

LIVIA SANCHES MASIERO

PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE
FROTA PARA UMA TRANSPORTADORA

Trabalho de Formatura apresentado
à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção do
diploma de Engenheira de Produção

São Paulo, 2008

LIVIA SANCHES MASIERO

PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE
FROTA PARA UMA TRANSPORTADORA

Trabalho de Formatura apresentado
à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção do
diploma de Engenheira de Produção

Orientador: Prof. Dr. Hugo T. Y. Yoshizaki

São Paulo, 2008

*Dedico este trabalho
aos meus pais, Vera e Paulo,
e ao meu irmão Bruno.*

*Não existem métodos fáceis para
resolver problemas difíceis*

René Descartes

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Hugo T. Y. Yoshizaki pela orientação.

Ao Prof. Dr. Cláudio Barbieri da Cunha e ao mestre Fabiano Stringher pela ajuda em momentos importantes do desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu pai, Prof. Dr. Paulo Cesar Masiero, pelo apoio, motivação e valiosas sugestões.

À minha mãe, Vera, ao meu irmão, Bruno e ao meu namorado, Marcos, pela constante preocupação, suporte e apoio.

Aos amigos de todos os anos que passei na Escola Politécnica – aos que já se formaram, aos que compartilham este momento comigo e aos que ficam – pelas boas recordações.

À minha equipe de trabalho pelos ensinamentos, orientação e paciência.

RESUMO

Neste trabalho de formatura é proposta uma abordagem para o dimensionamento da frota de uma transportadora. Seu principal objetivo é indicar para cada rota o tipo e quantidade do veículo mais adequado, com o objetivo de minimizar o custo da operação. Adotou-se um método em quatro fases para a resolução do problema. Na primeira fase identificam-se os caminhos possíveis para realizar o transporte de carga de uma origem a um destino. A segunda fase determina a solução inicial e seu custo. Na terceira fase é implementado um método heurístico com o objetivo de melhorar a solução inicial. Por fim, a quarta fase avalia quais rotas são candidatas a terceirização.

Palavras-chave: Logística. Heurística. Transporte de carga.

ABSTRACT

This graduation thesis proposes an approach for the fleet sizing of a road transportation company. Its main objective is to define the type and the quantity needed of the most appropriate vehicle for each route, in order to minimize operational costs. The resolution of the problem was based on a four phased method. In the first phase all possible paths that connect a given source to a given sink are identified. In the second phase the initial solution is chosen and its cost is calculated. The third phase implements a heuristic method that improves the initial solution. Finally, the fourth phase evaluates which routes are candidates for outsourcing.

Keywords: Logistic. Heuristic. Truckload.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Participação do modal rodoviário nas empresas	1
Figura 2. Contribuição dos segmentos industriais na composição da receita da transportadora	4
Figura 3. Participação de cada unidade de negócio no faturamento 2007 total da transportadora	5
Figura 4. Modelos de transporte – Carga Fracionada e Carga de Lotação.....	5
Figura 5. Localização de depósito pelo país.....	6
Figura 6. Origem e destino de carga por estado	6
Figura 7. Ilustração: rotas de coleta e entrega e rotas de transferência	8
Figura 8. Fluxograma Macro de atividades da transportadora	26
Figura 9. Localização de <i>hubs</i> e depósitos pelo país	28
Figura 10. Quantidade de rotas por tipo	28
Figura 11. Tipos de rota e eventos existentes	29
Figura 12. Distribuição de quilometragem das rotas	29
Figura 13. Comparação de padrão de quilometragem por tipo de rota	30
Figura 14. Tipo de veículo utilizado por faixas de distância.....	30
Figura 15. Definição de conceitos – perna, rota e caminho	31
Figura 16. Estrutura lógica do programa de dimensionamento de frota	39
Figura 17. Tipos de caminhos gerados	41
Figura 18. Pseudocódigo para geração de caminhos diretos	42
Figura 19. Pseudocódigo para geração de caminhos que passam por um <i>hub</i>	44
Figura 20. Pseudocódigo para determinação do menor caminho por par OD.....	45
Figura 21. Pseudocódigo para determinação da produtividade de cada rota.....	48

