de rotas compostas para produtos compatíveis.

O Capítulo 4 apresenta a aplicação do modelo matemático de Programação Linear, bem como todas os dados utilizados para os processamentos computacionais.

No Capítulo 5, a pesquisa traz o desenvolvimento e aplicação de uma Heurística para comparação com os resultados do modelo de programação linear.

O Capítulo 6 finaliza o trabalho de Dissertação com ampla comparação e análise dos resultados obtidos com a proposta da pesquisa.



## Capítulo 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Revisão Bibliográfica deste trabalho está dividida em três partes, a saber:

### **O Problema do transporte.**

Neste item apresenta-se uma sinopse do histórico e principais autores que

retrataram o clássico problema do transporte.

A importância dessa sinopse para esse trabalho deve-se ao fato de que o modelo

proposto pode ser considerado uma variação do problema do transporte.

### **Textos Publicados na Literatura Especializada.**

A pesquisa realizada, para esse item da Revisão bibliográfica, procurou trazer

autores renomados e trabalhos recentes com abordagem em:

- Roteirização de veículos;
- Coleta e entrega;
- Planejamento e Programação de frota

Nessa linha foram selecionados nove textos, que após uma análise mais genérica e conjunta, pode se dizer que trouxeram grande contribuição para a pesquisa, já que apesar dos temas não serem exatamente coincidentes possuem semelhança de objetivos,

abordagem, e métodos; quais sejam:

- Planejar e programar a frota disponível;

- Otimizar frota operante;

- Minimizar custos de operação;

- Utilizar as ferramentas: de modelagem matemática, pesquisa operacional,

elaboração de Heurísticas com implementação computacional visando a

aproximação da solução ótima gerada pela modelagem matemática.

### **Aspectos técnicos e regimentais do transporte de produtos perigosos no Brasil.**

Dentro do que foi proposto no trabalho, faz-se necessário a colocação dos principais elementos que compõem o transporte de produtos perigosos no Brasil, elementos de domínio, absolutamente necessário, tanto do Operador logístico quanto da Indústria Química.

## **2.1 – Problema do Transporte**

O “Problema do Transporte” constitui-se em uma das primeiras e mais clássicas

aplicações práticas da programação linear.

Todas as fontes consultadas sobre este método, das precursoras às

contemporâneas apresentam o “Problema do Transporte”, que foi elaborado

originariamente por F. L. Hitchcock, em "Distribution of a Product from several Sources to numerous Localities" em 1941.

A formulação como um problema de Programação Linear, bem como o algoritmo especial para sua solução foram desenvolvidos por G. B. Dantzig em "Application of the Simplex Method to a Transportation Problem" em 1951.

No Problema inicial, a questão é:

- um produto deve ser transportado a partir de  $m$  origens para  $n$  destinos. Conhece-se as quantidades (a) em cada origem; as demandas (b) em cada destino; bem como os custos (c) unitários em cada rota no arco compreendido entre a origem  $i$  e o destino  $j$ . O objetivo é minimizar o custo total de transporte determinando as quantidades a serem transportadas de cada origem para cada destino, respeitando as ofertas e demandas impostas.

Representando-se assim o modelo matemático:

- a) **Variáveis de decisão:**  $x_{ij}$  - quantidade transportada entre cada origem  $i$  e cada destino  $j$ .

- b) **Função objetivo:** minimizar o custo total de transporte.

$$\min C_t = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

- c) **Restrições**

- c.1) Toda origem  $i$  deverá ter a sua oferta transportada;

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad i = 1..m$$

- c.2) Todo destino  $j$  deverá ter a sua demanda atendida;

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad j = 1..n$$

c.3) Não negatividade

$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1..m; j = 1..n$$

Trata-se de um modelo particular de programação linear. O algoritmo do problema de transportes, independentemente das quantidades de nós, arcos, e produtos possui estrutura rígida, ou seja pode ser resolvido com um algoritmo específico.

Nem sempre a soma das ofertas é igual à soma das demandas, mas introduzindo-se variáveis de folga, retorna-se a condição de igualdade entre demanda e oferta, permitindo-se a aplicar o algoritmo para a solução do problema de transporte. A resolução do algoritmo segue os mesmos passos do método simplex, isto é trata – se de uma adaptação deste visando simplificar sua resolução.

Os passos do método simplex podem ser resumidos como segue:

- Passo 1 - Determinar uma solução básica viável inicial, e passar para o Passo 2.
- Passo 2 - Utilizar a condição de otimalidade do método simplex para determinar a variável de entrada dentre as variáveis não - básicas. Se a condição de otimalidade foi satisfeita: fim. Caso contrário, ir para o Passo 3.
- Passo 3 - Utilizar a condição de viabilidade no método simplex para determinar a variável de entrada dentre as variáveis básicas atuais e achar a nova solução básica. Retornar ao Passo 2.

A literatura apresenta diversas formas de solucionar tal modelo, NOVAES (1978), por exemplo, traz: além das soluções básicas, a regra do “canto noroeste” o “método de VOGEL”, partindo por fim à “evolução para a solução ótima”.

É importante citar a valiosa contribuição neste campo dada por FORD e FULKERSON, e que em “Flows in Network”, 1962, desenvolveram um algoritmo alternativo, utilizando a teoria de fluxos em grafos.

## 2.2 – Textos Publicados na Literatura Especializada .

2.2.1 – *Linear, nonapproximated models for optimal routing in hazardous environments* (ReVelle, 1998)

O artigo aborda um tema bastante específico : procura a rota com menor risco, introduzindo no modelo probabilidades de ocorrência de acidente em rota perigosa, onde os autores consideram que o perigo está no meio em que o transporte se desenvolve.

O autor coloca duas possibilidades, a saber:

- acidente pode ser gerado pelo ambiente agressivo (com maior ênfase)
- pelos riscos que o produto oferece.

Neste contexto, com muita intensidade nas probabilidades de acidentes, o autor trata de minimizar custo em sistemas de origens e destinos simples, e depois em múltiplas origens e destinos com rede em nós (abordagem clássica). Usando (0/1) para as probabilidades; e composição de custos dando como conhecido o custo de cada arco, e somando o custo em caso da ocorrência de acidente.

Extraindo-se parte importante do modelo do texto original, temos:

$$(1) \quad Min \quad \sum_{(i, j) \in A} c_{ij} x_{ij}$$

Onde:

$C_{ij}$  é o custo envolvido no transporte no arco  $ij$

$X_{ij}$  é uma medida das conseqüências do acidente

Sujeito a

$$(2) \sum_{j \in O_a} x_{oj} = 1$$

$$(3) \sum_{i \in T^d} x_{id} = 1$$

$$(4) \sum_{i \in T^k} x_{ik} = \sum_{j \in O_k} x_{kj} \quad \forall k \in N, k \neq$$

$$(5) x_{ij} \left| \log b_{ij} \right| \leq \left| \log \alpha \right|$$

Onde:

$q_{ij}$  é a probabilidade de acidente no arco  $ij$

$\alpha$  é o coeficiente da curva plotada a partir da representação dos riscos totais de

um determinado arco  $ij$ .

A conclusão do modelo com a equação (5), é de grande importância, pois

calcula a probabilidade de despacho sem acidente, ou seja probabilidade de

sobrevida (probability of survival) no arco escolhido.

Então a probabilidade de sobrevivência é dada por:

$$x_{ij} \prod_{i,j \in A} b_{ij}$$

Remetendo ao modelo expresso pelas equações de (1) a (5).

Para essa dissertação o texto revisado oferece contribuição complementar, já que não trata de planejamento de frota, ou compatibilização de rotas.

### 2.2.2 – *Learning Vehicle Dispatching With Linear Programming Models*

(Potvin, 1991).

Através de Programação linear o autor propõe modelos para expedição de veículos de serviço (como por exemplo ambulâncias).

O foco do trabalho é fazer alocação de veículos de modo eficiente respeitando janelas de tempo reais, como dito utilizando programação linear, mas sem desconsiderar os aspectos práticos pertinentes ao negócio.

Os autores iniciam conceituando:

- I. “vehicle dispatching problem” (problema da expedição de veículos) que nada mais é de como tratar a expedição do veículo através do pedido do cliente.
- II. “the multiattribute choice problem” (o problema da escolha com multi- atributos)

Conforme a proposta dos autores, o texto descreve uma técnica que pode ser usada como base para a determinação de critérios para tomada de decisão em processos de expedição de veículos.

Nessa linha o texto propõe a modelagem do problema como “um problema de escolha com multi - atributos” (motoristas, candidatos, alternativas).

Para este problema os autores definem 3 estágios:

- *Valuation*, onde quem toma a decisão usa avaliação mental;

- *Integration*, quem toma a decisão utiliza uma combinação de utilidades parciais, propondo para este estágio:

$$U_j = \sum_{df} d_{df} = \sum_{df} W_{df} V_{df}$$

onde:

$U_j$  é a utilidade de integração global,  $j$  é alternativa do atributo  $d$

Complementando a notação tem - se:

$m$  é o vetor de atributo com valores  $(V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jm}), j = 1, 2, \dots, n;$

$j$  é a alternativa para o atributo  $P;$

$A$  é o conjunto de alternativas (veículos, motoristas);

$C$  é o conjunto de critérios ou atributos usados para descrever a situação de expedição dos veículos.

Assim tem - se  $V_{jp}$  é o valor da alternativa  $j$  para o atributo  $P, j \in A, e P \in C;$

$d$  é uma variável subjetiva, não negativa que representa a parcela da decisão mental usada na avaliação do problema;

$w$  é o peso do atributo  $P;$

- *Conclusion*, Conclusão onde finalmente as utilidades globais são ordenados em conjunto de pares inteligentes preferenciais.

Na etapa seguinte do texto os autores desenvolvem o modelo de programação linear, apresentando o que segue:



A proposta dos modelos computacionais agregados à experiências práticas mostrando resultados e comparando-os. Finalizam concluindo que o modelo matemático é bom e apresenta resultados importantes.

Os autores usaram metodologia semelhante a empregada nesse trabalho, isto é a elaboração de modelo matemático e uma Heurística computacional suportada por caso prático buscando validar o modelo.

### 2.2.3 – *Determining Origin Destination Matrices And Optimal Multiproduct Flows For Freight Transportation Over Multimodal Networks* (Gédéon, 1990)

Este trabalho considera o problema de embarque e transporte para fluxo em rede multimodal, minimizando a função custos, focando também a (ou uma) matriz origem/destino a qual corresponda ao mínimo fluxo de custos; para o abastecimento é dado todos os nós de origem, e como demanda é dado todos os nós de destino.

O modelo foi motivado por problemas descritos pela "*National transportation Planning Organization*" do Canadá, que realiza estudos de transporte com abrangência nacional em diversos países. O objetivo dessa entidade é obter o menor custo de embarque e identificar a quantidade a ser ordenada a cada centro de abastecimento para ser entregue para cada centro receptor.

O trabalho então aborda com bastante ênfase os dados de um problema real: transporte de carvão na Finlândia; utilizando assim o que propõe para uma aplicação prática desse caso.

Pode se imaginar a importância de tal aplicação, pois sabe se que é ampla a utilização do carvão como fonte de energia no aquecimento daquele frio país.

O algoritmo, apresentado pelos autores, tem a configuração dada pela equação apresentada abaixo.

Colocado o algoritmo, o texto trata de sua solução, partindo em seguida para o tratamento dos arcos e matriz de dados, finalizando a pesquisa com análise computacional dos dados.

$$h_k = \sum_{x_p \in X} \delta^{ak} \cdot v_p^a, \quad \forall a \in A, \forall p \in P$$

onde:

$d$  = produto

$v_p^a$  = arco do fluxo

$\delta^{ak}$  = variável binária, com:

valor 1 qdo o arco  $a$  é parte da rota  $k$

e 0 em caso contrário

$h_k$  é a rota de fluxo, na rota  $k$  que conecta um par de origem/destino

A solução apresentada pelos os autores para a determinação da matriz origem/destino e otimização do fluxo em rede multimodal, (segundo os próprios) é prática e pode ser utilizada em larga escala de redes, os autores evidenciam tal afirmação através dos resultados computacionais mostrados.

Comparam os resultados teóricos com os obtidos através de ensaios computacionais, mas não afirmam qual desenvolvimento traz resultados mais precisos, indicando que é necessário maior número de aplicações para tal conclusão.

### 2.2.4 – *Analysing trade-offs Between Transportation, Inventory And Production*

*Costs On Freight Networks* (Blumenfeld, 1985).

Essa pesquisa tem como objetivo principal otimizar a movimentação de cargas em rede entre múltiplas origens e destinos.

Trata-se de um trabalho bastante focado na questão custos globais da rede de transporte, assunto abordado com profundidade incluindo a questão de estoques em trânsito; propondo apresentar três principais contribuições, a saber:

- Entendimento da Interface entre transportes e custos de produção, e como estes custos interferem nos estoques.
- Identificação das condições quando a rede de transportes envolve múltiplas origens e destinos.
- Um método de otimização que determina simultaneamente rotas e volumes de embarques.

Os autores dividem então o desenvolvimento da pesquisa nas seguintes situações:

- a Uma origem para um destino (direto)
- b Uma origem para muitos destinos (direto)
- c Muitas origens para muitos destinos (direto)
- d Transporte utilizando o centro de distribuição (consolidação)
- e Transporte direto ou com consolidação

Os autores utilizam ferramentas consagradas das quais destacam-se: MRP (material requirements planning); JIT (just in time production systems; EQQ (economic order quantity).

Ao longo da pesquisa os autores colocam no texto três grandes divisões, que agrupam situações apresentadas acima:

- Embarque direto;
- Transporte via consolidação;
- Comparação entre direto e consolidação.

Dentro de embarque direto e via consolidação, os autores desenvolvem e apresentam equações envolvendo custos de transporte, custos de inventários e conexões com custos produtivos; levando em consideração as opções apresentadas anteriormente, isto é variando as possibilidades de quantidade de origens e destinos.

Na parte final, o trabalho apresenta uma interessante comparação entre embarque direto e via consolidação, propondo para o processo uma decomposição da rede de transportes.

## 2.2.5 – Algoritmos para Roteamentos e Programação de Veículos no Contexto

da Distribuição Física (Cunha, 1991).

Esta dissertação trata do problema de roteamento e da programação de uma frota de veículos no contexto da distribuição física, especialmente em meio urbano, utilizando a aplicação de casos práticos, e analisando vários sistemas de distribuição física, como entrega de lojas de departamento, distribuição de indústrias alimentícias, entregas de bebidas e cigarros, transporte de funcionários, etc.

A partir da análise dos casos apresentados Cunha classifica os problemas de roteamento, identificando o que julga ser os fatores mais importantes de diferenciação e caracterização dos sistemas de coleta e distribuição.

O trabalho considera de forma enfática a importância da “janela de tempo”, classificando-a em:

- Rígida : o veículo obrigatoriamente aguarda o horário de atendimento.
- Flexível : pode ser violada normalmente associada a uma penalidade de violação.

Tratando da formulação matemática do RRP (Problema de Roteamento e Programação), Cunha propõe a programação de um frota de veículos de carga, sujeito a

restrições de janela de tempo, precedência e capacidade de carga nos veículos; assim apresentada:

$$(1) \quad \text{Min } a_1 \left( \sum_{v=1}^{NV} \sum_{j=1}^{N+1} c_v^j x_{vj}^v \right) + a_2 \left( \sum_{v=1}^{NV} \sum_{j=1}^{N+1} c_v^j x_{vj}^v \right) + a_3 \left( \sum_{v=1}^{NV} \sum_{j=1}^{N+1} (T_j + s_j + t_{j,N+1}) x_{vj}^v \right) + a_4 \left( \sum_{v=1}^{NV} \sum_{j=1}^{N+1} c_v^j x_{vj}^v \right)$$

Sujeito as restrições:

$$(2) \quad \sum_{j=1}^{N+1} \sum_{v=1}^{NV} x_{vj}^v = 1, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad i \in \{1, \dots, N\}$$

$$(3) \quad \sum_{v=1}^{N+1} x_{vj}^v = 1, \quad v = 1, \dots, NV$$

$$(4) \quad x_{vj}^v = 1 \Leftrightarrow T_j + s_j + t_j \leq T_j, \quad i = 0, 1, \dots, N - 1$$

$$(5) \quad a_i \leq T_i \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$(6) \quad x_{vj}^v = 1 \Leftrightarrow y_v^i + D_j = Y_v^j, \quad i = 0, 1, \dots, N - 1$$

$v = 1, 2, \dots, NV$   
 $j = 1, 2, \dots, N; j \in \{1, \dots, N\}$

Notação utilizada pelo autor:

$N$  = Conjuntos de clientes a serem atendidos

$i$  = cliente do conjunto  $N$

$NV$  = frota de veículos

$v$  = veículo da frota  $NV$

$(a_i, b_i)$  = janela de tempo para início de atendimento ao cliente  $i$

$S_i$  = tempo necessário para atender o cliente  $i$

$D_i$  = volume ou peso da carga para o cliente  $i$

$K_v$  = capacidade máxima do veículo  $v$

- $c^f_v$  = custo fixo total por veículo
- $c^v_v$  = custo variável com a distância
- $c^h_v$  = custo unitário por tempo
- $t_{ij}$  = tempo de viagem do cliente  $i$  ao cliente  $j$

Com este algoritmo Cunha busca minimizar o custo total de transporte, e com as restrições garante que os clientes serão atendidos nas janelas de tempo, e demandas solicitadas, assim como obedecendo as capacidades dos equipamentos.

Abrangendo de maneira eficiente os componentes dos custos fixos e variáveis, o autor coloca um modelo matemático clássico para programação e roteamento de frotas.

Na Segunda parte da Dissertação Cunha apresenta o algoritmo de programação Dinâmica para a solução de Problema de Roteamento e programação de um veículo (PRP1V) sujeito a restrições de janela de tempo, capacidade e precedência (o autor baseia o algoritmo no trabalho de Desrosiers).

O princípio deste modelo, denominado *forward dynamic programming* (*approach* (programação dinâmica para frente), trata de reduzir significativamente o número de estados gerados através de critérios de eliminação de caminhos inviáveis ou dominados.

O autor então da continuidade à sua pesquisa da seguinte forma:

1. descreve os critérios de eliminação de estados inviáveis,

2. detalha o algoritmo de programação dinâmica,

3. demonstra a implementação computacional do modelo,

4. estuda caso prático, incluindo resultados de processamento.

O modelo apresentado, pelo autor, é de maneira geral resultante da

decomposição para um veículo da formulação apresentada acima para PRP, e com

Grafo direcionado, assim como na proposta de Desrosiers, desenvolve a formulação matemática inicialmente eliminando os nós inviáveis, e por conseguinte determinando rotas viáveis, para então implementar o modelo computacional para a solução do algoritmo.

Cunha indica que o algoritmo PRP1v da forma com que foi implementado, não seria eficiente no contexto que se pretendia aplicá-lo, em função de seu desempenho computacional (em função do número de tarefas) e pela menor rigidez das janelas de tempo.

Esse excelente trabalho traz importantes contribuições para o tema, e possui afinidades significativas com esta dissertação, principalmente:

- princípio da roteirização (ou roteamento como refere-se Cunha),
- Modelagem matemática, através de algoritmos de otimização,
- Análise de rotas viáveis,
- Implementação de Heurísticas computacionais produzindo parâmetros de comparação.

Levando-se em consideração que o momento em que essa pesquisa foi concluída (1991), pode-se crer que o avanço da tecnologia computacional (tanto *hardware* quanto *software*) contribuiria sobremaneira para o objetivo pretendido, sanando assim as deficiências apontadas pelo autor. Cabendo ainda ressaltar que Cunha deu continuidade a esse trabalho em sua tese de doutoramento (Cunha 1997), trabalho este também revisado neste capítulo.

2.2.6 – Uma Contribuição para o problema de Roteirização de Veículos com Restrições Operacionais. (Cunha, 1997)

Cunha apresenta como objetivo principal em sua tese de doutoramento a “formulação e o desenvolvimento de uma estratégia de solução para o modelo matemático” que representa os problemas de roteirização e programação de frotas heterogêneas de veículos, com as seguintes restrições:

- Janelas de tempo (ou horários) dos clientes (intervalo horário para o atendimento cada cliente);
- Capacidade dos veículos;
- Duração máxima das viagens dos veículos.”

O trabalho do autor baseia-se na “relaxação Lagrangiana das restrições do modelo matemático relacionadas à obrigatoriedade de atendimento de cada cliente exatamente uma vez”.

O problema proposto de roteirização e programação de veículos é denominado na tese por “Problema de Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo (RRPT)”, e a formulação matemática é uma derivação do proposto pelo autor em sua Dissertação de mestrado, também referenciada neste capítulo (Cunha, 1991).

Relaxação Lagrangiana utilizada como instrumento para a solução de problemas ditos difíceis, onde a ordem de complexidade dos algoritmos exatos conhecidos são exponenciais, então as restrições complicadas são substituídas por um ou mais termos com penalidades introduzidos na função objetivo, de forma a expressar o valor das restrições através de suas respectivas variáveis duais.

A Relaxação Lagrangiana tem como uma vantagem importante a resolução do subproblema como modelo independente; dentro do tema analisado, HELD e KARP



(1970, 1971) aplicaram a técnica para o desenvolvimento de um algoritmo para o problema do caixeiro viajante, baseado em árvores de coberturas mínimas.

Utilizando então esta técnica, o autor relaxa as restrições e a resultante pode ser vista como um problema de múltiplos caminhos mínimos simultâneos (um para cada veículo da frota), sujeito às demais restrições do PRPJT, ou seja, janelas de tempo, capacidades dos veículos e duração das janelas.

A complexidade do problema relaxado, levou o autor a desenvolver três diferentes Heurísticas, a saber:

- Heurística de alocação sequencial,
- Heurística de alocação paralela,
- Heurística de agrupamento e alocação sequencial,

Pode-se concluir que os dois trabalhos de Cunha trazem uma importante e abrangente contribuição para o tema “Rotamento”, apresentando modelos matemáticos e Heurísticas, bem como técnicas de resolução.

2.2.7 – *The General Pickup and delivery Problem* (M.W.P. Savelsbergh, M. Sol, 1985.)

A proposta do trabalho é apresentar um modelo geral que possa ser utilizado no manuseio práticos de modelos complexos de *Pickup and Delivery* (coleta e entrega, designados PD nesta revisão), isolando e discutindo algumas das principais características que diferenciam problemas de PD dos problemas e roteirização tradicionais.

O trabalho utiliza como foco primário modelos determinísticos, e apesar de referenciar a literatura, discutindo inclusive processos estocásticos de problemas de

roteirização de veículos, procuram deixar claro que fazem uma abordagem própria, visando também incentivar novas pesquisas na área.

No problema geral de coleta e entrega (GDDP) um conjunto de rotas é elaborado para atender a demanda de transporte, e realizado com uma frota de veículos, onde cada transporte determina a carga, o ponto de carregamento e o ponto de descarga.

No problema de PD cada transporte, requer uma origem simples e um destino simples e todos os veículos partem e retornam para um depósito central. O problema de roteirização de veículos (VRP), é um problema de PD onde todas as origens e todos destinos são localizados nos depósitos.

#### a-) Formulação do Problema

Neste item passa-se a definir e especificar as variáveis do problema, já visando a elaboração dos modelos matemáticos a que o trabalho se propõe.

É interessante notar que são colocadas todas as variáveis possíveis, não abstenendo-se os autores, por simplificação, de nenhuma.

Esta linha dá um caráter real ao problema, e trará ao longo do estudo contribuições práticas ao tema.

Sem levar em conta ainda as notações utilizadas, passa-se a apresentar abaixo as variáveis escolhidas:

- conjunto de transportes requeridos;
- cada transporte requerido (coleta e entrega);
- tamanho (dimensão) das cargas (de forma unitária);
- conjunto de origens;
- conjunto de destinos;
- cada local de carga e descarga (de forma unitária);

- conjunto de veículos;
- capacidade individual de carga dos veículos;
- distâncias de trajeto;
- tempos de trajeto;
- custos de transporte.

É colocado ainda que os tempos de residência nos locais de origens e destinos podem ser facilmente incorporados, apesar de não estarem sendo considerados no momento.

Com os parâmetros colocados acima, são apresentadas duas definições:

1. Uma rota de PD para um determinado veículo é uma rota direta obtida através de um sub-conjunto de origens e destinos;

2. Um plano de PD é apresentado como um conjunto de rotas.

#### **b-) Características do Problema**

##### *b.1-) Transportes Requeridos*

Os autores aqui colocam uma importante diferenciação entre os problemas de roteirização e problemas de PD, quanto a forma com que os transportes pedidos

(requeridos) são gerados:

Em um problema de **roteirização a situação é estática**, na grande maioria dos casos, ou seja, todos os pedidos são conhecidos e desta forma os tempos das rotas são

construídos.

Em um processo dinâmico, alguns dos pedidos são conhecidos, e podem ter seus

tempos construídos, mas outros não, isto é alguns pedidos são gerados em tempo real enquanto outras rotas estão sendo executadas; consequentemente pelo menos um

pedido, em uma situação dinâmica, pode ter sua rota alterada quando um novo

transporte é requerido. Assim pode-se dizer que a maioria dos problemas de PD são processos dinâmicos.

Na prática um processo dinâmico é frequentemente resolvido com uma sequência de processos estáticos.