Figura 22. Pseudocódigo para determinação da regra de distribuição (Continua).....	51
Figura 23. Pseudocódigo para geração das tabelas de fluxo diário por trecho.....	54
Figura 24. Pseudocódigo para determinação da necessidade diária de veículos.....	57
Figura 25. Pseudocódigo para determinação da necessidade de veículo por rota.....	59
Figura 26. Pseudocódigo para cálculo do custo total de transporte.....	61
Figura 27. Pseudocódigo para cálculo do custo total de manuseio	62
Figura 28. Pseudocódigo de implementação da heurística baseada em busca tabu	65
Figura 29. Grafo ilustrativo do problema teste.....	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Custo final de cada cenário em relação ao custo da solução inicial.....	70
Gráfico 2. Análise de sensibilidade do modelo a variações na demanda	73
Gráfico 3. Análise de sensibilidade do modelo a variações no nível de atendimento.....	74
Gráfico 4. Análise de sensibilidade do modelo a variações no custo fixo	74
Gráfico 5. Análise de sensibilidade do modelo a variações no custo variável.....	75
Gráfico 6. Análise de sensibilidade do modelo a variações no frete.....	76
Gráfico 7. Análise de sensibilidade do modelo a variações no custo fixo, aplicada ao problema real	81
Gráfico 8. Análise de sensibilidade do modelo a variações no custo variável, aplicada ao problema real	82
Gráfico 9. Análise de sensibilidade do modelo a variações no frete, aplicada ao problema real	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Taxonomia de problemas de roteirização e programação de veículos	13
Tabela 2. Custo de transporte segmentados segundo Alvarenga e Novaes (2000)	19
Tabela 3. Veículos de referência para a realização do trabalho	31
Tabela 4. Custo total de transporte de carga de transferência	34
Tabela 5. Exemplo de tabela de entrada de dados utilizada na primeira etapa	41
Tabela 6. Exemplo da tabela de saída da fase um	45
Tabela 7. Dados de entrada para cálculo da produtividade	47
Tabela 8. Saída da fase de produtividade – produtividade por rota	48
Tabela 9. Exemplo de tabela de regra de distribuição gerada para todos os caminhos do espaço-solução	49
Tabela 10. Regra de distribuição em forma de matriz gerada somente para os caminhos da solução inicial	50
Tabela 11. Tabela de demanda diária em toneladas	52
Tabela 12. Tabela de demanda diária em m ³	52
Tabela 13. Fluxo diário de carga por trecho	53
Tabela 14. Dados de capacidade por caminhão	54
Tabela 15. Tabela de entrada – nível de atendimento	55
Tabela 16. Necessidade diária de caminhões por trecho	56
Tabela 17. Tabela de número total de veículo por rota para cada tipo de veículo	59
Tabela 18. Entrada dos dados de custo	60
Tabela 19. Dimensionamento por rota – Solução inicial	60
Tabela 20. Resultados do modelo aplicado ao exemplo – Solução inicial	69

Tabela 21. Cenários para calibração dos parâmetros da meta-heurística de busca tabu	70
Tabela 22. Resultados gerais da meta-heurística de busca-tabu aplicada ao exemplo	71
Tabela 23. Resultados da meta-heurística de busca-tabu aplicada ao exemplo: veículos por rota	71
Tabela 24. Configuração das rotas do problema-teste após fase quatro	72
Tabela 25. Custo das rotas do problema-teste após a fase quatro	72
Tabela 26. Tipos de caminhos pertencentes ao espaço-solução	77
Tabela 27. Dimensionamento da frota com base na solução inicial	77
Tabela 28. Veículo indicado para cada rota com base na solução inicial	78
Tabela 29. Dimensionamento da frota com base na otimização heurística	78
Tabela 30. Veículo indicado para cada rota com base na otimização heurística	78
Tabela 31. Modificação das categorias de custo após fase quatro	79
Tabela 32. Sistemas de rota adotados	80
Tabela 33. Composição da frota própria	80