#### *b.2-) Restrição de Tempo*

Restrições quanto a capacidade do veículo, e outras restrições intrínsecas ao problema a parte, as restrições relativas ao tempo são as mais comuns e estão quase sempre presentes em situações práticas de PD.

Mesmo o tempo sendo tão importante em problemas de roteirização e PD, é uma restrição constantemente ignorada na literatura; por ser um fator que complica sobremaneira a solução; por outro lado se trabalhado corretamente, a restrição tempo, será benéfico ao método de otimização.

#### *b.3-) Restrições de tempo relativas aos pedidos de transporte*

As janelas de tempo são colocadas como fatores de planejamento do transporte, ou seja a medida que existe a requisição ou pedido de transporte, é planejado todas as janelas de tempo envolvidas: carregamento; trajeto e descarregamento.

É importante a colocação que: estas janelas de tempo também servem para posicionamento dos clientes quanto a execução do transporte. Interação esta bastante importante nos dias de hoje.

#### *b.4-) Restrições de tempo relativas aos Veículos*

Os autores citam que normalmente os veículos não estão disponíveis todo o dia, e que motoristas precisam comer e dormir. Estas restrições podem ser modeladas como janelas de tempo para os veículos.

Cabe observar que: é muito raro encontrar na literatura trabalhos que levam em

conta aspectos como apresentados neste item, o que denota a preocupação dos os

autores quanto aos aspectos práticos e reais do problema.

Nesta dissertação trata-se destas restrições como disponibilidade operacional do

veículo e paradas técnicas de viagens, e são levados em consideração para as

formulações propostas.

### **c-) Funções objetivos**

Neste tópico os autores afirmam existir grande variedade de funções objetivas

encontradas na literatura para problemas de PD, enumerando-se abaixo as mais

comuns:

Primeiro: para um veículo.

- Minimização da duração da rota;

- Minimização do tempo completo;

- Minimização do tempo de viagem;

- Minimização do comprimento da rota;

- Minimização dos inconvenientes aos clientes.

Segundo: múltiplos veículos.

- Minimização do número de veículos;

- Maximização dos lucros.

### **d-) Soluções para Aproximações\***

Nesta seção são tratadas as variações dos problemas de PD, focando todas as

possibilidades quanto a um e múltiplos veículos; e com e sem janela de tempo.

Para cada um dos casos os autores passam a revisar literaturas existentes, bem como coloca formulações matemáticas utilizando os parâmetros apresentados anteriormente.

São adotadas duas divisões maiores para o estudo: situações estáticas e dinâmicas, e dentro delas as abordagens quanto ao número de veículos, e janela de tempo.

1. O problema estático de PD para um único veículo
2. O problema estático de PD para múltiplos veículos
3. O problema dinâmico de PD para um único veículo
4. O problema dinâmico de PD para múltiplos veículos

Os problemas com situação estática são normalmente estudados como uma variante do GPP, e o trabalho discorre longamente sobre as proposições da literatura, discutindo-as e comparando os procedimentos propostos.

Nos casos de situações dinâmicas o trabalho também revisa literatura, porém enfatiza que como na maioria dos casos de problemas de otimização combinatoria, não são bem estudadas. Cabe observar que os autores colocam como “Aproximação”, a solução obtida após a maximização (ou otimização), como uma solução possível mais próxima da ótima para o problema.

Para todos os casos são isolados e estudados as situações com e sem janelas de tempo. O trabalho procura em sequência lógica apresentar as revisões e soluções subdivididas em:

- otimização e;

- aproximação.

Os algoritmos apresentados geralmente abordam todos os parâmetros colocados anteriormente, buscando soluções completas para os casos estudados, desta forma estes algoritmos propostos tornam se de difícil solução, e os autores realizam vasta pesquisa na literatura objetivando validar o proposto; bem como buscar estas soluções, que utilizam recursos complicados como entre outros:

- Análises probabilísticas
- Limites
- Análise de pior caso
- Número complexo

#### e-) Conclusão

O trabalho abordou várias características dos problemas de PD, e ofereceu uma revisão bibliográfica muito importante do tema, conforme sua proposição.

A maior parte dos problemas da “vida real” de PD, são de “demand responsive”, isto é necessitam de algoritmos para processos dinâmicos de PD “on line”, assunto muito pouco conhecido, o que os autores consideram com grande campo para pesquisa e um tema “fascinante”.

Apesar dos problemas de PD com único veículo são de complicada solução, podem ser eficientemente resolvidos com programação dinâmica desde de que o número de transportes requeridos seja relativamente pequeno. Assim a grande parte dos problemas de PD com múltiplos veículos são resolvidos a medida que os transportes vão sendo requisitados.

Conseqüentemente problemas de PD, assim como diversos outros problemas de programação de veículos são resolvidos por soluções de aproximação baseado em um conjunto de divisões com geração de colunas.

É importante ressaltar que este trabalho realmente traz uma importante contribuição para o tema, não só pelas propostas de modelagem, mas também pela vastíssima revisão bibliográfica, comprovada pelas citações e bibliografia apresentada. Ressalta que, apesar da forma clara e eficiente com que apresenta soluções para os problemas de PD, o tema merece, e deverá ser desenvolvido.

2.2.8 – *The Pickup and Delivery Problem With Time Windows* (Dumas, Desrosiers, e Soumis, 1990)

#### a-) Introdução

A proposta do trabalho é apresentar um algoritmo exato que resolva o problema de *Pickup and Delivery* (coleta e entrega, designados PD nesta revisão) quando transportando mercadorias.

O algoritmo utiliza o esquema de geração de coluna com um caminho mais curto como subproblema.

O problema de roteirização de veículos (designado VRP nesta revisão) envolve o projeto do conjunto de rotas com o menor custo, depósitos de origem e destino, para a frota de veículos que prestará exatamente o serviço requerido pelos clientes, sendo transportes de demanda conhecida.

O serviço para um cliente pode começar enquanto a janela de tempo é definida entre o primeiro momento e o último, quando o cliente poderá disparar o pedido de serviço.



Os tempos, cujos os serviços marcam o início do serviço, são variáveis de decisão.

O problema de PD com janela de tempo é uma generalização do VRP com janela de tempo (VRPTW) cujo o ponto central é a construção de rotas ótimas que satisfaçam os transportes requeridos; cada pedido de coleta na origem e entrega no destino, estão sujeitos à capacidade, janela de tempo, e demais restrições inerentes ao processo. Em adição, cada rota satisfaz o par de restrição de coleta e entrega correspondente, desde que sejam atendidos pelo mesmo veículo.

O trabalho inicia a abordagem dos algoritmos revisando autores que desenvolveram métodos de solução para o VRPTW, e citam que o maior problema resolvido envolvia 4 veículos de transporte; 14 clientes; 3 veículos de serviço; e com uma janela de tempo rígida.

**b-) O problema de PD com janela de tempo (designado nesta revisão,**

**PDPTW)**

Para a proposição do primeiro algoritmo, que aplica-se a um único veículo para PDPTW; os autores consideram uma frota homogênea de veículos (todos com as mesmas características), e as seguintes variáveis:

- Número de transportes requeridos
- Conjunto de veículos disponíveis
- Conjunto de rotas possíveis
- Custos das rotas
- Constantes e variáveis binárias referentes às rotas.

Dai tem-se que :

- A função objetivo minimiza a somatória dos custos das rotas.

- A coluna aplicada corresponde ao vetor da constante binária referente às rotas possíveis.

Os autores na sequência passam ao modelo mais complexo para múltiplos veículos de PDPTW.

Para tanto consideram o que segue:

- clientes indexados em nós, estes nós estão associados pelas localizações, e seus depósitos de entrega;
- Os nós criados pelos clientes formam uma rede;
- Formação de arcos que atendam os clientes  $i$ , com demanda conhecida  $d_i$ , do nó  $n$ , para o nó  $n+1$ ;
- Conjunto de veículos a serem programados;
- Determinação da capacidade de cada veículo;
- Custos determinado para cada arco;

- Todas as outras considerações anteriores são válidas, como tempos de carregamento, trajeto (de cada arco), e descarga; prioridades de pedidos, etc..

- Também são consideradas as restrições usuais, além de penalidades que inviabilizam arcos com custos elevados, através de função que determina o “não - decrescimento” da carga transportada após a descarga em um determinado nó.

- São adotadas três tipos de variáveis para a formulação matemática do problema:

- Variáveis binárias de fluxo;
- Variáveis de tempo;
- Variáveis de carregamento.

Então a função objetivo para a PDPTW encontrada minimiza os custos dos

arcos minimizando as somatórias das variáveis apresentadas acima.

Os autores passam a detalhar resolução do algoritmo, através de diversas proposições; finalizando as soluções matemáticas com o que chamam de “implementação de estratégias” visando a redução dos tempos de execução.

Como nesta dissertação o trabalho implementa programas computacionais; buscando complementar e aproximar do real o obtido através da modelagem matemática.

As pesquisas computacionais da geração de colunas do algoritmo foram realizadas usando oito problemas, variando de:

- 19 a 55 pedidos;

- 40 a 112 nós, incluindo os nós dos depósitos;

Os problemas escolhidos como testes foram resolvidos na Universidade de Montreal, com um computador “ciber 855” através de linguagem Fortran 5.

Os testes são ricamente detalhados no texto.

### c-) Conclusões

Os autores finalizam os testes computacionais afirmando que o método de geração de colunas de algoritmos pode ser generalizado para resolução de problemas com mais de um depósito.

Os experimentos revelam que janelas de tempo e distribuição de demanda de carregamentos são parâmetros que tem a maior e a mais significativa influência no tempo corrido da geração de coluna de algoritmos.

O relaxamento da programação linear, na solução do problema, propicia uma excelente vantagem e permite uma rápida obtenção de uma boa solução integrada. Combinadas no sentido de acelerar novas técnicas, os princípios apresentados podem

levar a aproximação da solução ótima, para a grande maioria dos problemas de coleta e entrega.

### 2.2.9 – *Heuristic Algorithms for Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem*

(Dell' Amico, Fischetti, e Toth, 1993)

#### a-) Introdução

A proposta deste texto é apresentar um algoritmo, com base em Heurísticas, com tempo de processamento polinomial (“polynomial-time heuristic algorithm”) que garante que a solução apresentada o número mínimo de veículos para problemas, tipo “NP Hard, de planejamento para atendimento a múltiplos depósitos (designado MD-VSP nesta revisão).”

No gerenciamento de empresas de transporte é crescente a questão da definição ótima da utilização dos veículos baseada em uma tabela de tempos de viagem; e nesta linha, o texto procura desenvolver a pesquisa caracterizando a estrutura do problema.

A caracterização do MD-VSP esta em encontrar a designação de viagens de modo a:

- Cada viagem é cumprida por exatamente um veículo;
- A cada veículo utilizado na solução uma *carga possível*, ou seja cumpra o par de viagens retornando para o seu depósito ao final da carga;
- O número de veículos estacionado em um determinado depósito e usado na solução não pode ser maior que o número total de veículos estacionados;
- O número total de veículos utilizados na solução e a soma do custo das cargas transportadas, deverá ser o mínimo

Os autores colocam desde o início da pesquisa que o problema pode ser formulado através de um modelo teórico de Grafo (denominado “grafo G” nessa revisão), onde  $G = (V, A)$ , e  $V$  é um conjunto de vértices do grafo, e  $A$  é um conjunto de pares de viagem.

A partir do Grafo, e das teorias que propõem os autores então passam a desenvolver a modelagem matemática.

### **b-) Proposta de um novo algoritmo baseado no caminho mais curto**

Os autores apresentam um algoritmo, com base em Heurísticas, para MD-VSP, através do caminho mais curto, o qual melhora o desempenho do algoritmo. Este novo algoritmo sempre garante, segundo os autores, a utilização do número mínimo de veículos.

O algoritmo trabalha em estágios, em cada um dos quais a carga é determinada. A cada estágio os autores definem primeiro um conjunto conveniente de arcos proibidos; e então um circuito possível, onde nenhum destes arcos proibidos será utilizado.

Para a determinação dos arcos proibidos os autores novamente utilizam o grafo G, agora com a aplicação do algoritmo do caminho mais curto.

### **c-) algoritmo H**

O texto desenvolve o algoritmo proposto em etapas com grande nível de detalhamento, coloca-se a seguir estas etapas, porém de forma sucinta, apenas para entendimento da proposta dos autores.

1. Definição do relaxamento do fluxo do MD-VSP;
2. Determinação do conjunto de arcos proibidos, por ferramentas computacionais;

3. Para cada depósito, no qual pelo menos um veículo ainda está disponível, recorre – se novamente ao grafo G, através do caminho mais curto iniciando e terminando no vértice determinado, não utilizando arcos proibidos.

#### **d-) Refinamento dos Procedimentos**

O texto propõe quatro refinamentos dos procedimentos com tempo de processamento polinomial, os quais podem ser implementados para aumentar as possibilidades de solução.

Todos os procedimentos são baseados na idéia de resolver exatamente um subproblema de MD – VSP.

#### **e-) Resultados Computacionais**

Foram implementadas diversos testes computacionais em Fortran 77, em um VAXstation 3100 digital, também foram implementados duas Heurísticas das mais utilizadas, e encontrados na literatura.

A tabela de resultados obtida através da computação das Heurísticas tradicionais, apesar de processamento muito rápido, traz resultados pobres tanto em minimização do número de veículos, e percentual de erros. Passa-se então a implementar testes computacionais com o proposto na pesquisa e o “algoritmo refinado”:

#### **f-) Conclusão**

Os autores então concluem que com pequeno acréscimo no tempo de processamento os resultados são significativamente melhores.

Esses algoritmos produziram soluções de qualidade bastante melhor dos que os da geração anterior.

O algoritmo H em particular, com o refinamento de procedimento, fornece uma solução aproximada muito firme; com cerca de 1% de diferença da solução ótima.

### 2.3 – Cargas Perigosas

Quando a questão envolve o transporte de produtos à granel em equipamentos especiais, diversas outras restrições de ordem técnica somam-se as de logística.

Como colocado na proposta deste trabalho o foco aqui está voltado para a indústria química, que movimenta matérias primas, produtos intermediários já transformados e produtos acabados.

O crescimento da economia e a pressão de custos força em todo o mundo o transporte a granel, que traz inúmeras vantagens, tais como:

- Maior peso líquido transportado por viagem;
- Economia das embalagens;
- Economia no manuseio das embalagens nas pontas (origem/destino)
- Diminuição da perda de produtos comum nas embalagens.
- Ganho de escala com aumento das vendas (ou entregas) em cada movimentação;
- Diminuição do custo global de transporte, já que maior quantidade de produto transportado dilui os custos fixos.

O produto químico líquido, principal material movimentado pelas indústrias, e eleito para o estudo deste trabalho, são via de regra classificados como perigosos necessitando de cuidados especiais no seu manuseio e transporte.

O transporte é regulamentado por organismos brasileiros e internacionais de forma rígida; pelos problemas que podem causar à população e meio ambiente

As regulamentações existentes para o transporte de produtos perigosos, tanto brasileiras quanto internacionais tem única base principal e inspiradora: ONU Organização da Nações Unidas (“UN”), sendo que os dois grupos principais são a *IMDG - International Maritime Dangerous Goods Code* e as leis brasileiras.

### 2.3.1 – *IMDG - International Maritime Dangerous Goods Code*

Trata-se de um conjunto de normas elaboradas pelo *IMO – International Maritime Organization*, através do *Maritime Safety Committee*.

As normas *IMDG* existem para regulamentar o transporte de produtos químicos perigosos transportados em embarcações marítimas, mas também inspiraram as regulamentações para o transporte em outros modais, inclusive o rodoviário.

Os principais aspectos abordados são:

- Especificação de classes de produtos:
  1. Explosivos
  2. Gases: comprimidos, líquidos ou dissolvidos sob pressão
  3. Líquidos inflamáveis
  4. Sólidos inflamáveis
  5. Substâncias com combustão espontânea
  6. Substâncias que com o contato com a água emitem gases inflamáveis
  7. Substâncias oxidantes
  8. Peróxidos orgânicos
  9. Substâncias Infeciosas



10. Radioativos

11. Corrosivos

12. Miscelâneas de substâncias perigosas que não se enquadraram em nenhuma classe.

- Classificação IMO dos produtos

A classificação IMO apresenta uma tabela com todos os produtos cadastrados e

informações importantes: para o armazenamento, manuseio, atendimento à emergências e transporte marítimo dos produtos listados.

- Documentação para o transporte, abrangendo

Nome Próprio para o embarque marítimo;

Classes e sub-classes IMO;

Número ONU (do código IMDG);

Se vazio deve indicar: *Empty*, e o último produto carregado (inclusive com o

número. ONU);

*Flashpoint* se 61 graus celsius ou abaixo, ou outras informações técnicas

relevantes não descritas no código IMO.

### 2.3.2 Leis Brasileiras

A legislação brasileira, que também é inspirada nas regulamentações da ONU,

regulamenta principalmente o transporte rodoviário e é constituída pelos seguintes

documentos:

Decreto federal 96044 de 18 de maio de 1988 Regulamento para o transporte

rodoviário de produtos perigosos.

Portaria (do Ministério dos Transportes) 204 de 26 de maio de 1997 Instruções

complementares ao decreto 96044/88.

Normas Técnicas da ABNT (principais): NBR 7500 Símbolos e Rótulos de Risco; NBR 9734; Equipamentos de Proteção Individual; NBR 9735 Kit de Segurança; NBR 8285 Ficha de Emergência; NBR 8286 Envelope de Emergência.

Esta breve descrição das regulamentações deixa claro as dificuldades, e carga adicional de custos que o segmento carrega, pois além dos requisitos extras necessários a operacionalizar o transporte, estas normas influem diretamente na construção dos equipamentos.

Portanto se no transporte de carga geral o equipamento de transporte é um fator contribuinte para a compatibilização de cargas e combinação de rotas; no transporte de líquidos a granel o equipamento está intimamente ligado ao produto, tornando-se muitas vezes tão específico, que pode chegar a ser exclusivo.

A Tabela 2 mostra um panorama genérico das principais características físico-químicas, e intrínsecas dos produtos, e como elas determinam o equipamento de transporte.

Há que se enfatizar que quanto maior a periculosidade do produto, maiores serão as exigências quanto aos equipamentos de transporte, além deste, outro forte fator restritivo é descontaminação do caminhão após efetuado o transporte e descarga já que no transporte à granel o caminhão é a própria embalagem do produto qualquer resíduo da carga anterior além do alto potencial de incidentes através de reações químicas entre os produtos, é praticamente certa a contaminação causando perda da mercadoria.

**Tabela 2 – Principais características físico-químicas e intrínsecas dos produtos.**

Características do Produto	Características do Equipamento de transporte
Densidade	Capacidade volumétrica
Viscosidade	Accessórios para carga/descarga
Pressão de Vapor	Pressão de teste
Finalidade (transformação industrial, produto acabado, alimentício, etc.)	Material de construção
Compatibilidade Química	Material de construção
Ponto de Fulgor/ ebulição	Espessura do tanque; válvulas de segurança
Estado físico à temperatura ambiente	Isolante térmico e equipamentos de troca de calor (aquecimento/restritamente)
Classificação ONU e INMETRO	Aspectos construtivos, como espessura da chapa, solda, forma e percentual de radiografia das soldas, percentual de enchimento, válvulas de segurança, bocais e válvulas de carga e descarga

O fator “descontaminação” é bastante importante para essa pesquisa, já que é forte restrição para a compatibilização de cargas e rotas. Apresenta-se no capítulo 4 o banco de dados utilizado na aplicação, e também tabelas com graus de dificuldade e tempos de descontaminação.

Todos estes aspectos entre outros, motivam a elaboração deste trabalho, que certamente terá grande aproveitamento prático, e espera contribuir de forma relevante no campo da logística, com foco em otimização e custos.

## 2.4 Comentários sobre a Revisão Bibliográfica

Como será mostrados nos próximos capítulos, o “Problema de Transporte” é uma ferramenta capaz de resolver o algoritmo do modelo matemático proposto nessa pesquisa, portanto de fundamental importância para esse propósito.

Os demais artigos revisados serviram para dar a dimensão e importância às janelas de tempo e demais fatores, fatores estes que motivaram a elaboração de uma Heurística.

A Heurística então, contempla de forma preliminar esses fatores e aproximam o problema da realidade do transporte rodoviário.

O texto sobre cargas perigosas foi essencial para o trabalho, medida que aborda a descontaminação de tanques de transporte como premissa básica para a compatibilização de cargas e composição de rotas, sendo um fator determinante para apuração de tempo e custos.

Para representar o problema de transporte de suprimentos e produtos acabados, tendo em vista a minimização dos custos de transporte e o aproveitamento de rotas compostas para produtos compatíveis, montou-se um modelo matemático linear. Este modelo matemática visa promover o aproveitamento de rotas compostas viáveis sob o ponto de vista operacional e de compatibilidade entre os produtos transportados em cada trecho. Para apresentar esse modelo, mostram-se a Notação Utilizada, as Variáveis de Decisão, a Função Objetivo seguida de um detalhamento do cálculo dos custos envolvidos, as Restrições do Problema e outras considerações importantes para concluir a apresentação do modelo proposto.

## Capítulo 3 MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA A COMPOSIÇÃO DE ROTAS

Antes da apresentação do modelo, são definidos a notação, os índices e os conjuntos utilizados no texto:

- $O$  - número de origens (fornecedores);
- $o$  - índice que identifica uma origem (fornecedor) de matérias-primas para as fábricas, variando de 1 a  $O$ ;
- $C$  - número de destinos (clientes);
- $c$  - índice que identifica um destino (clientes) que recebe produtos acabados da fábricas, variando de 1 a  $C$ ;
- $F$  - número de fábricas;
- $f$  - índice que identifica uma fábrica que recebe matérias-primas dos fornecedores e expede produtos acabados para os clientes, variando de 1 a  $F$ ;
- $I$  - número de matérias-primas;
- $i$  - índice que identifica uma matéria-prima adquirida nas origens (fornecedores) e transportada para as fábricas, variando de 1 a  $I$ ;
- $J$  - número de produtos acabados;
- $j$  - índice que identifica um produto acabado produzido pelas fábricas e transportada para os destinos (clientes), variando de 1 a  $J$ ;
- $E$  - número de tipo de veículos;
- $e$  - índice que identifica o tipo de veículo utilizado para transportar matérias-primas e produtos acabados, variando de 1 a  $E$ ;

### 3.1 – Notação Utilizada

$V_{efi}$  - é o custo da viagem do equipamento do tipo de índice  $e$  entre a origem

(fornecedor) de índice  $o$  e a fábrica de índice  $f$ , transportando a matéria prima de índice  $i$ . Este custo de viagem incorpora o custo fixo do equipamento e os custos variáveis, incluindo o retorno vazio, pois como é conhecido as características do equipamento, a distância percorrida e as características da matéria prima, pode-se calcular o tempo de viagem redonda (carga, descarga e deslocamento), ratear o custo fixo desse equipamento no período e incorporar os custos variáveis para esse percurso;

$V'_{efcj}$  - é o custo da viagem do equipamento do tipo de índice  $e$  entre a fábricas de índice  $f$  e o destino (cliente) de índice  $c$ , transportando o produto acabado de índice  $i$ . Para o cálculo deste custo utiliza-se o mesmo procedimento apresentado acima;

$W_{eofcjt}$  - é o custo da viagem composta do equipamento do tipo de índice  $e$  transportando matéria prima de índice  $t$  da origem (fornecedor) de índice  $o$  para a fábrica de índice  $f$  e produto acabado de índice  $j$  desta fábrica para o destino (cliente) de índice  $c$ . Este custo é calculado com base no deslocamento entre a base e a origem, origem e a fábrica, a fábrica e o cliente e do cliente à base (vazio), além das operações de carga e descarga na origem, fábrica e cliente e a operação para compatibilizar o transporte em mais de um trecho;

$W'_{eofcjt}$  - é o custo da viagem composta do equipamento do tipo de índice  $e$  realizando o trajeto entre a origem de índice  $o$  para a fábrica de índice  $f$  com a matéria-prima de índice  $t$  e desta fábrica para a origem de índice  $o'$  seguindo para a fábrica de índice  $f'$ , transportando a matéria-prima de índice  $t'$ . Este custo é baseado no deslocamento do veículo, nas operações de carga e descarga e na operação de compatibilização de cargas;

$W_{efc}$  - é o custo da viagem composta do equipamento do tipo de índice  $e$  realizando o trajeto entre a fábrica de índice  $f$  para o destino de índice  $c$  com o produto acabado de índice  $f$  e deste destino para a fábrica de índice  $f$  seguindo para o cliente de índice  $c$ , transportando a matéria-prima de índice  $f$ . Este custo é baseado no deslocamento do veículo, nas operações de carga e descarga e na operação de compatibilização de cargas;

*Nota: A composição dos custos será detalhada no item 3.5*

$Q_e$  - é a capacidade de transporte dos veículos do tipo de índice  $e$ , medido em toneladas;

$P_{oi}$  - é a oferta da origem de índice  $o$  de matéria-prima de índice  $i$ ;

$D_{fi}$  - é a demanda da fábrica de índice  $f$  de matéria-prima de índice  $i$ ;

$P_{fj}$  - é a oferta da fábrica de índice  $f$  de produtos acabados de índice  $j$ ;

$D'_{cj}$  - é a demanda do destino de índice  $c$  de produtos acabados de índice  $j$ .