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTO DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	1
1.2	ESCOPO DESTE TRABALHO	3
1.3	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	4
1.4	RELEVÂNCIA DO ESTUDO PARA A EMPRESA	8
1.5	MOTIVAÇÕES.....	9
1.6	OBJETIVOS.....	9
1.7	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	INTRODUÇÃO - O PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES	11
2.2	DIMENSIONAMENTO DE FROTA COMO RESULTADO DA ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS	12
2.3	DIMENSIONAMENTO DE FROTA COM BASE NO TEMPO DE CICLO DO ATIVO	16
2.4	PRECIFICAÇÃO DE VEÍCULOS	18
2.5	META-HEURÍSTICA E BUSCA TABU.....	22
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
3	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DA TRANSPORTADORA.....	25
3.1	ATIVIDADES	25
3.2	DEPÓSITOS.....	27
3.3	ROTAS	28
3.4	VEÍCULOS	31
3.5	TEMPOS E HORÁRIOS	32
3.6	DEMANDA	33
3.7	CUSTOS	33
4	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	35
4.1	DELIMITAÇÃO DO ESCOPO	35
4.2	CARACTERÍSTICAS DO PROBLEMA	35
5	ABORDAGEM	38
5.1	PRIMEIRA FASE: CAMINHOS	40

5.2	DIMENSIONAMENTO E CUSTEIO	46
5.1.1	<i>1º Passo: Cálculo da produtividade de cada rota.....</i>	46
5.1.2	<i>2º Passo: Cálculo da regra de distribuição da demanda.....</i>	49
5.1.3	<i>3º Passo: Determinação do fluxo de carga diário por trecho</i>	52
5.1.4	<i>4º Passo: Determinação da necessidade diária de veículo por trecho</i>	54
5.1.5	<i>5º Passo: Determinação da necessidade de veículo por rota</i>	58
5.1.6	<i>6º Passo: Cálculo do custo da solução inicial</i>	59
5.3	MELHORIA	62
5.4	ANÁLISE DE OPORTUNIDADES.....	66
6	APLICAÇÃO A UM CASO TESTE	68
6.1	RESULTADOS	68
6.1.1	<i>Fases um e dois.....</i>	69
6.1.2	<i>Fase três: melhoria.....</i>	69
6.1.3	<i>Fase quatro: análise de oportunidades</i>	71
6.2	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	72
6.2.1	<i>Demanda.....</i>	73
6.2.2	<i>Nível de Atendimento.....</i>	73
6.2.3	<i>Custo Fixo.....</i>	74
6.2.4	<i>Custo Variável.....</i>	75
6.2.5	<i>Preço do frete</i>	75
6.2.6	<i>Considerações finais.....</i>	76
7	RESULTADOS	77
7.1	FASES UM E DOIS	77
7.2	FASE TRÊS	78
7.3	FASE QUATRO	79
7.4	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	80
7.4.1	<i>Custo Fixo.....</i>	81
7.4.2	<i>Custo Variável.....</i>	81
7.4.3	<i>Frete.....</i>	82
8	CONCLUSÕES.....	83
8.1	CONTRIBUIÇÕES	83
8.2	PRÓXIMOS PASSOS	84

BIBLIOGRAFIA86

ANEXO A.....89

ANEXO B.....93

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o objetivo deste trabalho, mostrando o contexto em que foi desenvolvido e sua relevância.

1.1 CONTEXTO DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O modal de transporte mais utilizado no Brasil é o rodoviário e esta mesma tendência se mantém no transporte de cargas, cujo setor abrange 1,79 milhão de caminhões no país. A principal conclusão da pesquisa “Gestão do Transporte Rodoviário de Cargas nas Empresas - Práticas e Tendências - 2007”, realizada pelo CEL/Coppead é que, em média, as grandes empresas transportam 88,3% de suas cargas por rodovia (Lima, 2008). De todas as empresas entrevistadas, um terço utiliza somente o modal rodoviário na movimentação de suas cargas e apenas 6% apontam utilizar predominantemente outros modais (O Estado de São Paulo, Julho de 2008). A pesquisa afirma ainda que a falta de investimentos em infra-estrutura no país é um obstáculo à reestruturação da matriz de transportes e ao desenvolvimento econômico e, portanto, o modal rodoviário deve manter-se importante no transporte de cargas.

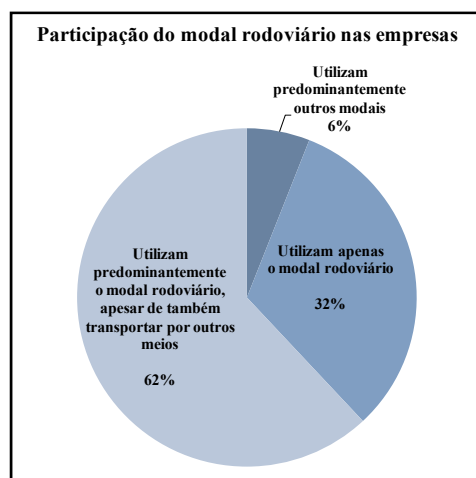


Figura 1. Participação do modal rodoviário nas empresas

FONTE: Panorama Logístico CEL/COPPEAD – Gestão do Transporte Rodoviário de Cargas nas Empresas - Práticas e Tendências - 2007 (dados relativos ao ano de 2006)

O custo logístico está se tornando cada vez mais um diferencial competitivo entre empresas e para que as embarcadoras¹ possam se sustentar no mercado, reduzir seus custos e melhorar os serviços oferecidos, é necessário que sejam tomadas diversas iniciativas para o aumento da eficiência do transporte rodoviário.

A demanda aquecida do início do ano causou a recusa de serviços por parte das transportadoras e também uma retomada de reajustes de fretes para preços acima da inflação do setor. Até Agosto de 2008 os reajustes foram de, em média, 6% e chegando a 7,2% entre as maiores transportadoras do setor. Contudo, suas margens não aumentaram significativamente. Entre 2001 e 2006, saíram dos 1,5% para 2%, mas a intenção é ampliá-las ainda mais, segundo reportagem publicada pela Gazeta Mercantil.

Essa mesma reportagem do Jornal “O Estado de São Paulo”, citada no primeiro parágrafo, mostra que o transporte rodoviário de cargas há anos vivia uma situação desfavorável. Porém, com o PIB crescendo desde 2005 a 4,7% ao ano e as exportações nesse período aumentando a 18% ao ano, a situação mudou e a demanda por transporte rodoviário ficou maior que a oferta. Especialistas prevêem uma piora nesse cenário, com a interiorização da produção agrícola. As estimativas de aumento da produção de soja e cana e a grande inércia necessária para provocar mudanças na matriz de transportes do país levam a crer que haverá um aumento na demanda por transporte rodoviário.

Hoje, a capacidade de oferta de empresas transportadoras está no limite. Apenas 20% trabalham com alguma folga; 52% estão sem folga alguma no seu atendimento; e 28% simplesmente não conseguem dar conta de toda a demanda.

Apesar da crise atual, a demanda por transportes só diminuirá caso o país passe a ter crescimento negativo. Portanto, pode-se concluir que a indústria de transporte rodoviário no Brasil está passando por um bom momento. No entanto, para que consigam manter suas margens e aumentar a capacidade de carga devem fazer um bom planejamento de suas operações. Este trabalho de formatura utiliza uma metodologia de dimensionamento de frota que se for corretamente empregada pelas transportadoras poderá contribuir para o aumento de sua capacidade.

¹ Empresas embarcadoras são as empresas que contratam os serviços de transportadoras

1.2 ESCOPO DESTE TRABALHO

Este trabalho de formatura é parte de um projeto de escopo mais abrangente desenvolvido pela empresa de consultoria A.T. Kearney para um grupo que atua no setor logístico. A empresa cliente tem sede fora do Brasil e está presente em mais de 200 países. A liderança em mercados emergentes é um dos seus principais objetivos estratégicos. Como esse objetivo adquiriu recentemente empresas de transporte nos principais países emergentes, entre as quais está a transportadora brasileira que é o foco deste trabalho.

O projeto desenvolvido teve como objetivo a melhoria da operação da unidade de negócio de transporte rodoviário do grupo e a busca de sinergias entre as diferentes áreas de negócio. A equipe de consultores da A.T. Kearney São Paulo estudou, mais especificamente, como melhorar as operações da transportadora.