Para melhor compreensão do problema, e do modelo que será proposto adiante, apresentam-se abaixo a Figura 3. A Figura 3 representa esquematicamente um conjunto de origens (fornecedores), fábricas, destinos (clientes) e veículos.



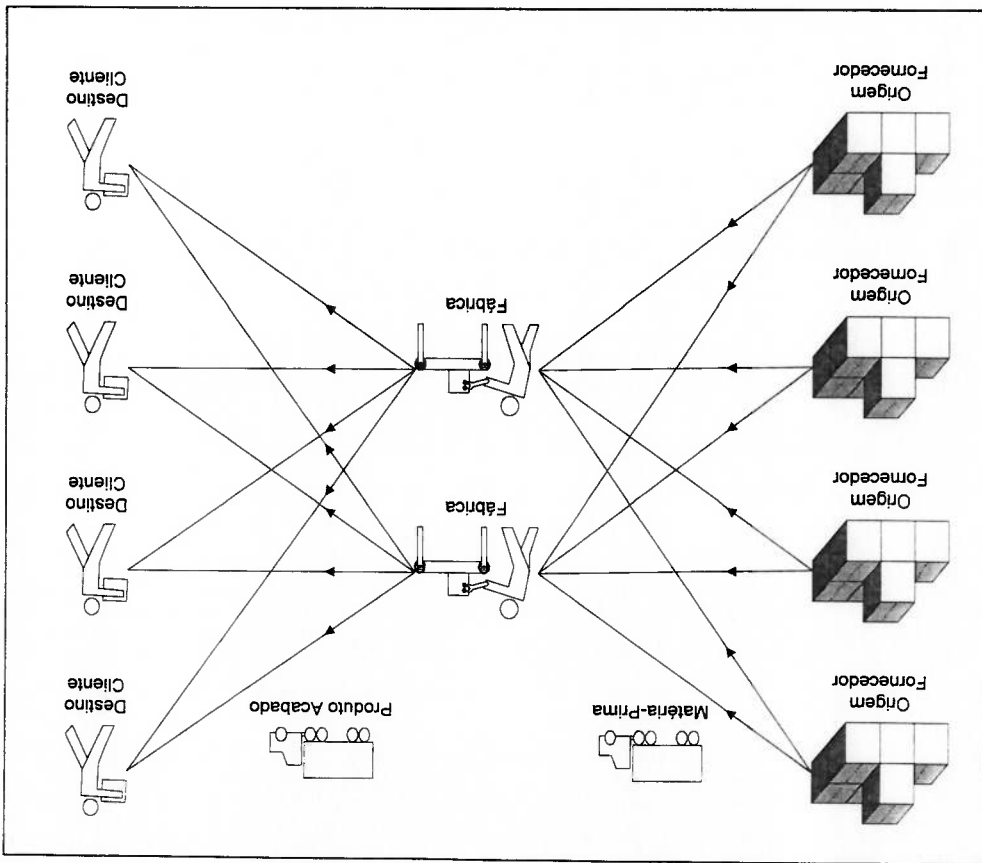


Figura 3 – Esquema de um conjunto de fornecedores, fábricas, clientes e veículos

A Figura 4 e a Figura 5 esquematizam os tipos de veículos.

É importante para determinação do tipo do veículo compatível com a carga a ser transportada, o conceito de caminhão *truck* e carreta, tais conceitos servem para a caracterização algumas das variáveis técnicas utilizadas para elaboração do modelo.

Tal distinção faz se necessária principalmente pela diferença da capacidade de carga possível e permitida pela legislação a cada um desses tipos.

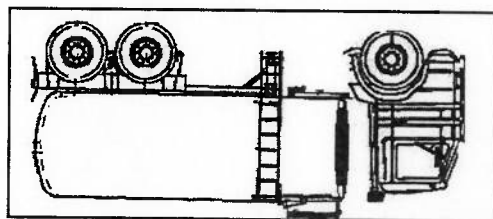


Figura 4 – Ilustração de equipamentos tipo: caminhão Truck

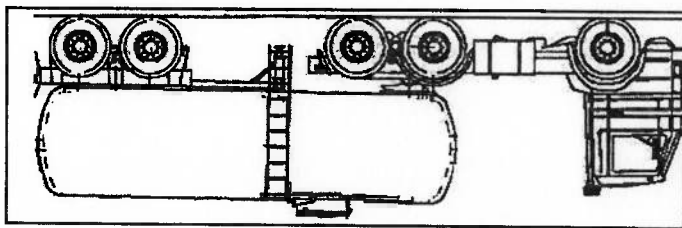


Figura 5 – Ilustração de equipamentos tipo: carreta (cavalo Mecânico e semi reboque tanque).

A legislação leva em conta não só peso bruto total do veículo (PBT), que é a soma de sua tara e da carga líquida; mas cuida também do peso por eixo (na verdade o que importa é a força pontual aplicada no pavimento, expressa pelo peso), raciocínio válido também para caminhões tipo *truck*.

No caso de Carreta (caminhão + semi reboque) pode se considerar duas opções:

- cavalo trator simples (ou cavalo “toco”), por possuir apenas um eixo traseiro acoplado um semi reboque (como no caso do semi-reboque ilustrado na Figura 5 com 2 eixos);
- cavalo trator “trucado”, por possuir 2 eixos traseiros, podendo ser um deles ou os dois com tração (ou simplesmente cavalo “trucado”, como no caso do cavalo mecânico ilustrado na Figura 5) acoplado um semi reboque (também de 3

eixos). A questão do número de eixos é fundamental, frente a legislação, para a determinação da quantidade máxima de carga permitida.

No caso de *trucks* essas considerações são válidas para o caminhão que pode ter um ou dois eixos traseiros.

A legislação brasileira que rege o assunto (conhecida como lei da balança) traz especificamente os seguintes pesos por eixo:

- Simples dianteiro: 6t;
- Simples isolado: 10t;
- Duplo em tandem: 17t;
- Triplo em tandem: 25,5t.

É importante ressaltar que a diferença fundamental entre caminhão e carreta está na articulação. No veículo tipo carreta a ligação entre o veículo trator com o equipamento que contém a carga é feita através de uma articulação sobre o(s) eixo(s); o que não acontece com o tipo *truck*.

Na base de dados e aplicação do modelo proposto, considera - se dois tipos de veículo ( $E=2$ ), onde:

$e_1$  = tipo *truck*; com capacidade  $Q$  de até 15 toneladas;

$e_2$  = tipo “carreta”, com capacidade  $Q$  de 25 toneladas.

Essas capacidades definem a quantidade líquida de carga transportada por viagem e são calculadas com base nas premissas colocadas acima, na legislação vigente, e nas características intrínsecas ao transporte de Líquidos a Granel.

### 3.2 – Variáveis de Decisão

Para o modelo matemático do problema em estudo são definidas as seguintes

variáveis de decisão:

$N_{eof}$  - é o número de viagens do equipamento do tipo de índice  $e$  entre a origem (fornecedor) de índice  $o$  e a fábrica de índice  $f$ , transportando a matéria-prima de índice  $i$ . A Figura 6 mostra o desenho esquemático de uma viagem simples representada pela variável  $N_{eof}$ ;

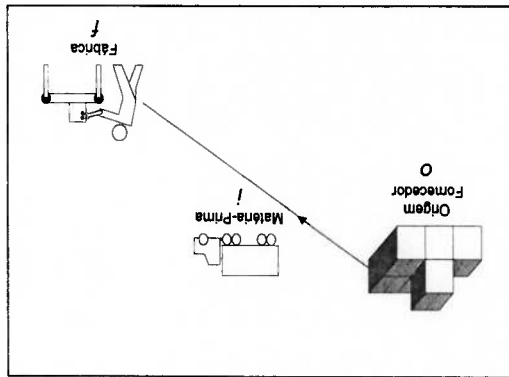
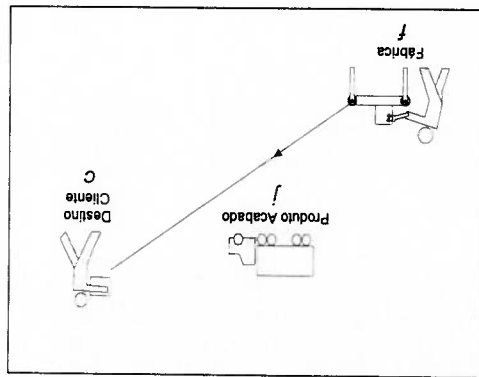


Figura 6 – Esquema de viagem simples para variável  $N_{eof}$ .

$N_{eef}$  - é o número de viagens do equipamento do tipo de índice  $e$  entre a fábrica de índice  $f$  e o destino (cliente) de índice  $c$ , transportando o produto acabado de índice  $j$ . A Figura 7 mostra o desenho esquemático de uma viagem simples representada pela variável  $N_{eef}$ ;

Figura 7 – Esquema de viagem simples para variável  $M_{eofc}$ .



$M_{eofc}$  - é o número de viagens composta do equipamento do tipo de índice  $e$

entre a origem de índice  $o$  e a fábrica de índice  $f$  transportando matéria-prima de índice  $i$ , e desta fábrica para o cliente de índice  $c$ , transportando o produto acabado de índice  $j$ .

A Figura 8 mostra o desenho esquemático de uma viagem composta representada pela

variável  $M_{eofcj}$ .

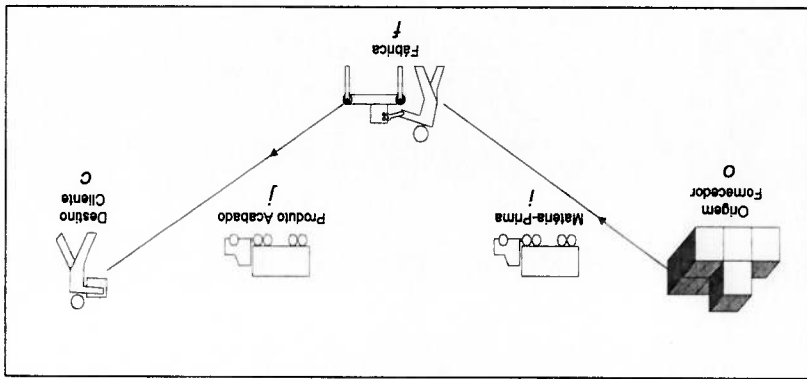


Figura 8 – Esquema de viagem simples para variável  $M_{eofcj}$ .

$M_{eofcj}$  - é o número de viagens do equipamento do tipo de índice  $e$  entre a

origem de índice  $o$  e a fábrica de índice  $f$  transportando matéria-prima de índice  $i$ , e

de uma viagem composta representada pela variável  $M^{efc'j}$ . A Figura 9 mostra o desenho esquemático desta fábrica para a origem de índice  $o'$  seguindo para a fábrica de índice  $f$ , transportando a matéria-prima de índice  $i'$ . A Figura 9 mostra o desenho esquemático

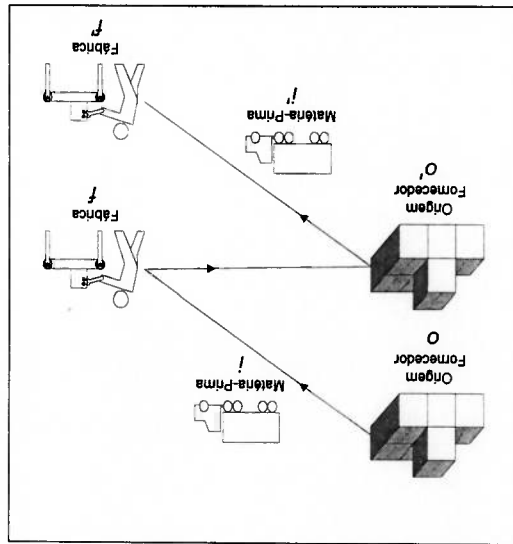


Figura 9 – Esquema de viagem simples para variável  $M^{efc'j}$

$M^{efc'j}$  - é o número de viagens compostas do equipamento do tipo de índice  $e$  entre a fábrica de índice  $f$  e o destino de índice  $c$  transportando produto acabado de índice  $j$ , e deste destino para a fábrica de índice  $f$  seguindo para o destino de índice  $c$ , transportando a matéria-prima de índice  $j'$ . A Figura 10 mostra o desenho esquemático de uma viagem composta representada pela variável  $M^{efc'j}$ .

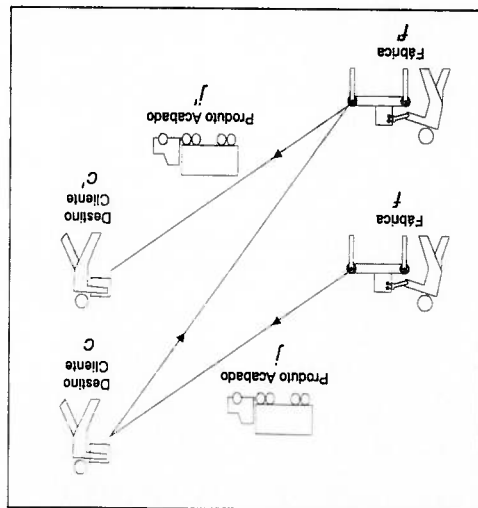


Figura 10 – Esquema de viagem de simples para variável M

### 3.3 – Função objetivo

A função objetivo que minimiza os custos de transporte de matérias primas e produtos acabados é dada pela expressão:

$$\min \left( \sum_{E} \sum_{O} \sum_{F} \sum_{I} \sum_{L} M^{e,o,f,i,l} \times V^{e,o,f,i} + \sum_{E} \sum_{F} \sum_{C} \sum_{J} N^{e,f,c,j} \times V^{e,f,c,j} + \sum_{E} \sum_{O} \sum_{F} \sum_{C} \sum_{L} M^{e,o,f,c,l} + \sum_{E} \sum_{O} \sum_{F} \sum_{C} \sum_{J} M^{e,o,f,c,j} \times W^{e,o,f,c,j} \right)$$

### 3.4 – Restrições

O modelo matemático deve satisfazer as seguintes restrições:  
- Atendimento da oferta de matéria-prima:

$$\sum_{f=1}^F \sum_{e=1}^E (N^{e,o,f,i} \times \bar{O}^e) + \sum_{f=1}^F \sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^E (M^{e,o,f,c,i,j} \times \bar{O}^e) + \sum_{f=1}^F \sum_{o=1}^O \sum_{l=1}^L \sum_{e=1}^E (M^{e,o,f,o',f',i,l} \times \bar{O}^e) \geq P^{o,i}$$

$$i = 1, 2, \dots, I \quad o = 1, 2, \dots, O$$

- Atendimento da demanda de matéria-prima:

$$\sum_{f=1}^F \sum_{e=1}^E (N^{e,o,f,i} \times \bar{O}^e) + \sum_{f=1}^F \sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^E (M^{e,o,f,c,i,j} \times \bar{O}^e) + \sum_{f=1}^F \sum_{o=1}^O \sum_{l=1}^L \sum_{e=1}^E (M^{e,o,f,o',f',i,l} \times \bar{O}^e) \geq D^{f,i}$$

- Atendimento da oferta de produtos acabados:

$$\sum_{c=1}^C \sum_{e=1}^E (N^{e,f,c,j} \times \bar{O}^e) + \sum_{o=1}^O \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L \sum_{e=1}^E (M^{e,o,f,c,l,j} \times \bar{O}^e) + \sum_{f=1}^F \sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^E (M^{e,f,c,f',c',j,j'} \times \bar{O}^e) \geq P^{f,j}$$

$$j = 1, 2, \dots, J \quad f = 1, 2, \dots, F$$

- Atendimento da demanda de produtos acabados:

$$\sum_{f=1}^F \sum_{e=1}^E (N^{e,f,c,j} \times \bar{O}^e) + \sum_{o=1}^O \sum_{f=1}^F \sum_{l=1}^L \sum_{e=1}^E (M^{e,o,f,c,l,j} \times \bar{O}^e) + \sum_{f=1}^F \sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^E (M^{e,f,c,f',c',j,j'} \times \bar{O}^e) \geq D^{c,j}$$

$$j = 1, 2, \dots, J \quad c = 1, 2, \dots, C$$

3.4.1 – Comentários sobre as Restrições e a Desigualdade (maior igual):

As equações das restrições recebem o sinal de  $\geq$  (maior/igual), para que haja a garantia que sempre haverá disponibilidade de produto para ser expedido e transportado.



Os dados utilizados na aplicação do modelo proposto são históricos, assim a restrição “maior igual” garante que pelo menos o mínimo fluxo de matéria prima solicitada seja expedida a partir dos fornecedores para a fábrica; e o mínimo fluxo de produto acabado vendido seja expedido a partir da fábricas para os clientes.

Considera-se que os fornecedores de matéria prima, e as fábricas que produzem o produto acabado, possuem capacidade de geração de produto maior que a demanda. Essa premissa implementada é uma condição inerente ao processo de transporte de produtos a granel.

A explicação para esse fato é simples: mesmo que a demanda em determinado pedido seja exatamente a capacidade de carga para o equipamento de transporte escolhido, a quantidade efetivamente carregada na unidade de transporte não deverá ser a demandada, a variação será na ordem de 0,3 a 1,5% em média.

Em função dessa característica se tivéssemos igualdade nas restrições a oferta total de produto poderia não ser suficiente para atender toda a demanda.

Outro fator importante que justifica essa condição, que será detalhado nos resultados do modelo matemático, é que a demanda deverá representar um número de viagens inteira, gerando viagens para Carretas (25 toneladas) e *Truck* (15 toneladas).

### 3.5 – Detalhamento do cálculo dos custos de transporte

Na Seção 1.3 foi abordado de maneira sucinta como são formados os custos rodoviários e por consequência as tarifas de frete para o transporte de carga geral; nesta seção será abordado a formação de custos para o transporte rodoviário de produtos

químicos, que apesar de fundamentado nas mesmas premissas, difere em aspectos importantes que são peculiares ao segmento.

Utilizando-se da Tabela 1 apresentada na Seção 1.3, mostrar-se-á, com maior detalhamento, formação de custos da carga geral e produtos químicos líquidos, mostrados na Tabela 3 e Tabela 4.

A comparação entre os custos dos dois segmentos é válida para o entendimento da especialização do setor, e o detalhamento dos custos da carga líquida servirá para a formar os custos de uma viagem simples (não composta).

As premissas colocadas acima indicam um transporte bastante mais caro na carga líquida, porém analisando-se os preços praticados no mercado de uma viagem redonda (ou ciclo completo) não é isso que encontra-se.

Como já foi citado, tendo o segmento de carga geral a prerrogativa de realizar o percurso de ida e retorno com carga, o frete total é rateado entre os clientes contratantes, podendo assim praticar maiores lucros, enquanto a carga líquida é obrigada a absorver parte de seus custos que a indústria não aceita assumir totalmente. Em suma enquanto a pressão de custos sobre a carga líquida é maior, a carga geral trabalha com mais folga.

A proposta deste trabalho traz então uma metodologia para compor viagens, otimizando o aproveitamento do veículo, maximizando o deslocamento com carga e minimizando assim o custo global, tornando o segmento mais competitivo com relação à carga geral.

Tabela 3 – Custos Variáveis no Transporte de Cargas Líquidas a Granel

Custo	Carga Geral	Carga Química
01 – Manutenção	Sistema rodante	Sistema rodante; Tanque que contém a carga.
02 – Combustível	O consumo é razão do tipo de veículo, condições do trajeto e quantidade de carga	
03 – Lubrificantes		
04 – Lavagem	Externa simples	Externa e Interna ao tanque que contém a carga, inclui processo de descontaminação visando a prepará-lo para receber a carga. Tratamento e ou descarte dos efluentes sólidos e líquidos gerados no processo de descontaminação.
05 – Pneus	O consumo é razão do tipo de veículo, condições do trajeto e quantidade de carga	
06 - Comissão/ Despesas de Viagem do Motorista	A comissão é normalmente calculada em função da produtividade alcançada pelo motorista.	Comissão por produtividade; Adicional pelo grau de dificuldade e especialização da operação; Adicional de periculosidade (obrigação legal, equivalente a 30% do total da remuneração).
07 – Seguro da Carga	Ad Valorem variando de acordo com a operação em torno de 0,1% do valor da carga	Ad Valorem variando de 0,2 a 0,5% do valor da carga, de acordo com a operação e grau de periculosidade do produto; Seguro ambiental
08 – Pedágios	Função da rota	

Tabela 4 – Custos Fixos no Transporte de Cargas Líquidas a Granel

Custo	Carga Geral	Carga Química
01 – Custo de Capital	Calculada conforme as práticas normais de mercado. Vale observar que para a carga líquida o valor do Semi reboque tanque, ou equipamento que contém a carga pode ser até 4 vezes maior que o da carga geral. Ex.: Semi reboque carga geral comum aproximadamente U\$20 mil; semi Reboque tanque de aço inox padrão alimentício: U\$80 mil.	
02 – Impostos/Licenças/Documentos Obrigatórios	Normais de mercado, sendo que para a carga líquida ainda incidem impostos e taxas específicas (como por exemplo capacitações técnicas emitidas pelo INMETRO)	
03 – Seguro do Equipamento de Transporte	Normais de mercado, sendo valores absolutos maiores para a carga líquida em função do maior valor do investimento.	
04 – Remuneração do Motorista	A parte fixa da remuneração do motorista é normalmente regida pelo sindicato correspondente (ou condições do mercado)	
05 – Remuneração do Pessoal Administrativo	Regida pelo sindicato correspondente (ou condições do mercado)	
06 – Remuneração do Pessoal Operacional	Regida pelo sindicato correspondente (ou condições do mercado), sendo que para a carga líquida faz-se necessário profissionais com maior especialização, que formem um corpo técnico consistente.	
07 – Despesas Adm./Operacionais	Normais e pertinentes ao segmento, com destaque para controles de frota; pneus; combustíveis, etc. Para a carga líquida existem custos adicionais de execução e controle	

Como preparação para a aplicação do algoritmo de otimização deve-se gerar as rotas possíveis, agregando o custo de compatibilização. Partindo-se dos custos expostos acima é preciso acrescentar outros fatores para compor uma viagem, mostrados na Tabela 5.

**Tabela 5 – Outros fatores de Custos no Transporte de Carga Líquida a Granel**

Fator de Custo	Descrição
Deslocamento vazio	Trata-se dos custos fixos e variáveis (já mostrados) para realizar o trajeto do último local de descarga para o próximo local de carga
Descontaminação do caminhão	São os custos relativos aos processos de remoção de todo o resíduo da carga anterior, preparando o veículo para receber a nova carga.
Tratamento dos resíduos	São os custos relativos aos processos de tratamento e ou descarte dos resíduos da descontaminação.
Adequação Física	São os custos da preparação física do veículo para as operações de carga e descarga relativos ao próximo transporte. Ex.: bocais de carga e descarga.
Accessórios	Custos dos acessórios a serem implementados no veículo a fim de atender as exigências dos próximos clientes.

São válidas para as tabelas 3,4 e 5, as observações colocadas para a tabela 1.

Os fatores de custos colocados acima, como foi dito, servem para adequar o veículo a fim que ele realize uma viagem composta, e na notação deste trabalho servirão para cálculo das variáveis:  $W$ ;  $W'$ ;  $W''$ , descritas na início desta seção.

### 3.6 – Considerações sobre a modelagem matemática

A modelagem matemática apresentada, como colocado no Capítulo 2, é uma variação do problema de transporte clássico, onde as variáveis de decisão são o número de viagens simples ou compostas entre fornecedores, fábricas e clientes finais.

São consideradas as ofertas e demandas de matérias primas e as ofertas nas fábricas de produtos acabados e a demanda dos clientes finais.

A grande diferença para problema de transporte é a introdução de viagens compostas, representadas pelas variáveis de decisão (conforme Seção 3.2):

Estas viagens compostas visam o aproveitamento do veículo índice tipo  $e$  em mais de um trecho percorrido, buscando a minimização dos custos totais. Cabe ressaltar, que se houver incompatibilidade entre os produtos transportados nos dois trechos, o custo da viagem será muito alto, inviabilizando a rota composta. Por outro lado, mesmo havendo a compatibilização entre os produtos, o custo da rota composta poderá ou não ser melhor do que a soma dos custos de duas viagens simples para atender a mesma demanda. Como exemplo disso podemos citar dois casos em que se transportam dois produtos compatíveis;

3.6.1 – Exemplo Ilustrativo número 1:

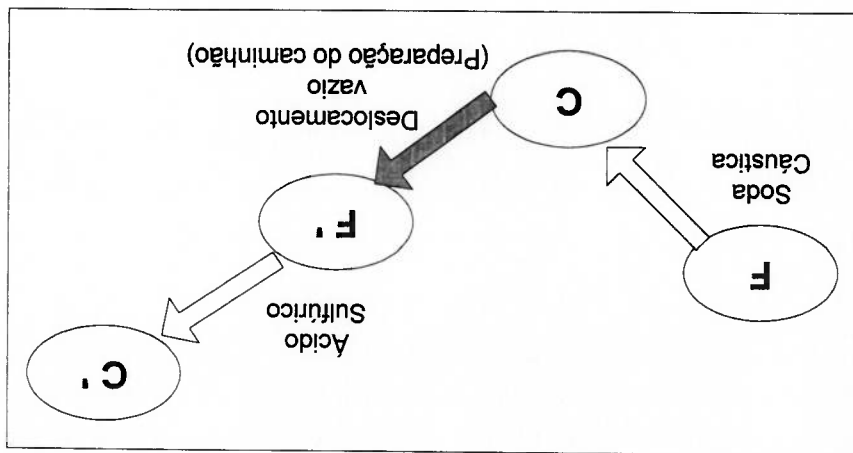


Figura 11 – Exemplo ilustrativo 1

Características do Sistema Proposto	
Tipo de veículo utilizado na viagem simples F-C	Cavalo mecânico e semi reboque tanque com capacidade para 16m3 (25t); construído em aço inox (o mesmo veículo será utilizado na composição da rota)
Densidade dos produtos que compõe a rota.	Compatíveis
Processo de descontaminação	Baixo custo, e tecnicamente simples
Compatibilidade dos tanques das unidades de transporte.	Compatíveis quanto a capacidade volumétrica e construção da unidade de transporte.

**Conclusão:**

O Sistema proposto uma vez tendo sido apontado como rota composta possível, tecnicamente e financeiramente tem ótimas possibilidades de tornar-se viável; e ser efetivado pelo modelo matemático como rota composta (Figura 11).

3.6.2 – Exemplo Ilustrativo 2

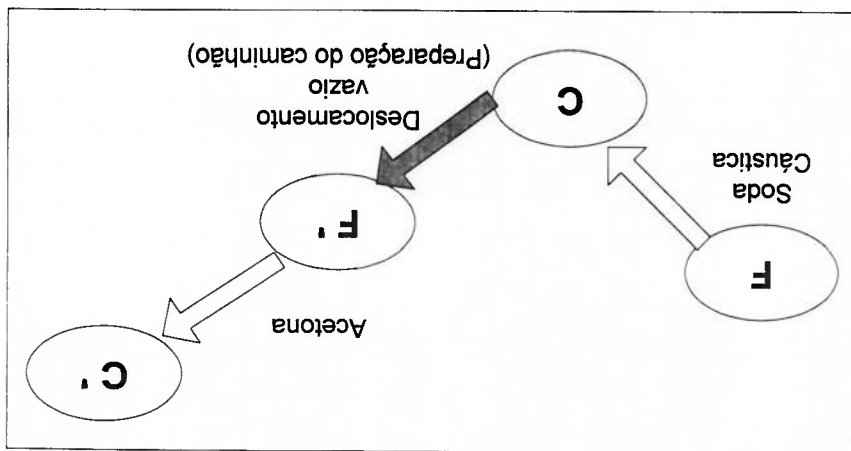


Figura 12 – Exemplo Ilustrativo 2

Características do Sistema Proposto	
Tipo do veículo utilizado na viagem simples F-C (o mesmo veículo será utilizado na composição da rota)	Densidade dos produtos que compõe a rota.
Cavalo mecânico e semi reboque tanque com capacidade para 18m <sup>3</sup> (25t); construído em aço inox	Processo de descontaminação
Incompatíveis	Compatibilidade dos tanques das unidades de transporte.
Baixo custo, e tecnicamente simples	Compatíveis quanto a construção. Incompatíveis quanto a capacidade volumétrica.

**Conclusão:**

O Sistema proposto, se apontado como rota composta possível, apresenta condições técnicas de tornar-se viável; porém não deve ser efetivado pelo modelo matemático como rota composta, por apresentar uma importante restrição econômica: a inadequação volumétrica do tanque para o transporte de acetona (Figura 12).



Nota: Nessa pesquisa está sendo estudada a introdução de rotas compostas, para o transporte de até dois produtos em trechos diferentes de viagem. Tais produtos podem ser duas matérias primas, uma matéria prima e um produto acabado e dois produtos acabados, conforme proposta desse trabalho e detalhados nas próximas seções.

## Capítulo 4 – APLICAÇÃO DA MODELAGEM

### MATEMÁTICA DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Neste capítulo é apresentada uma aplicação prática do modelo matemático proposto no Capítulo 3.

#### 4.1 – Caracterização do Caso escolhido para aplicação da Pesquisa.

O caso escolhido para a aplicação desta pesquisa é real, e com segurança pode representar outras situações semelhantes assim emprestando a metodologia aqui proposta importante aplicabilidade prática.

A Indústria química escolhida para fornecer a base de dados para a pesquisa, é uma multinacional de grande porte instalada no Brasil há mais de 3 décadas e atua nos setores de química fina, produtos intermediários, e de consumo final.

Sua situação pode ser caracterizada pelo que foi exposto no item 1.3.2 alínea D: um complexo industrial em uma única localização geográfica, com o diferencial de possuir essa Indústria outras unidades fabris, de menor porte, em outras localidades .

O principal conjunto de plantas industriais está localizado no estado de São Paulo, mais precisamente na região do eixo Rio de Janeiro/São Paulo, e as unidades complementares estão na Grande São Paulo, Rio de Janeiro, e Pernambuco; já seus Clientes e Fornecedores estão localizados em todas as regiões do País.

As operações de movimentação e transporte de matérias primas e produtos acabados são realizados nas formas: fracionados líquidos e sólidos; graneis líquidos e sólidos. Para a aplicação dessa pesquisa vamos nos ater à movimentação dos graneis líquidos.

O gerenciamento do transporte está centralizado em um ponto na Grande São Paulo, que recebe as solicitações de movimentação de matéria prima e produto acabado de todas as unidades fabris, atendendo cada planta produtiva de forma individual; a Figura 13 mostra, de forma esquemática, o sistema de gerenciamento de transporte da Indústria em questão.

A cada movimentação, ou pedido de transporte, é utilizado o processo descrito, onde a menos que haja um contrato específico de transporte dedicado a atender a demanda. Para esses casos a transportadora previamente contratada realiza as movimentações, porém essas movimentações restringem – se ao contrato. Esse contrato

normalmente exige especialização técnica e dedicação exclusiva, e assim normalmente

gera ociosidade.

Os contratos são exclusivos para atendimento da unidade contratante, assim

mesmo outras plantas localizadas dentro da mesma área não utilizam a ociosidade

gerada.

A forma de gerenciamento do transporte global da indústria garante

normalmente tarifas competitivas, serviços com a qualidade e pontualidade necessárias.

Esse gerenciamento porém não é um sistema que garante a máxima otimização dos

recursos, isso ocorre porque não há nenhuma integração entre os transportes efetuados,

não existe a figura do Operador Logístico, portanto a Indústria escolhida não compõe

rotas.

A dissertação então utilizará a base de dados dos transportes realizados, que por

tratar de valores históricos acaba por demonstrar que a atuação do Operador Logístico

traria ganhos importantes.

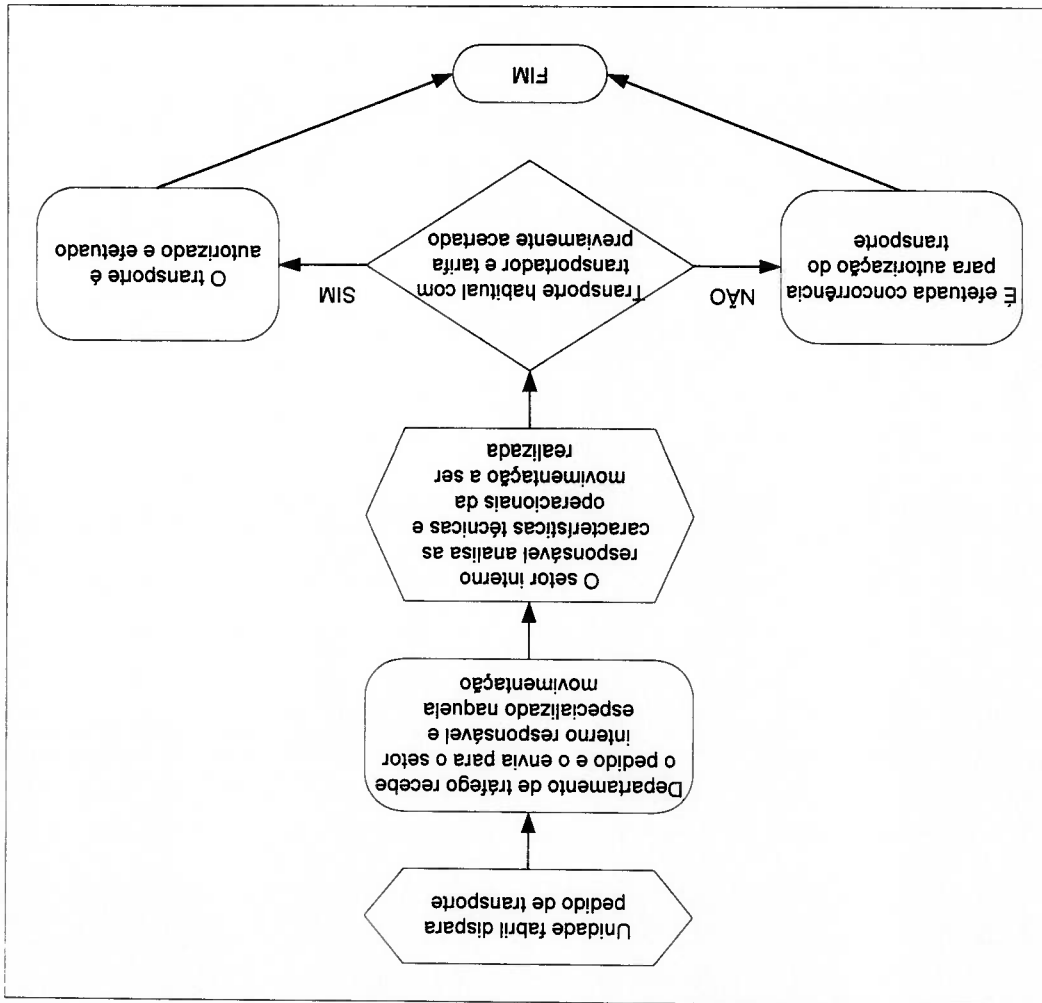


Figura 13 – Gerenciamento de transportes da empresa

4.2 – Base de dados para a implementação do modelo Matemático de Programação Linear.

A indústria química utilizada para a pesquisa movimenta cento e trinta e dois produtos líquido à granel totalizando cerca de 10 mil toneladas por ano. Os produtos escolhidos para essa etapa da pesquisa são a resultante da movimentação de cerca de 3 meses de operação.

Foram destacados tanto matérias primas quanto produtos acabados, consumidos e expedidos por todas as plantas do complexo de São Paulo, e de todas as outras unidades fabris.

A Tabela 6 traz a relação com todos os produtos e suas principais características técnicas relevantes para o transporte, origem, destino e demanda.

Para compor a tabela 6, foram tomados os pedidos entregues dia a dia durante os três meses de análise da operação, agrupando os produtos conforme origem/destino e somando se as respectivas demandas.

Tabela 6 – Produtos utilizados na Modelagem Matemática.

Produto	Característica	Origem	Destino	Demanda (ton.)
Acetato de Butila	Solvente Orgânico	PAULINIA	SAO BERNARDO	25
Acetato de Butila	Solvente Orgânico	SANTOS	SAO BERNARDO	475
Acetato de Etila	Solvente Orgânico	MOGI MIRIM	GUARATINGUETA	25
Acetato de Etila	Solvente Orgânico	PAULINIA	GUARATINGUETA	15
Acetato de Etila	Solvente Orgânico	PIRACICABA	GUARATINGUETA	25
Acetato de Etila	Solvente Orgânico	SANTOS	GUARATINGUETA	15
Acetato de Vinila	Solvente Orgânico	RECIFE	JABOATAO	350
Acetato de Vinila	Solvente Orgânico	SANTOS	GUARATINGUETA	125
Acetato de Vinila	Solvente Orgânico	SANTOS	SANTA CRUZ/RJ	2475
Acetato de Vinila	Solvente Orgânico	SANTOS	SAO BERNARDO	4200
Acetato de Vinila	Solvente Orgânico	SAO PAULO	SAO BERNARDO	150
Ácido Sulfúrico	Ácido Inorgânico	BELF ROXO	GUARATINGUETA	1475
Ácido Sulfúrico	Ácido Inorgânico	BELF ROXO	SAO CAETANO	50
Ácido Sulfúrico	Ácido Inorgânico	CUBATAO	GUARATINGUETA	100
Ácido Sulfúrico	Ácido Inorgânico	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	500
Acronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	COTIA	15
Acronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	FRANCO DA ROCHA	125
Acronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	GUARULHOS	50
Acronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	SAO J. DOS PINHAIS	100
Acronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	SAO PAULO	200
Acronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	DIADEMA	75
Acronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	VINHEDO	50
Acronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	COTIA	10
Afranil	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	TELFMACO BORBA	125
Água Raz	Solvente Orgânico	D.CAXIAS	SANTA CRUZ/RJ	175
Água Raz	Solvente Orgânico	PAULINIA	SAO BERNARDO	2200
Água Raz	Solvente Orgânico	PAULINIA	SAO CAETANO	25
Água Raz	Solvente Orgânico	PORTO ALEGRE	SAPUCAIA	50
Água Raz	Solvente Orgânico	RIO DE JANEIRO	SANTA CRUZ/RJ	25
Água Raz	Solvente Orgânico	RIO DE JANEIRO	SAO BERNARDO	675
Água Raz	Solvente Orgânico	RIO DE JANEIRO	SAO CAETANO	125
Álcool Etilico	Solvente Orgânico	OSASCO	SAO BERNARDO	50
Álcool Etilico	Solvente Orgânico	PORTO FELIZ	GUARATINGUETA	15
Álcool Etilico	Solvente Orgânico	PORTO FELIZ	SAO BERNARDO	90
Cola Bastani Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	COTIA	10
Cola Bastani Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	DIADEMA	25
Cola Bastani Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	JACAREI	25
Cola Bastani Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	GUARULHOS	25
Cola Bastani Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	SIDEROPOLIS	25
Cola Bastani Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	COTIA	15
Cola Bastani Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	DELFTIM MOREIRA	25
Cola Bastani Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	BLUMENAU	55
Cola Bastani Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	JACAREI	75
Cola Bastani Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	BLUMENAU	95

Tabela 6 – Produtos utilizados na Modelagem Matemática (continuação).

Produto	Característica	Origem	Destino	Demanda (ton.)
Cola Bastani Todos	Resina/Adesivo Industrial	SAO BERNARDO	CASTELO	25
Disp.Copolim.	Resina/Adesivo Industrial	SANTA CRUZ/RJ	SAPUCAIA/FAB	175
Estireno	Solvente Orgânico	CUBATAO	SAO BERNARDO	375
Estireno	Solvente Orgânico	GUARATINGUETA/FAB	SAO BERNARDO	175
Estireno	Solvente Orgânico	GUARUA	GUARATINGUETA	775
Estireno	Solvente Orgânico	GUARUA	SAO BERNARDO	275
Estireno	Solvente Orgânico	SANTOS	GUARATINGUETA	2850
Estireno	Solvente Orgânico	SANTOS	SAO BERNARDO	550
Estireno	Solvente Orgânico	SAO BERNARDO/FAB	GUARATINGUETA	75
Helizarin Binder LB 410	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	BLUMENAU	50
Helizarin Binder LB 410	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	MONTES CLAROS	50
Metanol	Solvente Orgânico	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	400
Soda Cáustica	Base (alcalino) inorgânico	CUBATAO	GUARATINGUETA	325
Soda Cáustica	Base (alcalino) inorgânico	CUBATAO	SAO CAETANO	425
Soda Cáustica	Base (alcalino) inorgânico	GUARUA	GUARATINGUETA	875
Sokalan	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	AMPARO	25
Solvente AB	Solvente Orgânico	PAULINIA	SAO BERNARDO	25
Solvente AB	Solvente Orgânico	SANTO ANDRE	GUARATINGUETA	25
Solvente AB	Solvente Orgânico	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	265
Solvente AB	Solvente Orgânico	SANTOS	SAO BERNARDO	15
Solvente AB	Solvente Orgânico	SANTOS	SAO BERNARDO	60
Solvente AB	Solvente Orgânico	TRIUNFO	SAO BERNARDO	50
Solvente AB	Solvente Orgânico	TRIUNFO	SAO BERNARDO	50
Solvente para Borracha	Solvente Orgânico	PAULINIA	SAO BERNARDO	75
Syrofan Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	CAPIVARI	50
Syrofan Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	DIADEMA	200
Syrofan Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	JABOATAO	75
Syrofan Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	SAO BERNARDO	25
Syrofan Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	VARGINHA	75
Syronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	JUNDIAI	25
Syronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	PIRACICABA	100
Syronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	SANTA LUZIA	25
Syronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	CORDEIROPOLIS	50
Syronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	EMBU	75
Syronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	LIMEIRA	225
Syronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	TIMBO GRANDE	75
Syronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	TURVO	125
Syronal Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	SUZANO	550
Sulfato de Al	Sal Inorgânico Líquido	CRUZEIRO	GUARATINGUETA	25
Sulfato de Al	Sal Inorgânico Líquido	PORTO FELIZ	SAO CAETANO	175
Sulfato de Al	Sal Inorgânico Líquido	RIO CLARO	GUARATINGUETA	250
Sulfato de Al	Sal Inorgânico Líquido	SANTO ANDRE	SAO CAETANO	15



Tabela 6 – Produtos utilizados na Modelagem Matemática (continuação).

Produto	Característica	Origem	Destino	Demanda (ton.)
Toluol	Solvente Orgânico	CUBATAO	SAO BERNARDO	50
Toluol	Solvente Orgânico	PORTO ALEGRE	GUARATINGUETA	15
Toluol	Solvente Orgânico	TRIUNFO	GUARATINGUETA	50
Trilon Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	RIO DE JANEIRO	75
Trilon Todos	Resina/Adesivo Industrial	GUARATINGUETA	ARACRUZ	100
Vinofan BA 610	Resina/Adesivo Industrial	SAO BERNARDO	GUARULHOS	200
Xilol	Solvente Orgânico	CUBATAO	SAO BERNARDO	325
Xilol	Solvente Orgânico	PAULINIA	SAO BERNARDO	25
Xilol	Solvente Orgânico	PORTO ALEGRE	SAO BERNARDO	425
Xilol	Solvente Orgânico	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	375
Xilol	Solvente Orgânico	SANTOS	SAO BERNARDO	100
Xilol	Solvente Orgânico	TRIUNFO	SAO BERNARDO	200

### 4.3 – Geração da rotas compostas possíveis

Nessa modelagem está sendo estudada a introdução de rotas compostas, para o transporte de até dois produtos em trechos diferentes de viagem. Tais produtos podem ser duas matérias primas, uma matéria prima e um produto acabado e dois produtos acabados.

Ainda sem considerar as restrições quanto às compatibilizações técnicas e operacionais, mas sim analisando-se somente os aspectos logísticos, o número de rotas compostas totais pode ser muito grande caso existam muitas matérias primas, fornecedores, fábricas, produtos acabados e clientes finais.

Da prática sabe-se que as viagens compostas são possíveis basicamente em duas situações, a saber:

- aquelas tais que destino e origem subsequente são próximos;

- o trecho entre o destino e a origem subsequente é longo, porém o destino está próximo à rota de retorno à base.

Poder-se-ia determinar critérios prévios para verificar se as rotas compostas geradas são possíveis ou não, porém o modelo matemático realiza essa verificação como procedimento normal, por meio da comparação de custos das rotas simples e compostas.

O procedimento para escolha realizada pelo modelo tem como fator de decisão os menores custos (agora já considerando os aspectos de compatibilização técnica) para atender a demanda determinada; que como visto são agrupados nos conceitos de custos fixos e variáveis:

Os custos variáveis tem como fator preponderante a distância percorrida, e as despesas incorridas com a adequação do veículo (principalmente descontaminação para realizar a próxima carga.

A cada quilômetro percorrido alocam-se as principais despesas com combustível, pneus e manutenção. Já as despesas com a compatibilização técnica poderá ser realizada na Base do Operador Logístico, ou em um prestador de serviço previamente contratado, sempre com custos conhecidos.

Os custos fixos têm como principal fonte o capital aplicado, e esse é amortizado com o tempo de utilização do caminhão; onde incluem-se o tempo de trajeto, os tempos de operações de carga e descarga, e os tempos de preparação (manutenção, descontaminação, etc.); portanto mensurável e incorporado na análise realizada pelo modelo matemático

Cabe ressaltar que aquelas viagens compostas com produtos tecnicamente incompatíveis (naquele deslocamento temporal) não são geradas pois o custo com a compatibilização/descontaminação tende a infinito.

Todas as combinações viáveis de até duas rotas compostas (OFC, OFO?F?, FCF?C?) foram consideradas. Caberá ao modelo decidir considerar rota composta viável ou não cada uma delas, em função dos parâmetros de custos aplicados.

A composição dos custos de transporte foi detalhada no Capítulo 3 Seção 3.5.

#### 4.4 – Metodologia para implementação do modelo matemático

A implementação computacional do modelo matemático proposto no capítulo 3 fez-se por meio de duas ferramentas computacionais: *Microsoft® Excel 97* e *GAMS® (General Algebraic Modeling System) versão 2.25 CPLEX*, ambos os programas funcionando em ambiente *Windows® 98*. O programa *Microsoft® Excel 97* é planilha eletrônica de dados, com vários recursos de formatação e manipulação de dados; o programa *GAMS* é uma biblioteca de algoritmos de solução de modelos matemáticos.

O programa *Microsoft® Excel 97* foi utilizado para a manipulação da base de dados, conversão dos valores em índices e vice-versa e manipulação dos valores de saída; o programa *GAMS* foi utilizado para a modelagem e resolução do problema. A operação destes programas pode ser resumido conforme os seguintes procedimentos:

- a base de dados é processada pelo programa *Microsoft® Excel 97* que gera os arquivos de dados para o programa *GAMS*;

- o programa GAMS modela e resolve o problema, gerando os resultados em um arquivo de saída;
- o programa Microsoft® Excel 97 processa o arquivo de saída gerado pelo programa GAMS e organiza os dados em planilhas.

Por tratar-se de um modelo linear inteiro, era de se esperar que haveria dificuldades na resolução do problema. Por este motivo, adotou-se uma metodologia em que foram submetidos a testes modelos em dificuldade de resolução crescente. Com esta metodologia, pode-se avaliar o desempenho do programa GAMS e sua eficiência na resolução do problema.

Os modelos adotados têm as seguintes designações (em ordem crescente de dificuldade de resolução): “básico real”; “básico inteiro”; “OFC” e “ALL”. Os seguintes aspectos são característicos de cada modelo:

- “básico”: são os resultados obtidos para aplicação do modelo sem nenhuma compatibilização ou geração de rotas compostas, ou seja toda a demanda é atendida somente com rotas simples. O modelo “básico real” considera as viagens como variáveis reais e o “básico inteiro” considera-os como variáveis inteiras.
- “OFC”: são os resultados obtidos através de uma compatibilização parcial, ou seja, com a composição de rotas tipo OFC (Origem, Fábrica, Cliente) em que a composição se dá conforme a Figura 14. As variáveis são todas inteiras.

- “ALL”: são os resultados obtidos para a aplicação do modelo de Programação Linear compatibilizando produtos e gerando todas as rotas compostas possíveis. As variáveis são todas inteiras.

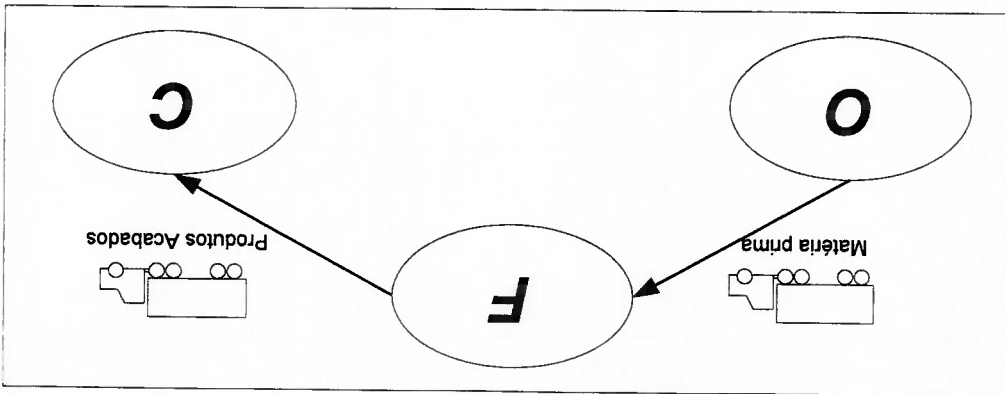


Figura 14 – Ilustração de rota tipo OFC

Na utilização do programa GAMS foi necessário uma reorganização do modelo de modo que os arquivos da base de dados e a geração das variáveis não fossem tão esparsos (muitos elementos com valores não utilizados). Nesta reorganização optou-se por compactar os índices de origem ( $o$  e  $f$ ), destino ( $f$  e  $c$ ) e produto ( $i$  e  $j$ ) em um único índice, denominado de rotas de produtos ( $ri$  e  $rj$ ). A utilização deste recurso de compactação não altera a formulação do modelo matemático.

A Tabela 7 mostra o número de variáveis (igual ao número de parâmetros de entrada) gerado pelo modelo matemático original e pelo modelo matemático compacto. A taxa de utilização é a razão entre o número de variáveis utilizadas e o número de variáveis geradas, e demonstra o quão esparsos é o modelo original. Esta tabela mostra o ganho obtido no armazenamento de dados, tratando-se, simplesmente, de um recurso computacional.