O escopo do projeto desenvolvido no Brasil foi dividido em:

- Definir uma rede de distribuição logística que atendesse às previsões de crescimento de demanda em um horizonte de cinco anos;
- Identificar oportunidades de melhoria em diversas áreas:
 - Sistema de tarifação;
 - Política interna para frota de veículos;
 - Operação das rotas de transferência;
 - Operação das rotas de coleta e entrega;
 - Operação no depósito.
- Redesenho de *layout* e revisão detalhada de processos em dois armazéns pilotos;
- Apoio à implementação do projeto e definição de indicadores de desempenho para acompanhar as melhorias propostas.

O projeto teve início em Dezembro de 2007 com duração de 14 semanas. Este trabalho de formatura foi resultado da participação da autora como responsável pela identificação de melhorias na política interna da frota de veículos da transportadora.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A transportadora brasileira é a líder do mercado de remessas expressas nacional e detém 15% de participação nesse segmento. A liderança nos transportes nacional é garantida por um portfólio de 80.000 clientes, dos quais 35.000 são clientes recorrentes que utilizam os serviços da empresa todos os meses.

Em 2006 a empresa teve faturamento na ordem de centenas de milhões de reais e, nesta última década, suas receitas apresentaram crescimento de cerca de 15% ao ano. O faturamento da transportadora provém da distribuição de cargas pertencentes a diferentes setores da economia, sendo que os setores de calçados, automotivo, têxtil, farmacêutico e de computadores são os mais importantes para a empresa (ver Figura 2).

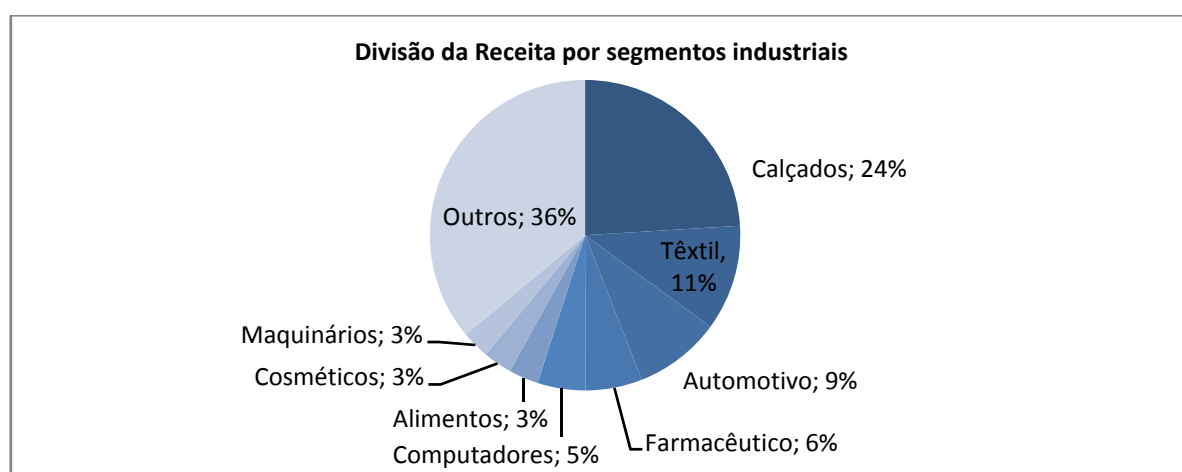


Figura 2. Contribuição dos segmentos industriais na composição da receita da transportadora
FONTE: Análise A. T. Kearney

A transportadora atua em cinco segmentos: transporte rodoviário nacional, transporte rodoviário internacional, transporte aéreo nacional, transporte aéreo internacional e soluções logísticas integradas. Em 2007, o negócio mais importante para a empresa foi o transporte rodoviário nacional e as outras atividades obtiveram baixa participação no faturamento (ver

Figura 3). Contudo, com a compra pelo grupo internacional, as outras atividades devem ganhar mais importância.