**Tabela 7 – Comparação de variáveis do modelo original e compacto.**

Modelo	Variáveis		Taxa de Utilização Para os dados originais
	Original	Compacto	
Básico	7.200	198	0,0275
OFC	1.082.400	4.834	0,0045
All	14.100.000	15.164	0,0011

Convem mencionar que, sem este recurso de compactação do modelo matemático original, a resolução do modelo no programa GAMS ficaria comprometida devido à alta necessidade de recursos de armazenagem (memória RAM).

No Anexo 1 encontram-se as tabelas de conversão de índices para nomes e vice-versa utilizados pelo programa *Microsoft® Excel 97*. Na próxima seção serão apresentados os resultados computacionais e serão discutido a metodologia em o desempenho do programa GAMS e função dos valores obtidos.

#### 4.5 – Resultados computacionais

Para a obtenção dos resultados do modelo matemático utilizou-se um microcomputador com as seguintes configurações:

- microprocessador: Pentium II Intel® 400 Mhz MMX;
  - memória RAM: 64 MB.
- O programa GAMS foi configurado com os seguintes parâmetros:
- modo de resolução : CPLEX;
  - número máximo de interações (*interlim*) : 30.000;

- limite de tempo (*reslim*): 3.600 sec.

No Anexo 3 encontram-se as listagens dos modelos “básico real”, “básico inteiro”, “OFC” e “ALT”. No Anexo 4 estão as listagens completas de todos os resultados.

A Tabela 8 mostra um resumo das mensagens referentes à condição do modelo (*Model status*) e à condição do método de resolução (*Solver status*) quando foi finalizado o processamento; (*Relative Gap*) indica a distância relativa entre a *Final LP* (BF) e o *Best Integer* (BP). O *Solver* termina as interações quando esta distância relativa for menor do que um valor estabelecido (valor *default* = 0,05). Esta distância é determinada pela seguinte fórmula:

$$REL.GAP = \frac{|BP - BF|}{1.0 + |BP|}$$

Tabela 8 – Mensagens referentes à condição do modelo (*Model status*) e à condição do método de resolução (*Solver status*) ao final do processamento.

Modelo	SOLVER STATUS	MODEL STATUS	RELATIVE GAP
Básico real	Normal Completion	Optimal	
Básico inteiro	Terminated by Solver	Integer Solution	0,03122
OFC	Terminated by Solver	Integer Solution	0,02690
ALT	Terminated by Solver	Integer Solution	0,02973

O programa termina as interações porque atingiu o limite estabelecido para o *Relative Gap* ( $Relative\ Gap \leq 0,05$ ).

Na Tabela 9 é apresentado um resumo dos resultados obtidos em números de viagens. A Tabela 10 apresenta os mesmos resultados convertidos em custos.

Tabela 9 – Resumo dos resultados do modelo matemático - viagens

Número de viagens completas							
Modelo	Veículos	OF	FC	OFC	OF OF	FC FC	TOTAL
Básico_Real	SR	904,40	124,00				1028,40
	TR						
Básico_Inteiro	SR	902,00	131,00				1033,00
	TR	19,00	9,00				28,00
OFC_Inteiro	SR	780,00	15,00	122,00			917,00
	TR	19,00	2,00	2,00			23,00
All_Inteiro	SR	90,00	2,00	120,00	354,00	9,00	575,00
	TR	4,00	0,00	0,00	1,00	0,00	5,00

Tabela 10 – Resumo dos resultados do modelo matemático - custos

Custo Total							
Model	Veículos	OF	FC	OFC	OF OF	FC FC	TOTAL
Básico_Real	SR	622752,82	144905,68				R\$ 767.658,50
	TR						
Básico_Inteiro	SR	627076,45	157233,30				R\$ 784.309,75
	TR	7399,96	5279,56				R\$ 12.679,52
OFC_Inteiro	SR	542797,25	30458,00	150675,45			R\$ 723.930,70
	TR	7639,50	1127,37	1741,08			R\$ 10.507,95
All_Inteiro	SR	48740,25	680,20	148738,25	342191,70	22683,50	R\$ 563.033,90
	TR	1389,91	0,00	0,00	2499,38	0,00	R\$ 3.889,29

Cabe ressaltar que:

- Quando o modelo é processado sem as variáveis inteiras (Básico Real), os resultados mostram as viagens realizadas somente por carretas, cujo custo por tonelada transportada, que se reflete no custo por viagem, é menor que o custo por tonelada transportada pelo *truck*;
- O modelo Básico Inteiro apresenta algumas viagens por *truck*, visto que a aproximação para número inteiro de viagens, beneficia pequenas quantidades a



serem transportadas por esse tipo de veículo, cujo valor absoluto por viagem é menor que o custo de uma viagem com carga completa de carreta. Esse resultado de um misto de viagens por carretas e *trucks* já assemelha-se aos resultados práticos desse transporte na indústria que forneceu os dados;

- O modelo “OFC”, em comparação com o modelo Básico Inteiro, mostra que o objetivo principal do trabalho é alcançado, pois onde há compatibilização de cargas e redução de custos com a composição de rotas, trocam-se viagens simples por compostas.

• O modelo completo denominado “ALL”, com todos os tipos possíveis de 2 rotas compostas com carga, aprimora ainda mais os resultados, inserindo mais rotas compostas e reduzindo o número de viagens simples.

#### 4.6 – Dimensionamento da frota

O resultado da modelagem matemática expressa o número de viagens, simples ou compostas de cada veículo em cada rota, para atender as demandas e ofertas de matérias primas e produtos acabados; e a quilometragem percorrida em cada trecho. No entanto, a frota necessária de veículos é decorrência desse último resultado.

Como premissa básica da modelagem matemática, as ofertas e demandas a serem movimentadas estarão disponíveis a qualquer momento naquele período de tempo em estudo e não são considerados os picos de demanda e as janelas de tempo para entrega nos clientes.

Cabe ressaltar que existem frações de frota apuradas (define-se frações de frota quando um pedido não preenche um número inteiro de caminhões), porém como trata-se de um único operador logístico e uma única base essas frações são imediatamente disponibilizadas e alocadas para a próxima rota a ser cumprida. Desta forma, atinge-se o objetivo do operador, que é não permitir nenhuma ociosidade de frota, mas sim otimizar ao máximo seus recursos. No momento em que existe nova viagem e não há unidade de transporte disponível (em função de janela de tempo e/ou demandas inesperadas, por exemplo) agrega-se à frota efetiva unidades de transportes suplementares, que poderão ser próprias ou terceirizadas.

A saída do modelo matemático de Programação Linear oferece resultados expressos em custos e/ou quilometragem percorrida e/ou número de viagens (simples e compostas) realizadas.

Para tanto, é importante conhecer e comparar a frota de veículos utilizada para atender a demanda requerida utilizando se somente viagens simples (antes da aplicação do modelo proposto), e novamente dimensionar a frota com o sistema otimizado (composto rotas).

A partir da distância total percorrida em quilômetros, obtida com a aplicação do modelo, é possível dimensionar a frota de veículos necessária para realizar o transporte demandado com confiabilidade.

Para o cálculo do dimensionamento, além da quilometragem percorrida, é preciso utilizar um conjunto de premissas técnicas, operacionais e legais, que acabam por definir a capacidade de produção, expressa em quilômetros que um veículo pode realizar em período conhecido, e por conseguinte a quantidade de veículos para realizar todo o transporte demandado.

A Tabela 11 demonstra o cálculo da capacidade de produção por veículo por mês, cujo resultado é 12064 km; ou seja para as características da operação utilizada como “estudo de caso” um caminhão (tipo carreta ou *truck*) pertencente a um conjunto de veículos que forma a frota do operador logístico, pode percorrer uma distância de 12064 km em um mês de trabalho.

**Tabela 11 - Capacidade de Produção da Unidade de Transporte**

Premissa/Cálculo da capacidade de produção por veículo		Un.	Observação
1	Tempo médio total por operação de carregamento	h	Inclui todos os processos administrativos, burocráticos e de operação
2	Velocidade média (já ajustada para a operação em estudo)	km/h	Média considerada para percursos com trechos urbanos e rodoviários
3	Tempo médio total por operação de descarga	H	Inclui todos os processos administrativos, burocráticos e de operação
4	Número de operações de carga ou descarga realizadas por dia	un	A característica dessas operações e distâncias envolvidas, geram (via de regra) carga no dia e descarga no dia seguinte
5	Motoristas por veículo	un	Não há substituição de motoristas durante a viagem, nem produção nos períodos noturnos
6	Horas disponíveis por motorista por dia de trabalho (art. 62 da CLT)	h	Legislação brasileira vigente e pertinente
7	Horas úteis (efetivamente produtivas em operação de carga/transporte/descarga)	h	Descontados tempos para paradas técnicas e alimentação do motorista
8	Horas efetivamente em operação de transporte (rodando)	h	Além de descontados os tempos para paradas técnicas e alimentação do motorista, as operações de carga ou descarga
9	Capacidade de produção por motorista por dia de trabalho	km	Cálculo com base nas premissas apresentadas
10	Dias de trabalho no mês	Un	Uma folga semanal

**Capacidade de Produção por veículo 12064 mês**

A Tabela 12 mostra o cálculo da frota do modelo de Programação Linear expressos em quilometragem percorrida na base de dados.

**Tabela 12 – Cálculo do Frota**

Modelo	Veículo	OF (km)	FC (km)	OFC (km)	OF <sub>-</sub> OF (km)	FC <sub>-</sub> FC (km)	TOTAL (km)	Frota (un)
Básico	SR	553.154,0	127.758,0	0,0	0,0	0,0	680.912,0	56,4
Básico	TR	12.947,0	6.133,0	0,0	0,0	0,0	19.080,0	1,6
OFC	SR	472.032,0	23.696,0	136.992,0	0,0	0,0	632.720,0	52,4
OFC	TR	12.742,0	1.283,0	2.921,0	0,0	0,0	16.946,0	1,4
ALT	SR	111.598,0	509,0	142.052,0	343.723,0	22.004,0	619.886,0	51,4
ALT	TR	1.204,0	0,0	0,0	2.985,0	0,0	4.189,0	0,3

É importante notar que a medida que a implementação do modelo evolui nas parciais de compatibilização de rotas, a quilometragem total percorrida, para realizar toda a demanda de transporte requerida, diminui. O fato comprova a eficácia da proposta já que é necessário menos quilômetros para realizar as mesmas viagens; isso porque os trechos percorridos sem carga são menores.

A compatibilização de rotas maximiza os recursos, a medida que é preciso menor frota para realizar o mesmo trabalho, frota esta apurada através das saídas do modelo expressas em Km, e transformada em número de equipamentos através da metodologia apresentada na seção 4.6.

A frota menor para a mesma quantidade de carga transportada corresponde a uma maior diluição dos custos fixos, ou seja um montante de custos fixos menor é rateado de forma mais otimizada.

Para o período compreendido na aplicação dos dados, e tendo toda a demanda atendida, nota - se sensível redução de frota da condição inicial ("Básico") para a condição de máxima de otimização ("ALL"), redução expressa na Tabela 13.

Tabela 13 – Reduções com a Aplicação do Modelo Matemático.

Tipo de equipamento	Unidades de transporte	Km percorrida	Redução	
			Percentual em relação a frota inicial	
Carreta	5,0	61.026	9,04 %	
Truck	1,3	14.891	75,00 %	
Total	6,3	75.917	10,86 %	

## Capítulo 5 – HEURÍSTICA PROPOSTA

### 5.1 – O objetivo da Heurística frente ao Modelo Matemático

Foi implementada, conforme proposta desta dissertação, uma Heurística com a finalidade de confrontar os resultados obtidos através do modelo matemático apresentado no Capítulo 3, e ao mesmo tempo conferir-lhe um caráter prático, permitindo a inserção de situações mais realistas que são inerentes às atividades do Operador Logístico, tais como:

- a sazonalidade das vendas ao longo do período de análise;
- janelas de tempo oriundas das restrições de recebimento e expedição das fábricas envolvidas, essas janelas basicamente enquadraram as operações de carga e descarga ao horário comercial;
- janelas de tempo oriundas das características do modal rodoviário, ou seja restringindo a 12 horas diárias a movimentação da unidade de transporte, o que equivale a carga horária de trabalho do motorista.

Sabe-se que modelos matemáticos, como o desenvolvido nessa pesquisa, buscam soluções ótimas maximizando resultados ou minimizando custos; porém nem sempre as soluções são factíveis, isto quando o modelo não representa bem a realidade. Questões de mercado, momentos econômicos, sazonalidades, políticas de estoque dos clientes; janelas e restrições de tempo entre outros, são motivos que tornam a solução ótima do modelo matemático distante do possível e justificam a elaboração da Heurística.

Nesta etapa do trabalho, pretende-se dimensionar (ou estimar com a precisão possível) a frota utilizada, obedecendo algumas condições reais do sistema, elaborando e implementando uma Heurística para o atendimento dos pedidos.

A Heurística proposta obedece rigorosamente os mesmos volumes ofertados e demandados considerados na implementação do modelo matemático; nesta etapa porém os pedidos de transporte são atendidos exatamente em concordância com as necessidades das fábricas e dos clientes, ou seja no momento em que a solicitação de carga acontece.

## 5.2 – As Ferramentas e mecanismos para a elaboração da Heurística.

A Heurística foi implementada através de um modelo computacional em Microsoft Excel® com saída gráfica através de recursos do Visual Basic®, que elabora uma tabela dos pedidos por produto e itinerário. Esta tabela possibilita a visualização

dos pedidos ao longo do período estudado, alocando frotas disponíveis a medida que os pedidos são gerados.

A Figura 15 representa a rotina que a Heurística realiza, através do mecanismo de pedido de transporte e programação da frota de veículos, para viagens simples e para viagens compostas.

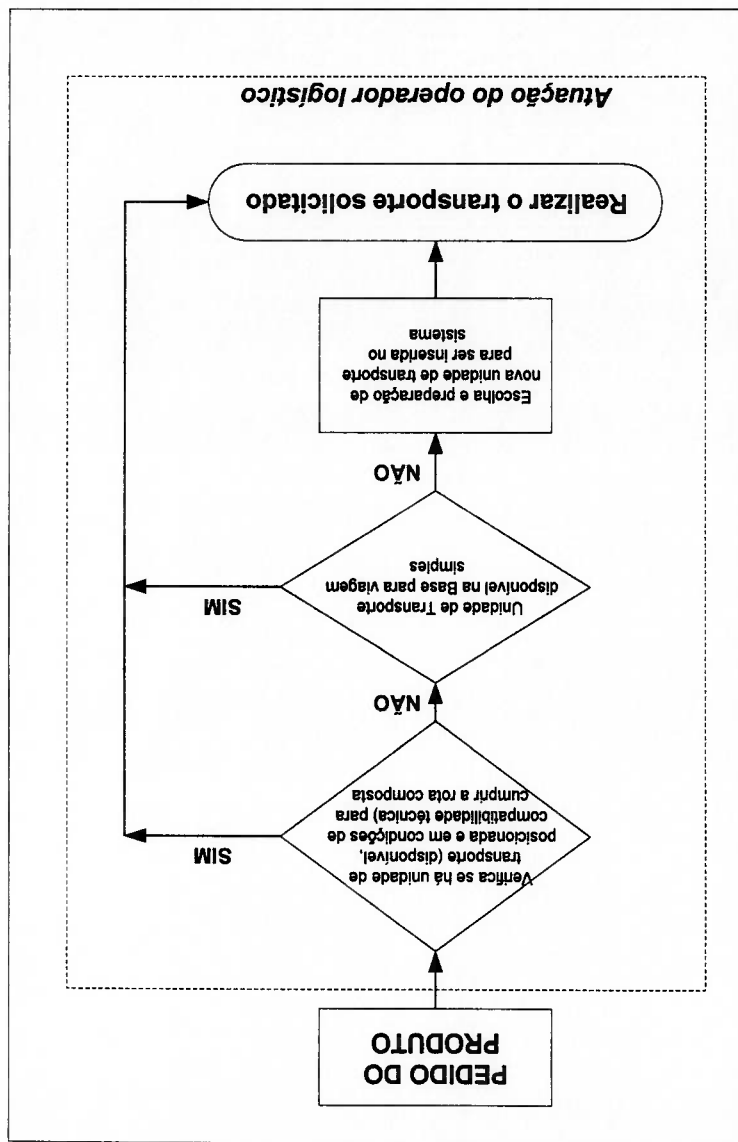


Figura 15 - Mecanismo de Atendimento dos Pedidos e Programação da Frota para viagens simples e compostas.



Na prática, a rotina de programação de viagem mais bem apurada e elaborada pode gerar um mecanismo de alocação de frota, e aqui utilizado para a elaboração de Heurística computacional proposta nessa pesquisa.

O mecanismo de alocação e programação de frota apresentado, tem como foco principal o Operador logístico. Ao contrário do praticado pela grande parte dos gestores de cargas e transportes, que descentralizam a forma de contratação e/ou alocação de frota; o operador logístico coleta todas as necessidades dos usuários de transporte e visando ganho de escala e otimização das unidades de transporte busca a composição de rotas. Pode – se descrever o mecanismo apresentado em etapas, através do que segue:

1. A fábrica dispara o pedido de matéria prima; ou o cliente faz o pedido de compra.

Na etapa inicial do processo o Operador Logístico tem pouca ou nenhuma influência, já que os pedidos de carga não tem como objetivo privilegiar o sistema de transporte, mas sim os garantir estoques ou atender prontamente o cliente. O trabalho do Operador Logístico porém, tem como contribuir com a diminuição global de custos do sistema, para isso pode atuar no controle de estoques e orienta o planejamento de vendas, de tal forma a utilizar o mínimo de recursos para realizar os transportes necessários; esse aspecto será abordado com maior detalhamento no capítulo 6 dessa Dissertação.

O Operador Logístico deve realizar todas as atividades da próxima etapa até a efetivação do transporte.

2. Análise do pedido.

Tendo recebido o pedido de carga o Operador Logístico realiza as análises necessárias para determinar qual a unidade de transporte mais adequada para realizar o transporte da carga solicitada. A premissa básica é que toda a viagem composta tem custo inferior a duas (ou mais) viagens simples, assim inicia – se a análise verificando a existência de alguma unidade de transporte disponível, e posicionada para atender o pedido. Tendo satisfeito essa condição inicial é preciso verificar se a unidade escolhida possui condições de compatibilização técnica para receber a nova carga. A compatibilização depende basicamente da afinidade físico – química entre a carga anterior e o próximo produto, e as características construtivas das unidades de transporte. Esse tópico já foi abordado no capítulo 3.

Se a análise for positiva, isto é: existe viabilidade de compor rota, então o transporte é efetuado e o pedido atendido, caso contrário parte – se para etapa seguinte.

3. Verifica – se a existência de unidade de transporte disponível (além de tecnicamente compatível e preparada) para realizar o transporte, se positivo o pedido é atendido, caso contrário dá – se sequência ao processo.

4. Não existindo possibilidade de compatibilização e composição de rotas, nem tão pouco unidade de transporte disponível para realização e viagem simples, nova unidade de transporte é introduzida no sistema para realização do transporte.

O pedido é então atendido através de rota simples e unidade de transporte extra. A unidade de transporte introduzida pode realizar apenas aquele pedido, ou ser novamente inserida no sistema sempre que necessário. É importante ressaltar que o Operador Logístico deva possuir flexibilidade para atender esse tipo de pedido, que pode ser corriqueiro ou emergencial, porém as unidades de transporte não poderão ficar

a disposição do sistema todo o tempo, pois o oneraria por demais. O sistema logístico em questão deve ser responsável pela sua frota cativa e as frações de frota inseridas ocasionalmente no sistema.

A otimização e a atuação do Operador Logístico proposta nessa pesquisa devem contribuir para que a frota efetiva e a inserida de forma *spot* sejam a mínima possível, como o cliente deverá sempre ser atendido o operador logístico poderá sub-contratar (ou terceirizar) veículos para suprir as necessidades da operação.

### 5.3 – Base de dados utilizada para a Heurística

Como colocado anteriormente utilizou-se os mesmos dados de movimentação de matérias primas e produtos acabados (todos líquidos a granel) aplicados no modelo matemático (Capítulo 3 e Capítulo 4); desta feita respeitando – se rigorosamente os momentos em que os pedidos foram realizados. As informações são capazes de refletir as sazonalidades que os produtos referentes a 3 meses de operação estão sujeitos em função das variações de mercado, além do que a Heurística também considera as restrições quanto às janelas de tempo determinadas pelos horários de funcionamento das indústrias envolvidas.

A seguir a Tabela 14 mostra uma parcela de dados implementados, a base de dados completa encontra-se no Anexo 2. Essa tabela é semelhante à Tabela 6, onde são apontados: os produtos, características, fornecedor, fábrica (ou cliente), e como diferencial os pedidos de forma individual, que somados resultam nas mesmas demandas e ofertas das tabelas iniciais.

Tabela 14 – Base de dados da Heurística para o produto Acido Sulfúrico

Produto	Data	Origem	Destino	Quant
Acido Sulfúrico	09/Dez/96	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	13/Dez/96	Belf.Roxo	Guaratingueta	50,0
Acido Sulfúrico	16/Dez/96	Belf.Roxo	Guaratingueta	50,0
Acido Sulfúrico	18/Dez/96	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	26/Dez/96	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	27/Dez/96	Belf.Roxo	Guaratingueta	150,0
Acido Sulfúrico	30/Dez/96	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	06/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	07/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	08/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	75,0
Acido Sulfúrico	09/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	10/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	13/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	14/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	15/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	17/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	20/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	75,0
Acido Sulfúrico	23/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	24/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	27/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	50,0
Acido Sulfúrico	28/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	75,0
Acido Sulfúrico	29/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	75,0
Acido Sulfúrico	31/Jan/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	75,0
Acido Sulfúrico	03/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	05/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	07/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	14/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	50,0
Acido Sulfúrico	17/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	50,0
Acido Sulfúrico	18/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	75,0
Acido Sulfúrico	20/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	21/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	24/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	25/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	26/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	27/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	28/Fev/97	Belf.Roxo	Guaratingueta	50,0
Acido Sulfúrico	27/Dez/96	Belf.Roxo	Sao Caetano	50,0
Acido Sulfúrico	14/Fev/97	Cubatao	Guaratingueta	50,0
Acido Sulfúrico	17/Fev/97	Cubatao	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	18/Fev/97	Cubatao	Guaratingueta	25,0
Acido Sulfúrico	04/Dez/96	Rio De Janeiro	Guaratingueta	375,0
Acido Sulfúrico	12/Dez/96	Rio De Janeiro	Guaratingueta	125,0

A soma das ofertas desta tabela originaram a Tabela 6 apresentada

anteriormente.

### 5.4 – Resultados da Heurística.

A saída oferecida pela implementação computacional da Heurística já é expressa em número de veículos. A forma como foi elaborada, dividindo os pedidos em viagens de “Truck” e “Carreta”, permite que as viagens sejam atendidas no tempo e na forma solicitada pela fábrica, no caso das matérias primas; e pelos clientes, no caso dos produtos acabados.

A cada pedido é alocado imediatamente uma unidade de transporte, essa unidade pode já pertencer ao sistema ou ser gerada (na prática agregada à frota efetiva) para cumprir a solicitação; sistema já detalhado anteriormente. Desta maneira, ao final da implementação da Heurística, a frota efetivamente aplicada para o estudo de caso proposto é colocada abaixo:

**Tabela 15 – Resumo do Resultados da Heurística e comparação com os resultados do Modelo Matemático.**

Resultados Finais		
Heurística	Modelo	
43	51,4	Considerando somente rotas para veículos de 25 m3
12	0,3	Considerando somente rotas para veículos de 15 m3

Esse resultado, como previa a proposta desta dissertação expressa uma frota de unidades de transportes maior que o resultado do modelo matemático final com composição de rotas (Capítulo 3 e Capítulo 4), e como dito, esse fato deve-se ao pleno atendimento dos pedidos no momento em que estes surgem, respeitando assim todas as restrições temporais impostas, inclusive as operacionais.

Esses resultados, assim como seu detalhamento e as comparações devidas com o modelo matemático, serão melhor explorados no próximo capítulo.

## Capítulo 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 Do desenvolvimento do trabalho de pesquisa

A motivação para a pesquisa, que foi tornar o transporte de carga líquida a granel competitivo frente ao transporte de carga geral, possibilitou no capítulo inicial apresentar as definições, características técnicas e de mercado para esses dois tipos de transporte.

A revisão bibliográfica que iniciou-se com o clássico “Problema de transporte”, foi importante para selecionar este como a ferramenta para a modelagem matemática e os demais textos foram vitais para que uma se implementar uma Heurística que considerasse restrições de sazonalidade e janelas de tempo. Trata-se também as

principais características técnicas e regimentais do transporte de carga perigosa, como uma contribuição deste trabalho.

O modelo de programação linear contemplou aspectos técnicos, operacionais e econômicos do transporte de cargas perigosas, e teve como base planilhas de custos que permitiram calcular com a precisão necessária os custos envolvidos. Foram detalhados também procedimentos para dimensionamento de frota para o atendimento da demanda.

A elaboração da Heurística teve a preocupação de inserir, no trabalho, as janelas de tempo colocadas pelas restrições do mercado. Em essência, a Heurística buscou a comparação com o ótimo apontado na solução do modelo matemático

Vale ressaltar que tanto o modelo matemático quanto a Heurística recebem dados reais abstraídos de uma grande indústria química, que possui plantas em diferentes localidades, que podem atuar como cliente, ou como fornecedor, ou como ambos.

## 6.2 Dos resultados obtidos

Os resultados apresentados, foram gerados por métodos e formas diferentes, propondo assim diferentes meios de planejar e executar as operações de transporte dos produtos líquidos a granel, formas que apesar de diferentes se complementam a medida que o processo evolui, da primeira forma e mais elementar (somente rotas simples) até a otimização mais complexa através da composição de rotas.



A introdução de rotas compostas nesse segmento de transporte, objetivo principal deste trabalho, foi amplamente aproveitada; mostrando que há efetiva redução da distância total percorrida e da frota utilizada, e consequente aumento da produtividade das unidades de transporte enquanto carregadas.

Os resultados da Heurística em comparação com o modelo de programação linear, também foram bons, mostrando que a sazonalidade e as janelas de tempo, contribuem para a utilização de uma frota maior.

### 6.3 Implementação da proposta da pesquisa na realidade do transporte rodoviários de cargas líquidas a granel

A redução de custos de transporte desenvolvidas e apontadas como factíveis nesse trabalho de Dissertação de Mestrado, só será efetivada na prática se :

- houver uma ação integrada das plantas de produção, no que toca as solicitações e atendimentos dos transportes;
- houver uma coordenação única da contratação de transporte, que possua todos os dados sobre solicitações das plantas e também das unidades industriais;
- houver a introdução de uma nova conceitualização de contratação global de transporte, que atenda a necessidade de transportes de várias plantas e unidades industriais conjuntamente;

A composição de rotas, entretanto, depende para sua materialização da figura do Operador Logístico, figura apresentada no Capítulo 1, e desenvolvida para o contexto da proposta, já finalizando a pesquisa no Capítulo 6.

Abaixo segue um resumo de outras funções do Operador Logístico:

- Faz a tomada de preços para o transporte integrado desses produtos a ser operado sob seu comando, em conjunto com a empresa (sem excluir a possibilidade de ser efetuado por esse próprio operador);
- Realiza a descontaminação de carretas e o cuidados ambientais necessários;
- Garante a qualidade do serviço e transporte com os níveis Segurança exigidos pela empresa, de forma menos custosa do que a situação atual;
- Mantém e divulga os índices de desempenho do transporte/armazenagem além de estatísticas gerais de movimentação;
- Estende o raio de ação, para servir pelo menos duas plantas de uma mesma unidade industrial, utilizando o conceito de “pool” de cavalos mecânicos e medindo seus resultados, que deverá diminuir a conta de transportes.
- Conjuga rotas de transporte e aproveitando cavalos mecânicos em “pool”, para cada centro produtivo.
- Administra os estoques de produtos, utilizados por mais de um centro produtivo, através de tanque comum.

Aponta-se abaixo as oportunidades de ganhos no transporte/armazenagem, que a implantação deste trabalho poderá induzir.

- Redução do custos fixo com a diminuição da frota utilizada

- Redução dos custos variáveis com o aumento da quilometragem rodada por equipamento (otimização da frota efetiva);
- Viabilização da combinação entre produtos compatíveis;
- Manutenção de fretes em níveis satisfatórios - por propiciar ganho de escala;
- Potencial para redução da estrutura da administração da empresa;

Oportunidades de Ganho na Cadeia Logística:

- Agilidade que a administração centralizada pode oferecer;
- Redução dos estoques de matéria-prima na fábrica, por centralização de diferentes pedidos para um mesmo produto;
- Maior pontualidade nas entregas, também propiciando menor custo de estoques.
- Melhor qualidade no recebimento de matéria prima;
- Melhor qualidade na entrega dos produtos, aumentando a satisfação do cliente;
- Transporte com maior segurança;
- Garantia de frota disponível sempre;
- Diminuição do fluxo de caminhões na fábrica, propiciando diminuição dos custos de estadia, e maior segurança nas movimentações.

## 6.4 Recomendações

Esta pesquisa poderá estender-se no sentido de incorporar o dimensionamento

da frota dentro da modelagem matemática.

A consideração de utilizar somente uma base pode ser estendida para múltiplas

bases, incluindo a localização das mesmas em conjunto com o dimensionamento da

frota.

No tocante à Heurística que foi desenvolvida, o campo de possibilidades de

implementação de outros algoritmos é muito vasto.

Cabe ressaltar que este trabalho não incluiu as restrições que a armazenagem

dos produtos podem impor à produção e ao transporte de matérias primas e produtos

acabados, sendo outro possível alvo de continuidade do mesmo.

1. Blumentfeld, D. E., Burns, L. D., Diltz, J. D., Daganzo, C. F., Analysing Trade - Offs Between Transportation, Inventory And Production Costs On Freight Networks, General Motors Research/University of California, E. U. A. 1985.
2. Cunha, C. B., Algoritmos para Roteamentos e Programação de Veículos no Contexto da Distribuição Física, Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil, 1991.
3. Cunha, C. B., Uma Contribuição para o problema de Roteirização de Veículos com Restrições Operacionais, Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil. 1997.
4. Decreto 96044, Diário Oficial, maio de 1988
5. Dell' Amico, Heuristic Algorithms for Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem, University of Bologna, Italia, 1993.
6. Desrosiers, J.; Dumas, F.; Soumis, F., The Pickup and Delivery problem with time windows, Canada, 1990.

## BIBLIOGRAFIA

7. Desrosiers, J, Dumas, Y, Soumis, F., A Dynamic Programming solution of the Large Scale single vehicle dial-a-ride problem with the time windows, American Journal of mathematical and management sciences, v.6, p. 301-325; 1986.
8. Gédéon, C.; Florian, M.; Crainic, T. G., Determining Origin Destination Matrices and Optimal Multiproduct Flows for Freight Transportation over Multimodal Networks), Universidade de Montreal, Canada, 1990.
9. Golden, B. L., Vehicle routing 2000: Advances in Time Windows, optimality, fast bounds, & multi-depot routing, American Journal of mathematical and management sciences, v.13, n. 3 e 4, 1993.
10. Hadley, G., Programação Linear, 1982
11. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Anuário Estatístico do Brasil 1996, (“cdroom”) 1997.
12. Igizlo, J. P., Linear Programming in Single e Multiple Objective Systems, 1982
13. IMDG Volume I, Copyright – IMO; 1981
14. Mahoney, John H, Intermodal Freight Transportation, EUA; 1985.
15. Manual de Auto Proteção para Manuseio e Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, Comando de Policiamento Rodoviário do Estado São Paulo, 3ª edição 1998.
16. Mariamonov, V, ReVelle, C., Linear, nonapproximated models for optimal routing in hazardous environments, Journal of operation Research society, 17-164/1998
17. Mendes André B, Notas de Aula – EPNV, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1999.
18. NBR 5979, ABNT / SP através do comitê brasileiro de automóveis. caminhões, tratores, veículos similares e autopças CB-5 /CE-5:16.01 - Comissão de Estudo de contêiner

19. NBR 7500/8285 / 8286 / 9734 / 9735 e outras, ABNT / SP através do comitê de transportes (CB 16 08 06)
20. Novaes, A. G., Logística Aplicada: Suprimento e Distribuição Física, 1994
21. Novaes, A. G., Métodos de Otimização, 1978
22. Portaria 204 - M. T, Diário Oficial, Maio de 1997
23. Potvin, J Dufour, G; Rosseau, J., Learning Vehicle Dispatching with Linear Programming Models, Universidade de Montreal, Canadá, 1991
24. Revista Multimodal, 2a. quinzena de fevereiro de 1997.
25. Rodrigues, C. A, Contreras, C. A., Granja, L. Z., Privatização de Sistemas de Ferrocarril: evidencias del caso brasileiro, Actas del Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte, pg 371, Santander, Espanha, 1998.
26. Sauerbier, C L., Marine Cargo Operations, E.U.A; 1985
27. Savelsbergh, M.W.P., The General Pickup and Delivery Problem, Georgia Institute of Technology, E U A, 1985.
28. Tabak, H D., Cargo Containers, Their Stowage Holding, Cambridge; 1970.

ANEXO 1 - Índices

TABELA A.1 - Índices para Origens

Origens	LEGENDA
0_1	SAO PAULO
0_2	OSASCO
0_3	SAO BERNARDO
0_4	SANTO ANDRE
0_5	CUBATAO
0_6	SANTOS
0_7	GUARUA
0_8	PORTO FELIZ
0_9	PAULINA
0_10	MOGI MIRIM
0_11	PIRACICABA
0_12	RIO CLARO
0_13	GUARATINGUETA
0_14	CRUZEIRO
0_15	BELF ROXO
0_16	D. CAVIAS
0_17	RIO DE JANEIRO
0_18	PORTO ALEGRE
0_19	TRINFO
0_20	RECIFE

TABELA A.3 - Índices para Clientes

Fabricsas	LEGENDA
F_1	SAO BERNARDO
F_2	GUARATINGUETA
F_3	JABOATAO
F_4	SANTA CRUZ/RJ
F_5	SAO CAETANO
F_6	SAPUCAIA

Clientes	LEGENDA
C_1	COTA
C_2	FRANCO DA ROCHA
C_3	GUARULHOS
C_4	SAO JOSE DOS PINHAIS
C_5	SAO PAULO
C_6	DIADEMA
C_7	VINHEDO
C_8	TELEMAGO BORBA
C_9	JACAREI
C_10	SIDEROPOLIS
C_11	DELFIN MOREIRA
C_12	BLUMENAU
C_13	CASTELO
C_14	SAPUCAIA
C_15	MONTES CLAROS
C_16	AMPARO
C_17	CAPIVARI
C_18	JABOATAO
C_19	SAO BERNARDO
C_20	VARGINHA
C_21	JUNDIAI
C_22	PIRACICABA
C_23	SANTA LUZIA
C_24	CORDEIROPOLIS
C_25	EMBU

TABELA A.4 - Índices para matérias-primas

Mat. Prima	LEGENDA
1_1	Acetato Butílica
1_2	Acetato de Etila
1_3	Acetato de Vinílica
1_4	Acido Sulfúrico
1_5	Agua Raz
1_6	Alcool Etilico
1_7	Estireno
1_8	Metanol
1_9	Soda Cáustica
1_10	Solvente AB
1_11	Solv. p. borracha
1_12	Sulfato de Al
1_13	Toluol
1_14	Xilol

TABELA A.5- Índices para Produtos acabados

Prod. Acab	LEGENDA
J_1	Acronal Todos
J_2	Afranil ST
J_3	Cola Bastani Todos
J_4	Disp. Copolim.
J_5	Heizarn Binder LB 410
J_6	Sokalan Todos
J_7	Syroyan Todos
J_8	Syronal Todos
J_9	Tnlon Todos
J_10	Vinofan BA 610

TABELA A.6- Índices para Produtos veiculos

Veiculos	LEGENDA
E_1	TRUCK
E_2	Semi-Reboque

TABELA A.1 - Índices para Origens



ANEXO 2 – Base de dados

PARAMETER Q(E) capacidade do veiculo e ;

\$ include "OUT\_Q.prm"

Q(E\_1)=15.0;
Q(E\_2)=25.0;
D(F\_1;1;13)=40.00;
D(F\_2;1;13)=65.00;
D(F\_5;1;12)=185.00;
D(F\_1;1;10)=625.00;
D(F\_2;1;12)=245.00;
D(F\_1;1;10)=625.00;

PARAMETER P(O,I) oferta de materia primas dos fornecedores ;

\$ include "OUT\_P.prm"

P(O\_9;1;1)=25.00;
P(O\_6;1;1)=470.00;
P(O\_10;1;2)=25.00;
P(O\_9;1;2)=10.00;
P(O\_11;1;2)=25.00;
P(O\_6;1;3)=6785.00;
P(O\_1;1;3)=140.00;
P(O\_15;1;4)=1525.00;
P(O\_5;1;4)=80.00;
P(O\_17;1;4)=480.00;
P(O\_16;1;5)=160.00;
P(O\_9;1;5)=2200.00;
P(O\_18;1;5)=40.00;
P(O\_17;1;5)=820.00;
P(O\_2;1;6)=45.00;
P(O\_8;1;6)=85.00;
P(O\_5;1;7)=365.00;
P(O\_7;1;7)=1040.00;
P(O\_13;1;7)=170.00;
P(O\_7;1;7)=1040.00;
P(O\_6;1;7)=3350.00;
P(O\_3;1;7)=55.00;
P(O\_17;1;8)=360.00;
P(O\_5;1;8)=425.00;
P(O\_7;1;9)=870.00;
P(O\_9;1;11)=75.00;
P(O\_9;1;11)=75.00;
P(O\_12;1;12)=170.00;
P(O\_14;1;12)=15.00;
P(O\_8;1;12)=170.00;
P(O\_12;1;12)=230.00;
P(O\_4;1;13)=50.00;
P(O\_18;1;13)=15.00;
P(O\_19;1;13)=40.00;
P(O\_5;1;14)=305.00;
P(O\_9;1;14)=15.00;
P(O\_18;1;14)=410.00;
P(O\_4;1;14)=410.00;
P(O\_6;1;14)=100.00;
P(O\_19;1;14)=200.00;

PARAMETER P(F,I) oferta de prod acabados das fabricas ;

\$ include "OUT\_P1.prm"

P(F\_2;1;1)=575.00;
P(F\_2;1;2)=105.00;
P(F\_2;1;3)=305.00;
P(F\_1;1;3)=15.00;
P(F\_4;1;4)=160.00;
P(F\_2;1;5)=80.00;
P(F\_2;1;6)=10.00;
P(F\_2;1;7)=365.00;
P(F\_2;1;8)=1160.00;
P(F\_2;1;9)=155.00;
P(F\_1;1;10)=170.00;

PARAMETER D(C,I) demanda de prod acabados dos clientes ;

\$ include "OUT\_D1.prm"

D(C\_1;1;1)=25.00;
D(C\_6;1;1)=60.00;
D(C\_2;1;1)=110.00;
D(C\_3;1;1)=50.00;
D(C\_4;1;1)=95.00;
D(C\_5;1;1)=185.00;
D(C\_7;1;1)=50.00;
D(C\_8;1;2)=105.00;
D(C\_12;1;3)=135.00;
D(C\_13;1;3)=15.00;
D(C\_1;1;3)=25.00;
D(C\_1;1;3)=25.00;
D(C\_1;1;3)=25.00;
D(C\_2;1;3)=10.00;
D(C\_6;1;3)=10.00;
D(C\_3;1;3)=25.00;
D(C\_9;1;3)=90.00;
D(C\_10;1;3)=10.00;
D(C\_14;1;4)=160.00;
D(C\_12;1;5)=35.00;
D(C\_15;1;5)=45.00;
D(C\_16;1;6)=10.00;
D(C\_17;1;7)=50.00;
D(C\_6;1;7)=180.00;
D(C\_18;1;7)=70.00;
D(C\_19;1;7)=10.00;
D(C\_20;1;7)=55.00;
D(C\_24;1;8)=30.00;
D(C\_25;1;8)=75.00;
D(C\_21;1;8)=15.00;
D(C\_26;1;8)=210.00;
D(C\_22;1;8)=90.00;
D(C\_23;1;8)=25.00;
D(C\_29;1;8)=550.00;
D(C\_27;1;8)=60.00;
D(C\_28;1;8)=105.00;
D(C\_31;1;9)=85.00;
D(C\_30;1;9)=70.00;
D(C\_3;1;10)=115.00;
D(C\_32;1;10)=55.00;

PARAMETER D(F,I) demanda de materia primas das fabricas ;

\$ include "OUT\_D.prm"

D(F\_1;1;1)=495.00;
D(F\_2;1;1)=70.00;
D(F\_3;1;3)=340.00;
D(F\_4;1;3)=4325.00;
D(F\_1;1;3)=4325.00;
D(F\_2;1;4)=2055.00;
D(F\_5;1;4)=30.00;
D(F\_4;1;5)=180.00;
D(F\_1;1;5)=2860.00;
D(F\_5;1;5)=140.00;
D(F\_6;1;5)=40.00;
D(F\_2;1;6)=10.00;
D(F\_1;1;6)=120.00;
D(F\_2;1;7)=3685.00;
D(F\_1;1;7)=1295.00;
D(F\_2;1;8)=360.00;
D(F\_5;1;9)=100.00;
D(F\_1;1;9)=100.00;
D(F\_1;1;11)=75.00;
D(F\_2;1;10)=25.00;

PARAMETER V(E,R,I) custo por viagem rotas RI ;

\$ include "OUT\_V.prm"

V(E\_1;1;1)=480.48;
V(E\_1;1;2)=222.02;
V(E\_1;1;3)=763.84;
V(E\_1;1;4)=661.54;
V(E\_1;1;5)=804.76;
V(E\_1;1;6)=570.15;
V(E\_1;1;7)=178.64;
V(E\_1;1;8)=570.15;
V(E\_1;1;9)=1485.00;

V(E\_1;R(10)=206.71;  
V(E\_1;R(11)=5313.00;  
V(E\_1;R(12)=102.08;  
V(E\_1;R(13)=572.88;  
V(E\_1;R(14)=950.40;  
V(E\_1;R(15)=652.08;  
V(E\_1;R(16)=553.36;  
V(E\_1;R(17)=682.00;  
V(E\_1;R(18)=480.48;  
V(E\_1;R(19)=456.46;  
V(E\_1;R(20)=142.91;  
V(E\_1;R(21)=722.92;  
V(E\_1;R(22)=1045.44;  
V(E\_1;R(23)=1014.55;  
V(E\_1;R(24)=188.85;  
V(E\_1;R(25)=763.84;  
V(E\_1;R(26)=454.61;  
V(E\_1;R(27)=148.02;  
V(E\_1;R(28)=652.08;  
V(E\_1;R(29)=572.88;  
V(E\_1;R(30)=228.10;  
V(E\_1;R(31)=570.15;  
V(E\_1;R(32)=206.71;  
V(E\_1;R(33)=652.08;  
V(E\_1;R(34)=653.36;  
V(E\_1;R(35)=652.08;  
V(E\_1;R(36)=199.06;  
V(E\_1;R(37)=572.88;  
V(E\_1;R(38)=652.08;  
V(E\_1;R(39)=480.48;  
V(E\_1;R(40)=480.48;  
V(E\_1;R(41)=611.95;  
V(E\_1;R(42)=81.66;  
V(E\_1;R(43)=206.71;  
V(E\_1;R(44)=2739.00;  
V(E\_1;R(45)=2409.00;  
V(E\_1;R(46)=216.92;  
V(E\_1;R(47)=432.43;  
V(E\_1;R(48)=716.36;  
V(E\_1;R(49)=76.66;  
V(E\_1;R(50)=652.08;  
V(E\_1;R(51)=148.02;  
V(E\_1;R(52)=2629.00;  
V(E\_1;R(53)=443.52;  
V(E\_1;R(54)=2409.00;  
V(E\_1;R(55)=148.02;  
V(E\_1;R(56)=480.48;  
V(E\_1;R(57)=2288.00;  
V(E\_1;R(58)=81.66;  
V(E\_1;R(59)=76.66;  
V(E\_1;R(60)=217.54;  
V(E\_1;R(61)=2409.00;  
V(E\_2;R(1)=546.00;  
V(E\_2;R(2)=252.30;  
V(E\_2;R(3)=688.00;  
V(E\_2;R(4)=751.75;  
V(E\_2;R(5)=914.50;  
V(E\_2;R(6)=647.90;  
V(E\_2;R(7)=203.00;  
V(E\_2;R(8)=647.90;  
V(E\_2;R(9)=1687.50;  
V(E\_2;R(10)=234.90;  
V(E\_2;R(11)=6037.50;  
V(E\_2;R(12)=116.00;  
V(E\_2;R(13)=651.00;  
V(E\_2;R(14)=1080.00;  
V(E\_2;R(15)=741.00;  
V(E\_2;R(16)=742.45;  
V(E\_2;R(17)=775.00;  
V(E\_2;R(18)=546.00;  
V(E\_2;R(19)=518.70;  
V(E\_2;R(20)=162.40;  
V(E\_2;R(21)=821.50;  
V(E\_2;R(22)=1188.00;  
V(E\_2;R(23)=1152.90;  
V(E\_2;R(24)=214.60;  
V(E\_2;R(25)=868.00;  
V(E\_2;R(26)=516.60;  
V(E\_2;R(27)=168.20;  
V(E\_2;R(28)=741.00;  
V(E\_2;R(29)=651.00;  
V(E\_2;R(30)=259.20;  
V(E\_2;R(31)=647.90;  
V(E\_2;R(32)=234.90;  
V(E\_2;R(33)=741.00;

V(E\_2;R(34)=742.45;  
V(E\_2;R(35)=741.00;  
V(E\_2;R(36)=226.20;  
V(E\_2;R(37)=651.00;  
V(E\_2;R(38)=741.00;  
V(E\_2;R(39)=546.00;  
V(E\_2;R(40)=546.00;  
V(E\_2;R(41)=695.40;  
V(E\_2;R(42)=92.80;  
V(E\_2;R(43)=34.90;  
V(E\_2;R(44)=112.50;  
V(E\_2;R(45)=237.50;  
V(E\_2;R(46)=46.50;  
V(E\_2;R(47)=491.40;  
V(E\_2;R(48)=814.05;  
V(E\_2;R(49)=87.00;  
V(E\_2;R(50)=741.00;  
V(E\_2;R(51)=168.20;  
V(E\_2;R(52)=2987.50;  
V(E\_2;R(53)=504.00;  
V(E\_2;R(54)=2737.50;  
V(E\_2;R(55)=168.20;  
V(E\_2;R(56)=546.00;  
V(E\_2;R(57)=2600.00;  
V(E\_2;R(58)=92.80;  
V(E\_2;R(59)=87.00;  
V(E\_2;R(60)=247.20;  
V(E\_2;R(61)=2737.50;  
V(E\_1;R(1)=559.24;  
V(E\_1;R(2)=662.11;  
V(E\_1;R(3)=658.77;  
V(E\_1;R(4)=550.09;  
V(E\_1;R(5)=1201.20;  
V(E\_1;R(6)=591.89;  
V(E\_1;R(7)=598.80;  
V(E\_1;R(8)=1474.00;  
V(E\_1;R(9)=1634.60;  
V(E\_1;R(10)=559.24;  
V(E\_1;R(11)=117.39;  
V(E\_1;R(12)=662.11;  
V(E\_1;R(13)=550.09;  
V(E\_1;R(14)=409.73;  
V(E\_1;R(15)=1124.20;  
V(E\_1;R(16)=938.52;  
V(E\_1;R(17)=3500.20;  
V(E\_1;R(18)=1634.60;  
V(E\_1;R(19)=1819.40;  
V(E\_1;R(20)=609.71;  
V(E\_1;R(21)=755.66;  
V(E\_1;R(22)=662.11;  
V(E\_1;R(23)=5075.40;  
V(E\_1;R(24)=652.08;  
V(E\_1;R(25)=553.78;  
V(E\_1;R(26)=782.94;  
V(E\_1;R(27)=663.78;  
V(E\_1;R(28)=576.97;  
V(E\_1;R(29)=755.66;  
V(E\_1;R(30)=804.76;  
V(E\_1;R(31)=1176.12;  
V(E\_1;R(32)=547.01;  
V(E\_1;R(33)=1364.00;  
V(E\_1;R(34)=968.22;  
V(E\_1;R(35)=1623.60;  
V(E\_1;R(36)=653.36;  
V(E\_1;R(37)=188.85;  
V(E\_1;R(38)=378.84;  
V(E\_1;R(39)=752.40;  
V(E\_1;R(40)=748.60;  
V(E\_1;R(41)=625.10;  
V(E\_1;R(42)=1365.00;  
V(E\_1;R(43)=672.60;  
V(E\_1;R(44)=680.45;  
V(E\_1;R(45)=1675.00;  
V(E\_1;R(46)=1857.50;  
V(E\_1;R(47)=635.50;  
V(E\_1;R(48)=133.40;  
V(E\_1;R(49)=752.40;  
V(E\_1;R(50)=625.10;  
V(E\_1;R(51)=465.60;

PARAMETER V(E,R) custo por viagem rotas RJ ;  
\$ include "OUT\_V1.pml"

V1(E\_2';R1\_15)=1277,50;  
V1(E\_2';R1\_16)=1066,50;  
V1(E\_2';R1\_17)=3977,50;  
V1(E\_2';R1\_18)=1857,50;  
V1(E\_2';R1\_19)=2067,50;  
V1(E\_2';R1\_20)=692,85;  
V1(E\_2';R1\_21)=858,70;  
V1(E\_2';R1\_22)=752,40;  
V1(E\_2';R1\_23)=567,50;  
V1(E\_2';R1\_24)=741,00;  
V1(E\_2';R1\_25)=629,30;  
V1(E\_2';R1\_26)=889,70;  
V1(E\_2';R1\_27)=754,30;  
V1(E\_2';R1\_28)=655,65;  
V1(E\_2';R1\_29)=858,70;  
V1(E\_2';R1\_30)=914,50;  
V1(E\_2';R1\_31)=136,50;  
V1(E\_2';R1\_32)=621,60;  
V1(E\_2';R1\_33)=1550,00;  
V1(E\_2';R1\_34)=1100,25;  
V1(E\_2';R1\_35)=1845,00;  
V1(E\_2';R1\_36)=742,45;  
V1(E\_2';R1\_37)=214,60;  
V1(E\_2';R1\_38)=430,50;