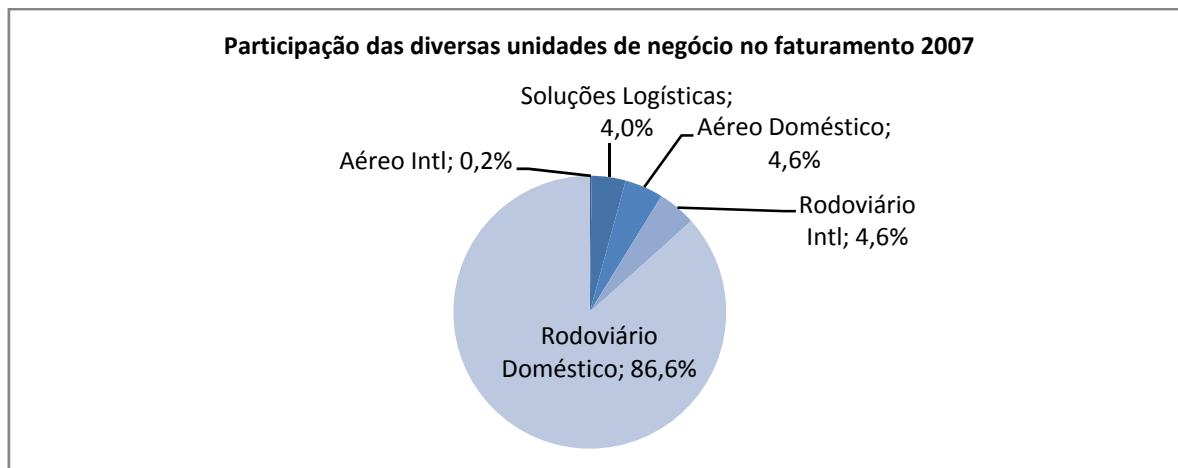


Figura 3. Participação de cada unidade de negócio no faturamento 2007 total da transportadora
FONTE: Análise A. T. Kearney

O modelo de transporte seguido pela empresa é o de carga fracionada ou *Less Than Truckload* (LTL), no qual as cargas de diversas origens são levadas a um depósito que realiza a triagem e as reagrupam de acordo com seus destinos, diversos caminhões fazem então a entrega dessas cargas. Esse modelo difere do *Full Truckload* (FTL), em que o caminhão sai com toda a carga a ser transportada do armazém de origem em direção a um único ponto de descarga (Figura 4).

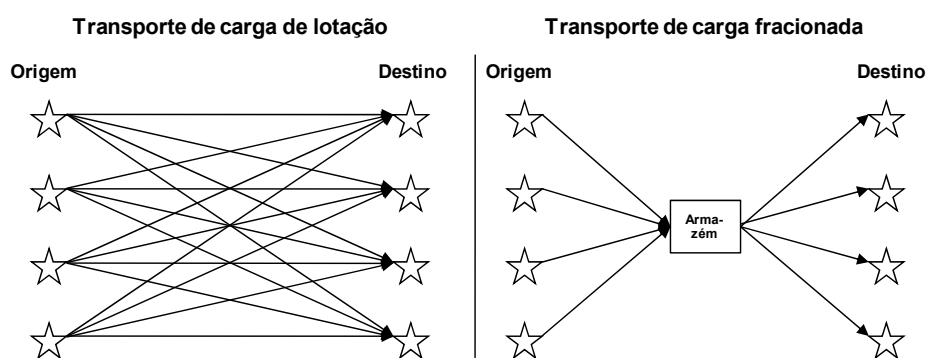


Figura 4. Modelos de transporte – Carga Fracionada e Carga de Lotação

A transportadora conta com uma estrutura sólida para realizar seus serviços. Sua rede possui uma centena de armazéns que atendem 3.300 cidades dentro do país e também três destinos internacionais na América do Sul.

A empresa está fortemente presente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil e recentemente expandiu suas operações para o Nordeste. Para garantir sua participação nas demais regiões do país, formou parceria com outras duas transportadoras no programa “Aliança Brasil”. Cada uma das três transportadoras é responsável pelo transporte de carga das três empresas pelas regiões em que são mais fortes.