**PARAMETER W1(E,R1,RJ) custo por viagem composta OFC nas**  
**rotas RI E RJ :**  
**\$ include "OUT\_W1.prm"**

W1(E\_1';R1\_1)=487,65;  
W1(E\_1';R1\_2)=651,68;  
W1(E\_1';R1\_3)=3180,88;  
W1(E\_1';R1\_4)=862,87;  
W1(E\_1';R1\_5)=1278,54;  
W1(E\_1';R1\_6)=580,00;  
W1(E\_1';R1\_7)=3099,26;  
W1(E\_1';R1\_8)=504,76;  
W1(E\_1';R1\_9)=3017,33;  
W1(E\_1';R1\_10)=699,32;  
W1(E\_1';R1\_11)=1114,99;  
W1(E\_1';R1\_12)=416,45;  
W1(E\_1';R1\_13)=2935,71;  
W1(E\_1';R1\_14)=341,21;  
W1(E\_1';R1\_15)=1473,08;  
W1(E\_1';R1\_16)=965,23;  
W1(E\_1';R1\_17)=1473,08;  
W1(E\_1';R1\_18)=951,50;  
W1(E\_1';R1\_19)=1655,36;  
W1(E\_1';R1\_20)=1500,80;  
W1(E\_1';R1\_21)=1611,24;  
W1(E\_1';R1\_22)=1611,24;  
W1(E\_1';R1\_23)=1593,51;  
W1(E\_1';R1\_24)=1309,53;  
W1(E\_1';R1\_25)=801,68;  
W1(E\_1';R1\_26)=787,95;  
W1(E\_1';R1\_27)=1491,81;  
W1(E\_1';R1\_28)=1337,25;  
W1(E\_1';R1\_29)=1447,69;  
W1(E\_1';R1\_30)=1429,96;  
W1(E\_1';R1\_31)=626,16;  
W1(E\_1';R1\_32)=1201,78;  
W1(E\_1';R1\_33)=944,12;  
W1(E\_1';R1\_34)=462,61;  
W1(E\_1';R1\_35)=1038,23;  
W1(E\_1';R1\_36)=780,57;  
W1(E\_1';R1\_37)=591,02;  
W1(E\_1';R1\_38)=947,90;  
W1(E\_1';R1\_39)=697,63;  
W1(E\_1';R1\_40)=912,87;  
W1(E\_1';R1\_41)=630,00;  
W1(E\_1';R1\_42)=427,47;  
W1(E\_1';R1\_43)=784,35;  
W1(E\_1';R1\_44)=534,08;  
W1(E\_1';R1\_45)=749,32;  
W1(E\_1';R1\_46)=466,45;  
W1(E\_1';R1\_47)=1453,68;  
W1(E\_1';R1\_48)=1290,13;  
W1(E\_1';R1\_49)=965,23;  
W1(E\_1';R1\_50)=860,66;  
W1(E\_1';R1\_51)=523,76;  
W1(E\_1';R1\_52)=630,00;  
W1(E\_1';R1\_53)=2951,26;  
W1(E\_1';R1\_54)=2786,26;  
W1(E\_1';R1\_55)=801,68;  
W1(E\_1';R1\_56)=697,11;

**PARAMETER W1(E,R1,RJ) custo por viagem composta OF nas**  
**rotas RI :**  
**\$include "OUT\_W1.prm"**

W1(E\_1';R1\_1)=1275,86;  
W1(E\_1';R1\_2)=1273,74;  
W1(E\_1';R1\_3)=1205,10;  
W1(E\_1';R1\_4)=1602,42;  
W1(E\_1';R1\_5)=1231,50;  
W1(E\_1';R1\_6)=1304,64;  
W1(E\_1';R1\_7)=1341,86;  
W1(E\_1';R1\_8)=1273,22;  
W1(E\_1';R1\_9)=1670,54;  
W1(E\_1';R1\_10)=1299,62;  
W1(E\_1';R1\_11)=1331,44;  
W1(E\_1';R1\_12)=1310,96;  
W1(E\_1';R1\_13)=1350,30;  
W1(E\_1';R1\_14)=1279,54;  
W1(E\_1';R1\_15)=1676,86;  
W1(E\_1';R1\_16)=1305,94;  
W1(E\_1';R1\_17)=1337,76;  
W1(E\_1';R1\_18)=1164,18;  
W1(E\_1';R1\_19)=1203,52;  
W1(E\_1';R1\_20)=1201,40;

**PARAMETER W1(E,R1,RJ) custo por viagem composta FC nas**  
**rotas RJ :**  
**\$include "OUT\_W1.prm"**

W1(E\_1';R1\_1)=940,68;  
W1(E\_1';R1\_2)=880,02;  
W1(E\_1';R1\_3)=977,90;  
W1(E\_1';R1\_4)=909,26;  
W1(E\_1';R1\_5)=1306,58;  
W1(E\_1';R1\_6)=935,66;  
W1(E\_1';R1\_7)=967,48;  
W1(E\_1';R1\_8)=1357,80;  
W1(E\_1';R1\_9)=1444,52;  
W1(E\_1';R1\_10)=940,68;  
W1(E\_1';R1\_11)=633,14;  
W1(E\_1';R1\_12)=980,02;  
W1(E\_1';R1\_13)=909,26;  
W1(E\_1';R1\_14)=809,38;  
W1(E\_1';R1\_15)=1258,84;  
W1(E\_1';R1\_16)=1444,52;  
W1(E\_1';R1\_17)=1544,32;  
W1(E\_1';R1\_18)=974,87;

+++++

Alcool Etílico	JANEIRO	CAETANO	OSASCO	SAO	188,85	214,60	RI_24
Alcool Etílico	BERNARDO	PORTO	FELIZ	GUARATIN	763,84	868,00	RI_25
Alcool Etílico	BERNARDO	PORTO	SAO	GUARATIN	454,61	516,60	RI_26
Estreño	BERNARDO	CUBATAO	FELIZ	GUARATIN	148,02	168,20	RI_27
Estreño	BERNARDO	CUBATAO	SAO	GUARATIN	652,08	741,00	RI_28
Estreño	BERNARDO	GUARUA	GUARUA	GUARATIN	572,88	651,00	RI_29
Estreño	BERNARDO	GUARUA	SAO	GUARUA	228,10	259,20	RI_30
Estreño	BERNARDO	SANTOS	SANTOS	GUARATIN	570,15	647,90	RI_31
Estreño	BERNARDO	SANTOS	SAO	GUARATIN	206,71	234,90	RI_32
Estreño	BERNARDO	SANTOS	SAO	GUARATIN	652,08	741,00	RI_33
Metanol	BERNARDO	RIO DE	GUARATIN	GUARATIN	653,36	742,45	RI_34
Soda Cáustica	BERNARDO	CUBATAO	GUARATIN	GUARATIN	199,06	226,20	RI_36
Soda Cáustica	BERNARDO	CUBATAO	SAO	GUARATIN	572,88	651,00	RI_37
Soda Cáustica	BERNARDO	GUARUA	GUARUA	GUARATIN	652,08	741,00	RI_38
Solv. p/ borracha	BERNARDO	PAULINIA	PAULINIA	SAO	480,48	546,00	RI_39
Solvente AB	BERNARDO	PAULINIA	PAULINIA	SAO	480,48	546,00	RI_40
Solvente AB	BERNARDO	SANTO	SANTO	GUARATIN	611,95	695,40	RI_41
Solvente AB	BERNARDO	SANTO	SAO	GUARATIN	81,66	92,80	RI_42
Solvente AB	BERNARDO	SANTOS	SAO	GUARATIN	206,71	234,90	RI_43
Solvente AB	BERNARDO	TRUINFO	TRUINFO	GUARATIN	2739,00	3112,50	RI_44
Solvente AB	BERNARDO	TRUINFO	SAO	GUARATIN	2409,00	2737,50	RI_45
Sulfato de Al	BERNARDO	CRUZEIRO	GUARATIN	GUARATIN	216,92	246,50	RI_46
Sulfato de Al	BERNARDO	PORTO	SAO	GUARATIN	432,43	491,40	RI_47
Sulfato de Al	BERNARDO	RIO CLARO	GUARATIN	GUARATIN	716,36	814,05	RI_48
Sulfato de Al	BERNARDO	SANTO	SAO	GUARATIN	76,56	87,00	RI_49
Tolui	BERNARDO	CUBATAO	GUARATIN	GUARATIN	652,08	741,00	RI_50
Tolui	BERNARDO	CUBATAO	SAO	GUARATIN	148,02	168,20	RI_51
Tolui	BERNARDO	PORTO	GUARATIN	GUARATIN	2629,00	2987,50	RI_52
Tolui	BERNARDO	TRUINFO	TRUINFO	GUARATIN	443,52	504,00	RI_53
Tolui	BERNARDO	TRUINFO	SAO	GUARATIN	2409,00	2737,50	RI_54
Xilol	BERNARDO	PAULINIA	PAULINIA	SAO	480,48	546,00	RI_56
Xilol	BERNARDO	PORTO	ALEGRE	BERNARDO	2288,00	2600,00	RI_57
Xilol	BERNARDO	SANTO	SAO	ANDRE	81,66	92,80	RI_58
Xilol	BERNARDO	SANTO	SAO	ANDRE	76,56	87,00	RI_59
Xilol	BERNARDO	SANTOS	SAO	ANDRE	217,54	247,20	RI_60
Xilol	BERNARDO	TRUINFO	TRUINFO	SAO	2409,00	2737,50	RI_61

Acetato Butila	PAULINIA	SAO	BERNARDO	480,48	546,00	RI_1
Acetato Butila	SANTOS	SAO	BERNARDO	222,02	252,30	RI_2
Acetato de	MOGI	GUARATIN	BERNARDO	763,84	868,00	RI_3
Acetato de	MIRMA	GUARATIN	GUARATIN	661,54	751,75	RI_4
Acetato de	PIRACICAB	GUARATIN	GUARATIN	804,76	914,50	RI_5
Acetato de	SANTOS	GUARATIN	GUARATIN	570,15	647,90	RI_6
Acetato de	RECIFE	JABOATAO	GUARATIN	178,64	203,00	RI_7
Acetato de	SANTOS	GUARATIN	GUARATIN	570,15	647,90	RI_8
Acetato de	SANTOS	GUARATIN	GUARATIN	570,15	647,90	RI_9
Acetato de	SANTOS	SAO	CRUZ/RJ	206,71	234,90	RI_10
Acetato de	SAO PAULO	JABOATAO	BERNARDO	5313,00	6037,50	RI_11
Acetato de	SAO PAULO	SAO	BERNARDO	102,08	116,00	RI_12
Acido	BELF.ROXO	GUARATIN	BERNARDO	572,88	651,00	RI_13
Acido	BELF.ROXO	GUARATIN	GUARATIN	950,40	1080,00	RI_14
Acido	CUBATAO	GUARATIN	CAETANO	652,08	741,00	RI_15
Acido	RIO DE	GUARATIN	GUARATIN	653,36	742,45	RI_16
Sulfúrico	GUETA	GUARATIN	GUARATIN	682,00	775,00	RI_17
Acetato de	PAULINIA	SAO	BERNARDO	480,48	546,00	RI_18
Acetato de	PAULINIA	SAO	BERNARDO	480,48	546,00	RI_19
Acetato de	PORTO	SAPUCAIA	CAETANO	142,91	162,40	RI_20
Acetato de	ALEGRE	SANTA	CRUZ/RJ	722,92	821,50	RI_21
Acetato de	JANEIRO	CRUZ/RJ	SAO	1045,44	1188,00	RI_22
Acetato de	RIO DE	JANEIRO	SAO	1014,55	1152,90	RI_23

Tabela A.2.1 - Custo por viagem - TAB. V

Mat Prima Origens Fabricas TR SR  
 W11E\_1'RU\_4'RU\_5'=1530,08;  
 W11E\_1'RU\_4'RU\_6'=1159,16;  
 W11E\_1'RU\_5'RU\_1'=1968,32;  
 W11E\_1'RU\_5'RU\_2'=2007,66;  
 W11E\_1'RU\_5'RU\_3'=2005,54;  
 W11E\_1'RU\_5'RU\_4'=1936,90;  
 W11E\_1'RU\_5'RU\_6'=1963,30;  
 W11E\_1'RU\_5'RU\_7'=1995,12;  
 W11E\_1'RU\_6'RU\_1'=1232,82;  
 W11E\_1'RU\_6'RU\_2'=1272,16;  
 W11E\_1'RU\_6'RU\_3'=1270,04;  
 W11E\_1'RU\_6'RU\_4'=1201,40;  
 W11E\_1'RU\_6'RU\_5'=1598,72;  
 W11E\_1'RU\_6'RU\_7'=1259,62;  
 W11E\_1'RU\_7'RU\_1'=1274,41;  
 W11E\_1'RU\_7'RU\_2'=1313,75;  
 W11E\_1'RU\_7'RU\_3'=1311,63;  
 W11E\_1'RU\_7'RU\_4'=1242,99;  
 W11E\_1'RU\_7'RU\_5'=1640,31;  
 W11E\_1'RU\_7'RU\_6'=1269,39;  
 W11E\_1'RU\_7'RU\_8'=1753,64;  
 W11E\_1'RU\_7'RU\_8)=1821,76;  
 W11E\_1'RU\_3'RU\_8)=1828,08;  
 W11E\_1'RU\_4'RU\_8)=1681,30;  
 W11E\_1'RU\_5'RU\_8)=2485,44;  
 W11E\_1'RU\_6'RU\_8)=1749,94;  
 W11E\_1'RU\_7'RU\_8)=1791,53;  
 W11E\_1'RU\_1'RU\_9)=1840,36;  
 W11E\_1'RU\_10'=1336,52;  
 W11E\_1'RU\_11'=1028,98;  
 W11E\_1'RU\_12'=1375,86;  
 W11E\_1'RU\_13'=1305,10;  
 ++++++













# ANEXO 4 – Resultados computacionais

## Básico Real

Mat. Prima	Ongens	Fábricas	Veículos	Vagões	Custo	Ton. Tms.
Acetato Buntla	PAULINA	SAO BERNARDO	SR	1,00	546,00	25,00
Acetato Buntla	SANTOS	SAO BERNARDO	SR	18,80	4743,24	470,00
Acetato de Etla	MOOI MIRIM	GUARATINGUETA	SR	1,00	868,00	25,00
Acetato de Etla	PAULINA	GUARATINGUETA	SR	0,40	300,70	10,00
Acetato de Etla	PIRACABARA	GUARATINGUETA	SR	1,00	914,50	25,00
Acetato de Etla	SANTOS	GUARATINGUETA	SR	0,40	259,16	10,00
Acetato de Vinila	RECIFE	JABOATAO	SR	13,60	2760,80	340,00
Acetato de Vinila	SANTOS	GUARATINGUETA	SR	4,60	2980,34	115,00
Acetato de Vinila	SANTOS	SANTA CRUZ/RJ	SR	98,20	165712,50	2455,00
Acetato de Vinila	SANTOS	SAO BERNARDO	SR	168,60	39604,14	4215,00
Acetato de Vinila	SAO PAULO	SAO BERNARDO	SR	5,60	649,60	140,00
Acido Sulfurico	BELFROXO	GUARATINGUETA	SR	1,20	1296,00	30,00
Acido Sulfurico	CUBATAO	GUARATINGUETA	SR	3,20	2371,20	80,00
Acido Sulfurico	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	SR	19,20	14255,04	480,00
Água Raz	D.CAXIAS	SANTA CRUZ/RJ	SR	6,40	4960,00	160,00
Água Raz	PAULINA	SAO BERNARDO	SR	88,00	48048,00	2200,00
Água Raz	PORTO ALEGRE	SAPUCAIA	SR	1,60	259,84	40,00
Água Raz	RIO DE JANEIRO	SANTA CRUZ/RJ	SR	0,80	657,20	20,00
Água Raz	RIO DE JANEIRO	SAO BERNARDO	SR	26,40	31363,20	660,00
Água Raz	RIO DE JANEIRO	SAO CAETANO	SR	5,60	6456,24	140,00
Alcool Etílico	OSASCO	SAO BERNARDO	SR	1,80	386,28	45,00
Alcool Etílico	PORTO FELIZ	GUARATINGUETA	SR	0,40	347,20	10,00
Alcool Etílico	PORTO FELIZ	SAO BERNARDO	SR	3,00	1549,80	75,00
Estreño	CUBATAO	SAO BERNARDO	SR	14,60	2455,72	365,00
Estreño	GUARATINGUETA	SAO BERNARDO	SR	6,80	5038,88	170,00
Estreño	GUARUJA	GUARATINGUETA	SR	41,60	27081,60	1040,00
Estreño	SANTOS	GUARATINGUETA	SR	103,60	67122,44	2590,00
Estreño	SANTOS	SAO BERNARDO	SR	30,40	7140,96	760,00
Estreño	SAO BERNARDO	GUARATINGUETA	SR	2,20	1630,20	55,00
Metanol	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	SR	14,40	10691,28	360,00
Soda Cáustica	CUBATAO	GUARATINGUETA	SR	13,00	9633,00	325,00
Soda Cáustica	CUBATAO	SAO CAETANO	SR	4,00	904,80	100,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	SR	34,80	22654,80	870,00
Solv. p/ borracha	PAULINA	SAO BERNARDO	SR	3,00	1688,00	75,00
Solvente AB	PAULINA	SAO BERNARDO	SR	0,60	327,60	15,00
Solvente AB	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	SR	19,20	1781,76	480,00
Solvente AB	SANTOS	SAO BERNARDO	SR	2,60	610,74	65,00
Solvente AB	TRUINFO	GUARATINGUETA	SR	1,00	3112,50	25,00
Solvente AB	TRUINFO	SAO BERNARDO	SR	2,60	7117,50	65,00
Sulfato de Al	CRUZEIRO	GUARATINGUETA	SR	0,60	147,90	15,00
Sulfato de Al	PORTO FELIZ	SAO CAETANO	SR	6,80	3341,52	170,00
Sulfato de Al	RIO CLARO	GUARATINGUETA	SR	9,20	7489,26	230,00
Sulfato de Al	SANTO ANDRE	SAO CAETANO	SR	0,60	52,20	15,00
Toluol	CUBATAO	SAO BERNARDO	SR	2,00	336,40	50,00
Toluol	PORTO ALEGRE	GUARATINGUETA	SR	0,60	1792,50	15,00
Triunfo	TRUINFO	GUARATINGUETA	SR	2,00	1008,00	50,00
Xilol	CUBATAO	SAO BERNARDO	SR	12,20	2052,04	305,00
Xilol	PAULINA	SAO BERNARDO	SR	0,60	32,60	15,00
Xilol	PORTO ALEGRE	SAO BERNARDO	SR	16,40	42640,00	410,00
Xilol	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	SR	15,40	1429,12	385,00
Xilol	SANTO ANDRE	SAO CAETANO	SR	1,00	87,00	25,00
Xilol	SANTOS	SAO BERNARDO	SR	4,00	988,80	100,00
Xilol	TRUINFO	SAO BERNARDO	SR	8,00	21900,00	200,00

## Variações N°

Prod Acab	Fábricas	Cilindros	Veículos	Vagões	Custo	Ton. Tms.
Acronal Todos	GUARATINGUETA	COTIA	SR	1,00	635,50	25,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	DIADEMA	SR	2,40	1805,76	60,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	FRANCO DA ROCHA	SR	4,40	3293,84	110,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	GUARULHOS	SR	2,00	1250,20	50,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	SAO JOSE DOS PINHAIS	SR	3,80	5187,00	95,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	SAO PAULO	SR	7,40	4977,24	185,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	VINHEDO	SR	2,00	1360,90	50,00
Cola Basfanti Todos	GUARATINGUETA	BLUMENAU	SR	5,40	10030,50	135,00
Cola Basfanti Todos	GUARATINGUETA	COTIA	SR	1,00	635,50	25,00
Cola Basfanti Todos	GUARATINGUETA	DELFIN MOREIRA	SR	0,40	53,36	10,00
Cola Basfanti Todos	GUARATINGUETA	DIADEMA	SR	0,40	300,96	10,00
Cola Basfanti Todos	GUARATINGUETA	GUARULHOS	SR	1,00	625,10	25,00
Cola Basfanti Todos	GUARATINGUETA	JACAREI	SR	3,60	1676,16	90,00
Cola Basfanti Todos	GUARATINGUETA	SIDEROPOLIS	SR	0,40	511,00	10,00
Cola Basfanti Todos	SAO BERNARDO	CASTELO	SR	0,60	639,90	15,00
Disp. Capilar	SANTA CRUZ/RJ	SAPUCAIA	SR	6,40	25456,00	160,00
Helzarn Binder LB 410	GUARATINGUETA	BLUMENAU	SR	1,40	2600,50	35,00
Helzarn Binder LB 410	GUARATINGUETA	MONTES CLAROS	SR	1,80	3721,50	45,00
Selamim Todos	GUARATINGUETA	AMPARO	SR	0,40	277,14	10,00

Syrfran Todos	GUARATINGUETA	CAPIVARI	SR	2,00	1717,40	50,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	DIADEMA	SR	7,20	5417,28	180,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	JABOATAO	SR	2,80	16149,00	70,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	SAO BERNARDO	SR	0,40	296,40	10,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	VARGINHA	SR	2,20	1384,46	55,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	CORDEIROPOLIS	SR	1,20	1067,64	30,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	EMBU	SR	3,00	2262,90	75,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	LUNDIAI	SR	0,60	393,39	15,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	LIBEIRA	SR	8,40	7213,08	210,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	PIRACICABA	SR	3,60	3292,20	90,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	SANTA LUZIA	SR	1,00	1336,50	25,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	SUZANO	SR	22,00	13675,20	550,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	TIHO GRANDE	SR	2,40	3720,00	60,00
Syrfran Todos	GUARATINGUETA	TURVO	SR	4,20	4621,05	105,00
Tilion Todos	GUARATINGUETA	ARACRUZ	SR	3,40	6273,00	85,00
Tilion Todos	GUARATINGUETA	RIO DE JANEIRO	SR	2,80	2078,86	70,00
Vinohan BA 610	SAO BERNARDO	GUARULHOS	SR	4,60	987,16	115,00
Vinohan BA 610	SAO BERNARDO	SALTO	SR	2,20	947,10	55,00

**Básico Inteiro**

Varíaveis N

Mat Prima	Ongens	Fabricas	Vehiculos	Viagens	Custo	Ton. Tms.
Acetato Butila	PAULINA	SAO BERNARDO	SR	1,00	546,00	25,00
Acetato de Etila	MOGI MIRIM	GUARATINGUETA	SR	1,00	688,00	25,00
Acetato de Etila	PAULINA	GUARATINGUETA	TR	1,00	661,54	15,00
Acetato de Etila	PIRACICABA	GUARATINGUETA	SR	1,00	914,50	25,00
Acetato de Etila	SANTOS	GUARATINGUETA	TR	1,00	570,15	15,00
Acetato de Vinilha	RECIFE	JABOATAO	TR	1,00	178,64	15,00
Acetato de Vinilha	RECIFE	JABOATAO	TR	1,00	178,64	15,00
Acetato de Vinilha	SANTOS	JABOATAO	SR	13,00	2639,00	325,00
Acetato de Vinilha	SANTOS	GUARATINGUETA	SR	5,00	1239,50	125,00
Acetato de Vinilha	SANTOS	SANTA CRUZ/RJ	SR	99,00	167062,50	2475,00
Acetato de Vinilha	SANTOS	SAO BERNARDO	TR	1,00	206,71	15,00
Acetato de Vinilha	SANTOS	SAO BERNARDO	SR	167,00	39228,30	4175,00
Acetato de Vinilha	SAO PAULO	SAO BERNARDO	TR	1,00	102,08	15,00
Acetato de Vinilha	SAO PAULO	SAO BERNARDO	TR	1,00	102,08	15,00
Acido Sulfurico	BELFROXO	GUARATINGUETA	SR	59,00	38409,00	1475,00
Acido Sulfurico	BELFROXO	SAO CAETANO	SR	2,00	2160,00	50,00
Acido Sulfurico	CUBATAO	GUARATINGUETA	SR	4,00	2964,00	100,00
Acido Sulfurico	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	SR	20,00	14849,00	500,00
Água Raz	D.CAXIAS	SANTA CRUZ/RJ	SR	7,00	5425,00	175,00
Água Raz	PAULINA	SAO BERNARDO	SR	88,00	48048,00	2200,00
Água Raz	SAO CAETANO	SAO CAETANO	SR	1,00	518,70	25,00
Água Raz	PORTO ALEGRE	SAPUCAIA	TR	1,00	142,91	15,00
Água Raz	PORTO ALEGRE	SAPUCAIA	TR	1,00	142,91	15,00
Água Raz	RIO DE JANEIRO	SANTA CRUZ/RJ	SR	1,00	821,50	25,00
Água Raz	RIO DE JANEIRO	SAO BERNARDO	SR	27,00	32076,00	675,00
Água Raz	OSASCO	SAO BERNARDO	SR	2,00	429,20	50,00
Alcool Etilico	PORTO FELIZ	GUARATINGUETA	TR	1,00	763,84	15,00
Alcool Etilico	PORTO FELIZ	SAO BERNARDO	SR	1,00	159,80	75,00
Estreño	CUBATAO	SAO BERNARDO	TR	1,00	148,02	15,00
Estreño	CUBATAO	SAO BERNARDO	TR	1,00	148,02	15,00
Estreño	GUARATINGUETA	SAO BERNARDO	SR	14,00	2354,80	350,00
Estreño	GUARATINGUETA	SAO BERNARDO	SR	7,00	1187,00	175,00
Estreño	GUARATINGUETA	SAO BERNARDO	SR	42,00	27342,00	1050,00
Estreño	GUARATINGUETA	SAO BERNARDO	SR	7,00	5187,00	175,00
Estreño	GUARATINGUETA	SAO BERNARDO	SR	103,00	66733,70	2575,00
Estreño	SANTOS	GUARATINGUETA	SR	31,00	7281,90	775,00
Estreño	SAO BERNARDO	GUARATINGUETA	SR	3,00	2223,00	75,00
Micromol	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	SR	15,00	11136,75	375,00
Soda Cáustica	CUBATAO	GUARATINGUETA	SR	13,00	9633,00	325,00
Soda Cáustica	CUBATAO	SAO CAETANO	SR	4,00	904,80	100,00
Soda Cáustica	GUARAJUA	GUARATINGUETA	SR	35,00	22785,00	875,00
Solv. p. borracha	PAULINA	SAO BERNARDO	SR	3,00	1638,00	75,00
Solvente AB	PAULINA	SAO BERNARDO	TR	1,00	480,48	15,00
Solvente AB	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	TR	2,00	163,32	30,00
Solvente AB	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	SR	18,00	1670,40	450,00
Solvente AB	SANTOS	SAO BERNARDO	TR	1,00	206,71	15,00
Solvente AB	SANTOS	SAO BERNARDO	SR	2,00	469,80	50,00
Solvente AB	TRIUNFO	GUARATINGUETA	SR	1,00	3112,50	25,00
Solvente AB	TRIUNFO	SAO BERNARDO	SR	3,00	212,50	75,00
Sulfato de Al	CRUZERO	GUARATINGUETA	TR	1,00	216,92	15,00
Sulfato de Al	PORTO FELIZ	SAO CAETANO	SR	7,00	3439,80	175,00
Sulfato de Al	RIO CLARO	GUARATINGUETA	SR	10,00	8140,50	250,00
Sulfato de Al	SANTO ANDRE	SAO CAETANO	TR	1,00	76,56	15,00
Toluiol	CUBATAO	SAO BERNARDO	SR	2,00	336,40	50,00
Toluiol	PORTO ALEGRE	GUARATINGUETA	TR	1,00	2629,00	15,00
Toluiol	TRIUNFO	GUARATINGUETA	SR	2,00	1008,00	50,00
Xilol	CUBATAO	SAO BERNARDO	TR	2,00	295,04	30,00
Xilol	CUBATAO	SAO BERNARDO	SR	11,00	1850,20	275,00
Xilol	PAULINA	SAO BERNARDO	TR	1,00	480,48	15,00
Xilol	PORTO ALEGRE	SAO BERNARDO	SR	17,00	44200,00	425,00
Xilol	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	SR	15,00	1392,00	375,00

XI01	SANTO ANDRE	SANTO ANDRE	TR	1,00	76,56	15,00
XI01	SANTO ANDRE	SANTO ANDRE	SR	1,00	87,00	25,00
XI01	SANTOS	SANTOS	SR	4,00	988,80	100,00
XI01	TRILNFO	TRILNFO	SR	8,00	21900,00	200,00

**Variações N°**

Prod. Acab	Fabricas	Citicos	Veiculos	Viagens	Custo	Ton. Tms.
Acronal Todos	GUARATINGUETA	COTTA	SR	1,00	635,50	25,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	DIADEMA	SR	3,00	2257,20	75,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	FRANCO DA ROCHA	SR	3,00	2257,20	75,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	DIADEMA	SR	3,00	2257,20	75,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	GUARULHOS	SR	5,00	3743,00	125,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	GUARULHOS	SR	2,00	1250,20	50,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	SAO JOSE DOS PINHAIS	SR	4,00	5460,00	100,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	SAO PAULO	SR	8,00	5380,80	200,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	VINHEDO	SR	2,00	1360,90	50,00
Ahrani ST	GUARATINGUETA	TELEMACHO BORBA	SR	5,00	8375,00	125,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	BLUMENAU	SR	6,00	11145,00	150,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	COTTA	SR	1,00	635,50	25,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	DELFIN MOREIRA	TR	1,00	117,39	15,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	DIADEMA	TR	1,00	662,11	15,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	GUARULHOS	SR	1,00	625,10	25,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	JACAREI	TR	1,00	409,73	15,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	JACAREI	SR	3,00	1396,80	75,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	SIDEROPOLIS	TR	1,00	1124,20	15,00
Cola Bastani Todos	SAO BERNARDO	CASTELO	TR	1,00	938,52	15,00
Deep Copolim	SANTA CRUZ/RI	SAPUCAIA	SR	7,00	27842,50	175,00
Heizmann Binder LB 410	GUARATINGUETA	BLUMENAU	SR	2,00	3715,00	50,00
Heizmann Binder LB 410	GUARATINGUETA	MONTES CLAROS	SR	2,00	4135,00	50,00
Soclan Todos	GUARATINGUETA	AMPARO	TR	1,00	609,71	15,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	CAPIVARI	SR	2,00	1717,40	50,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	DIADEMA	SR	8,00	6019,20	200,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	JABOATAO	SR	3,00	17302,50	75,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	SAO BERNARDO	TR	1,00	652,08	15,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	VARGINHA	SR	3,00	1887,90	75,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	CORDEIROPOLIS	SR	2,00	1779,40	50,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	EMBU	SR	3,00	2262,90	75,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	JUNDIAI	TR	1,00	576,97	15,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	LIMEIRA	SR	9,00	7728,30	225,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	PIRACICABA	SR	4,00	3658,00	100,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	SANTA LUZIA	SR	1,00	1336,50	25,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	SUZANA	SR	22,00	13675,20	550,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	TIMBO GRANDE	SR	3,00	4650,00	75,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	TURVO	SR	5,00	5501,25	125,00
Trilon Todos	GUARATINGUETA	ARACRUZ	SR	4,00	7380,00	100,00
Trilon Todos	GUARATINGUETA	RIO DE JANEIRO	SR	3,00	2227,35	75,00
Vinohan BA 610	SAO BERNARDO	GUARULHOS	TR	1,00	188,85	15,00
Vinohan BA 610	SAO BERNARDO	GUARULHOS	SR	4,00	858,40	100,00
Vinohan BA 610	SAO BERNARDO	SALTO	SR	3,00	1291,50	75,00

**OFC**

**Rotas OF**

Mat. Prima	Ongens	Fabricas	tipo	Veiculos	Viagens	Custo	Ton. Tms.
Acetato Buntia	PAULINA	SAO BERNARDO	OF	SR	1,00	546,00	25,00
Acetato Buntia	SANTOS	SAO BERNARDO	OF	SR	19,00	4793,70	475,00
Acetato de Etila	MOGI MIRIM	GUARATINGUETA	OF	SR	1,00	868,00	25,00
Acetato de Etila	PAULINA	GUARATINGUETA	OF	TR	1,00	661,54	15,00
Acetato de Etila	PIRACICABA	GUARATINGUETA	OF	SR	1,00	914,50	25,00
Acetato de Etila	SANTOS	GUARATINGUETA	OF	TR	1,00	570,15	15,00
Acetato de Vinila	SANTOS	GUARATINGUETA	OF	SR	5,00	3239,50	125,00
Acetato de Vinila	RECIFE	JABOATAO	OF	TR	1,00	178,64	15,00
Acetato de Vinila	RECIFE	JABOATAO	OF	SR	13,00	2639,00	325,00
Acetato de Vinila	SANTOS	SANTA CRUZ/RI	OF	SR	99,00	167062,50	2475,00
Acetato de Vinila	SANTOS	SAO BERNARDO	OF	TR	1,00	206,71	15,00
Acetato de Vinila	SANTOS	SAO BERNARDO	OF	SR	167,00	39228,30	4175,00
Acetato de Vinila	SAO PAULO	SAO BERNARDO	OF	TR	1,00	102,08	15,00
Acetato de Vinila	SAO PAULO	SAO BERNARDO	OF	SR	5,00	580,00	125,00
Acido Sulfureo	BELF ROXO	GUARATINGUETA	OF	SR	19,00	12369,00	475,00
Acido Sulfureo	BELF ROXO	GUARATINGUETA	OF	SR	1,00	1066,20	25,00
Acido Sulfureo	BELF ROXO	GUARATINGUETA	OF	SR	3,00	3191,40	75,00
Acido Sulfureo	BELF ROXO	GUARATINGUETA	OF	SR	2,00	2874,60	50,00
Acido Sulfureo	BELF ROXO	GUARATINGUETA	OF	SR	8,00	8126,40	200,00
Acido Sulfureo	BELF ROXO	GUARATINGUETA	OF	SR	1,00	664,60	25,00
Acido Sulfureo	BELF ROXO	GUARATINGUETA	OF	TR	1,00	785,62	15,00
Acido Sulfureo	BELF ROXO	GUARATINGUETA	OF	SR	1,00	872,30	25,00
Acido Sulfureo	BELF ROXO	GUARATINGUETA	OF	SR	2,00	2132,40	50,00
Acido Sulfureo	BELF ROXO	GUARATINGUETA	OF	SR	1,00	3474,75	25,00
Acido Sulfureo	BELF ROXO	GUARATINGUETA	OF	SR	9,00	10554,30	225,00
Acido Sulfureo	BELF ROXO	GUARATINGUETA	OF	SR	12,00	11354,40	300,00
Acido Sulfureo	CUBATAO	GUARATINGUETA	OF	SR	1,00	1084,50	25,00
Acido Sulfureo	CUBATAO	GUARATINGUETA	OF	SR	2,00	2157,90	50,00
Acido Sulfureo	CUBATAO	GUARATINGUETA	OF	SR	1,00	1081,35	25,00
Acido Sulfureo	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	OF	SR	2,00	2469,30	50,00



Prod Acab	Fabricas	Clientes	TIPO	Veiculos	Vagens	Custo	Ton. Tms
Acido Sulfureo	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	OFC	SR	6,00	6768,90	150,00
Acido Sulfureo	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	3366,70	75,00
Acido Sulfureo	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	OFC	SR	3,00	3388,05	75,00
Acido Sulfureo	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	1097,10	25,00
Acido Sulfureo	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	OFC	SR	4,00	6597,00	100,00
Acido Sulfureo	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	OFC	SR	3,00	3467,70	75,00
Acido Sulfureo	BELF. ROXO	SAO CAETANO	OFC	SR	2,00	2160,00	50,00
Água Raz	D. CAXIAS	SANTA CRUZ/RJ	OFC	SR	7,00	5425,00	175,00
Água Raz	RIO DE JANEIRO	SANTA CRUZ/RJ	OFC	SR	1,00	821,50	25,00
Água Raz	RIO DE JANEIRO	SAO BERNARDO	OFC	SR	88,00	48048,00	2200,00
Água Raz	RIO DE JANEIRO	SAO BERNARDO	OFC	SR	27,00	32076,00	675,00
Água Raz	PAULINA	SAO CAETANO	OFC	TR	1,00	456,46	15,00
Água Raz	RIO DE JANEIRO	SAO CAETANO	OFC	TR	1,00	456,46	15,00
Água Raz	RIO DE JANEIRO	SAO CAETANO	OFC	SR	5,00	5764,50	125,00
Água Raz	PORTO ALEGRE	SAPUCAIA	OFC	TR	1,00	142,91	15,00
Água Raz	PORTO ALEGRE	SAPUCAIA	OFC	TR	1,00	162,40	25,00
Alcool Etilico	PORTO FELIZ	GUARATINGUETA	OFC	TR	1,00	763,84	15,00
Alcool Etilico	OSASCO	SAO BERNARDO	OFC	SR	2,00	429,20	50,00
Alcool Etilico	PORTO FELIZ	SAO BERNARDO	OFC	SR	3,00	1549,80	75,00
Estreño	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	42,00	27342,00	1050,00
Estreño	SANTOS	GUARATINGUETA	OFC	SR	103,00	66733,70	2575,00
Estreño	SAO BERNARDO	GUARATINGUETA	OFC	SR	3,00	2223,00	75,00
Estreño	CUBATAO	SAO BERNARDO	OFC	TR	1,00	148,02	15,00
Estreño	CUBATAO	SAO BERNARDO	OFC	TR	1,00	148,02	15,00
Estreño	CUBATAO	SAO BERNARDO	OFC	SR	14,00	2354,80	350,00
Estreño	GUARATINGUETA	SAO BERNARDO	OFC	SR	7,00	5187,00	175,00
Mécanol	RIO DE JANEIRO	GUARATINGUETA	OFC	SR	15,00	11136,75	375,00
Soda Cáustica	CUBATAO	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	1093,20	25,00
Soda Cáustica	CUBATAO	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	1090,80	25,00
Soda Cáustica	CUBATAO	GUARATINGUETA	OFC	SR	3,00	3132,90	75,00
Soda Cáustica	CUBATAO	GUARATINGUETA	OFC	SR	2,00	2441,40	50,00
Soda Cáustica	CUBATAO	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	1385,25	25,00
Soda Cáustica	CUBATAO	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	6248,15	125,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	651,00	25,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	2,00	1971,60	50,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	1437,30	25,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	5,00	7477,50	125,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	6,00	9564,30	150,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	1021,50	25,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	664,60	25,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	1066,20	25,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	985,80	25,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	872,30	25,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	2,00	3188,10	50,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	2,00	3414,90	50,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	3474,75	25,00
Soda Cáustica	GUARUJA	GUARATINGUETA	OFC	SR	10,00	9462,00	250,00
Soda Cáustica	CUBATAO	SAO CAETANO	OFC	SR	4,00	904,80	100,00
Solv. p/ borracha	PAULINA	SAO BERNARDO	OFC	SR	3,00	1638,00	75,00
Solvente AB	TRUNFO	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	3112,50	25,00
Solvente AB	PAULINA	SAO BERNARDO	OFC	TR	1,00	480,48	15,00
Solvente AB	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	OFC	TR	2,00	163,32	30,00
Solvente AB	SANTOS	SAO BERNARDO	OFC	TR	18,00	1670,40	450,00
Solvente AB	SANTOS	SAO BERNARDO	OFC	TR	1,00	206,71	15,00
Solvente AB	SANTOS	SAO BERNARDO	OFC	SR	2,00	469,80	50,00
Solvente AB	TRUNFO	SAO BERNARDO	OFC	SR	3,00	8212,50	75,00
Solvente de Al	CRUZEIRO	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	1119,55	25,00
Solvente de Al	RIO CLARO	GUARATINGUETA	OFC	TR	1,00	955,46	15,00
Solvente de Al	RIO CLARO	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	1198,05	25,00
Solvente de Al	RIO CLARO	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	1195,65	25,00
Solvente de Al	RIO CLARO	GUARATINGUETA	OFC	SR	1,00	1190,85	25,00
Solvente de Al	RIO CLARO	GUARATINGUETA	OFC	SR	4,00	5369,40	100,00
Solvente de Al	RIO CLARO	GUARATINGUETA	OFC	SR	3,00	4679,55	75,00
Solvente de Al	PORTO FELIZ	SAO CAETANO	OFC	SR	7,00	3439,80	175,00
Solvente de Al	SANTO ANDRE	SAO CAETANO	OFC	TR	1,00	76,56	15,00
Toluol	PORTO ALEGRE	GUARATINGUETA	OFC	TR	1,00	2629,00	15,00
Toluol	TRUNFO	GUARATINGUETA	OFC	SR	2,00	1008,00	50,00
Toluol	CUBATAO	SAO BERNARDO	OFC	SR	2,00	336,40	50,00
Xilol	CUBATAO	SAO BERNARDO	OFC	TR	2,00	296,04	30,00
Xilol	CUBATAO	SAO BERNARDO	OFC	TR	11,00	1850,20	275,00
Xilol	PAULINA	SAO BERNARDO	OFC	TR	1,00	480,48	15,00
Xilol	PORTO ALEGRE	SAO BERNARDO	OFC	SR	17,00	41200,00	425,00
Xilol	SANTOS	SAO BERNARDO	OFC	SR	15,00	1392,00	375,00
Xilol	TRUNFO	SAO BERNARDO	OFC	SR	4,00	988,80	100,00
Xilol	SANTO ANDRE	SAO CAETANO	OFC	TR	8,00	21900,00	200,00
Xilol	SANTO ANDRE	SAO CAETANO	OFC	TR	1,00	76,56	15,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	COITA	OFC	SR	1,00	1048,50	25,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	DIADEMA	OFC	SR	1,00	1066,20	25,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	DIADEMA	OFC	SR	1,00	1093,20	25,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	DIADEMA	OFC	SR	1,00	1198,05	25,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	FRANCO DA ROCHA	OFC	SR	3,00	3191,40	75,00

Rotas FC







Prod Acab	Fabricas	Cheritas	Tipo	Veiculos	Viagens	Custo	Ton. Tms.
Salitao de Al	RIO CLARO	GUARATINGUETA	OF OF	SR	1,00	886,60	25,00
Salitao de Al	PORTO FELIZ	SAO CAETANO	OF OF	SR	2,00	2006,40	50,00
Salitao de Al	SANTO ANDRE	SAO CAETANO	OF OF	SR	5,00	5016,00	125,00
Toluiol	PORTO ALEGRE	GUARATINGUETA	OF OF	TR	1,00	76,56	15,00
Toluiol	TRUNFO	GUARATINGUETA	OF OF	TR	1,00	2499,38	15,00
Toluiol	CUBATAO	GUARATINGUETA	OF OF	SR	2,00	1008,00	50,00
Xiloi	CUBATAO	SAO BERNARDO	OF OF	SR	11,00	2147,20	275,00
Xiloi	CUBATAO	SAO BERNARDO	OF OF	SR	1,00	747,70	25,00
Xiloi	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	OF OF	SR	2,00	256,00	50,00
Xiloi	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	OF OF	SR	11,00	2147,20	275,00
Xiloi	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	OF OF	SR	17,00	39233,30	425,00
Xiloi	PORTO ALEGRE	SAO BERNARDO	OF OF	SR	1,00	966,90	25,00
Xiloi	PAULINA	SAO BERNARDO	OF OF	SR	1,00	966,90	25,00
Xiloi	SANTOS	SAO BERNARDO	OF OF	SR	2,00	256,00	50,00
Xiloi	SANTOS	SAO BERNARDO	OF OF	SR	2,00	1608,50	50,00
Xiloi	TRUNFO	SAO BERNARDO	OF OF	SR	2,00	503,50	50,00
Xiloi	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	OF OF	SR	8,00	16189,20	200,00
Xiloi	SAO CAETANO	SAO CAETANO	OF OF	SR	2,00	256,00	50,00
Xiloi	SAO CAETANO	SAO CAETANO	OF OF	SR	1,00	192,00	25,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	FRANCO DA ROCHA	OF OF	SR	5,00	5628,75	125,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	GUARULHOS	OF OF	SR	1,00	1012,80	25,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	GUARULHOS	OF OF	SR	1,00	985,80	25,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	SAO JOSE DOS PINHAIS	OF OF	SR	2,00	2874,60	50,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	SAO JOSE DOS PINHAIS	OF OF	SR	1,00	1499,25	25,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	SAO JOSE DOS PINHAIS	OF OF	SR	1,00	1437,30	25,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	SAO PAULO	OF OF	SR	8,00	8126,40	200,00
Acronal Todos	GUARATINGUETA	TELHAYACO BOBBA	OF OF	SR	5,00	8136,75	125,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	BLUMENAU	OF OF	SR	6,00	9564,30	150,00
Cola Bastani Todos	SAO BERNARDO	CASTELO	FC FC	SR	1,00	3416,85	25,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	COTIA	OF OF	SR	1,00	1083,45	25,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	DELFIN MOREIRA	OF OF	SR	1,00	664,60	25,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	DIADAMA	OF OF	SR	1,00	1128,15	25,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	GUARULHOS	OF OF	SR	1,00	985,80	25,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	JACAREI	FC FC	SR	1,00	465,60	25,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	JACAREI	OF OF	SR	1,00	2616,90	75,00
Cola Bastani Todos	GUARATINGUETA	SIDEROPOLIS	OF OF	SR	1,00	1445,00	25,00
Disp Copolim	SANTA CRUZ/RJ	SAPUCAIA	FC FC	SR	2,00	5918,10	50,00
Disp Copolim	SANTA CRUZ/RJ	SAPUCAIA	FC FC	SR	1,00	3097,75	25,00
Disp Copolim	SANTA CRUZ/RJ	SAPUCAIA	FC FC	SR	1,00	3416,85	25,00
Disp Copolim	SANTA CRUZ/RJ	SAPUCAIA	FC FC	SR	3,00	9129,60	75,00
Heilzahn Binder LB 410	GUARATINGUETA	BLUMENAU	OF OF	SR	2,00	3451,80	50,00
Heilzahn Binder LB 410	GUARATINGUETA	MONTES CLAROS	OF OF	SR	1,00	1769,40	25,00
Heilzahn Binder LB 410	GUARATINGUETA	MONTES CLAROS	OF OF	SR	1,00	1707,45	25,00
Sokran Todos	GUARATINGUETA	AMBARO	OF OF	SR	1,00	1122,30	25,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	CAPVARI	OF OF	SR	1,00	1172,70	25,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	CAPVARI	OF OF	SR	1,00	1172,70	25,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	DIADAMA	OF OF	SR	1,00	1172,70	25,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	DIADAMA	OF OF	SR	8,00	8529,60	200,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	JABOATAO	OF OF	SR	3,00	10424,25	75,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	SAO BERNARDO	OF OF	SR	1,00	1059,00	25,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	VARGINHA	OF OF	SR	3,00	3227,75	75,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	CORDEIROPOLIS	OF OF	SR	2,00	2387,40	50,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	EMBU	OF OF	SR	3,00	3202,20	75,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	JUNDIAI	OF OF	SR	1,00	1097,10	25,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	LIMEIRA	OF OF	SR	9,00	10554,30	225,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	PIRACIGABA	OF OF	SR	4,00	4842,00	100,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	SANTA LUZIA	OF OF	SR	1,00	1358,25	25,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	SUZANO	OF OF	SR	22,00	20816,40	550,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	TIMBO GRANDE	OF OF	SR	3,00	4469,85	75,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	TURVO	OF OF	SR	4,00	4890,52	100,00
Syrfan Todos	GUARATINGUETA	TURVO	OF OF	SR	1,00	1284,58	25,00
Tilion Todos	GUARATINGUETA	ARACRUZ	OF OF	SR	4,00	6349,20	100,00
Viamon BA 610	SAO BERNARDO	GUARULHOS	FC FC	SR	3,00	9129,60	75,00
Viamon BA 610	SAO BERNARDO	GUARULHOS	FC FC	SR	1,00	214,60	25,00
Viamon BA 610	SAO BERNARDO	GUARULHOS	FC FC	SR	2,00	1121,20	50,00
Viamon BA 610	SAO BERNARDO	SALTO	FC FC	SR	1,00	3097,75	25,00
Viamon BA 610	SAO BERNARDO	SALTO	FC FC	SR	2,00	1121,20	50,00

Rotas OF

Salitao de Al	RIO CLARO	GUARATINGUETA	OF OF	SR	1,00	886,60	25,00
Salitao de Al	PORTO FELIZ	SAO CAETANO	OF OF	SR	2,00	2006,40	50,00
Salitao de Al	SANTO ANDRE	SAO CAETANO	OF OF	SR	5,00	5016,00	125,00
Toluiol	PORTO ALEGRE	GUARATINGUETA	OF OF	TR	1,00	76,56	15,00
Toluiol	TRUNFO	GUARATINGUETA	OF OF	TR	1,00	2499,38	15,00
Toluiol	CUBATAO	GUARATINGUETA	OF OF	SR	2,00	1008,00	50,00
Xiloi	CUBATAO	SAO BERNARDO	OF OF	SR	11,00	2147,20	275,00
Xiloi	CUBATAO	SAO BERNARDO	OF OF	SR	1,00	747,70	25,00
Xiloi	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	OF OF	SR	2,00	256,00	50,00
Xiloi	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	OF OF	SR	11,00	2147,20	275,00
Xiloi	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	OF OF	SR	17,00	39233,30	425,00
Xiloi	PORTO ALEGRE	SAO BERNARDO	OF OF	SR	1,00	966,90	25,00
Xiloi	PAULINA	SAO BERNARDO	OF OF	SR	1,00	966,90	25,00
Xiloi	SANTOS	SAO BERNARDO	OF OF	SR	2,00	256,00	50,00
Xiloi	SANTOS	SAO BERNARDO	OF OF	SR	2,00	1608,50	50,00
Xiloi	TRUNFO	SAO BERNARDO	OF OF	SR	2,00	503,50	50,00
Xiloi	SANTO ANDRE	SAO BERNARDO	OF OF	SR	8,00	16189,20	200,00
Xiloi	SAO CAETANO	SAO CAETANO	OF OF	SR	2,00	256,00	50,00
Xiloi	SAO CAETANO	SAO CAETANO	OF OF	SR	1,00	192,00	25,00