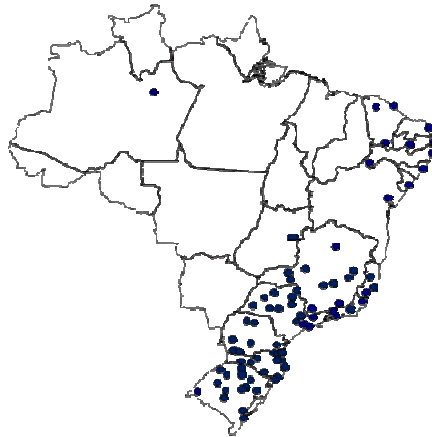


Figura 5. Localização de depósito pelo país

A transportadora tem forte presença nos estados próximos à costa brasileira e a o fluxo de transporte se concentra nas regiões Sul e Sudeste. Os estados do Rio Grande do Sul e de São Paulo são os principais pontos de origem de carga, enquanto que os maiores estados receptores são Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Minas Gerais (ver Figura 6).

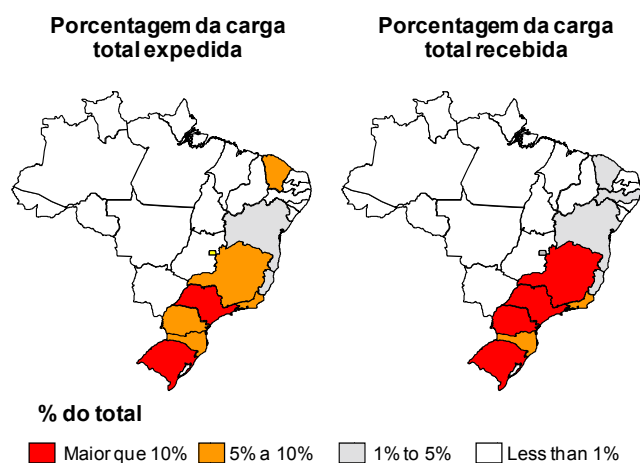


Figura 6. Origem e destino de carga por estado
FONTE: Análise A. T. Kearney

A mão de obra da transportadora é formada por cerca de 6000 funcionários, dos quais cerca de 500 são motoristas de caminhões em rotas de transferências. Estes estão sujeitos a dirigir no máximo 9h por dia, o que vai contra a política da empresa de manter seus cavalos² sempre em trânsito. Para evitar problemas trabalhistas, a empresa promove a troca de motoristas em pontos determinados de sua rede para viabilizar o uso do modelo *hot seat*³ em suas rotas.

A empresa trabalha com três tipos diferentes de contrato para sua mão-de-obra:

- Mão de obra própria;
- Agregados – possuem um vínculo com a transportadora, pois realizam o transporte de cargas diariamente em rotas específicas da empresa. No entanto, a empresa não responde legalmente pelos agregados;
- Autônomos – são contratados eventualmente em momentos de pico de demanda. Não possuem vínculo algum com a transportadora.

As rotas realizadas pela transportadora podem ser classificadas em dois tipos:

- Rotas de transferência (*Linehaul* - LH): rotas que ligam os armazéns da transportadora. Elas destinam-se a facilitar o transporte de mercadorias pelo país, pois levam as cargas já triadas de um armazém para o armazém responsável pela entrega dos volumes. A sua maior característica é tratar-se de rotas internas, que vão de um depósito da empresa a outro depósito de sua rede;
- Rotas de Coleta e Entrega (*Pick-up and Delivery* – PU&D): rotas que pertencem ao entorno do armazém e que fazem a ligação entre ele e os clientes da transportadora. Essas rotas servem para fazer a coleta de produtos que serão levados ao armazém e depois distribuídos pelo país. Também se destinam à entrega de produtos que chegaram ao armazém via rota expressa aos seus destinatários finais (ver Figura 7).

² Cavalo – parte frontal do caminhão responsável pelo fornecimento de tração à carroceria.

³ *Hot seat* – modelo de transporte em que o cavalo está sempre em utilização, evita-se que ele fique parado esperando carregamento, descarga de carreta e repouso do motorista.

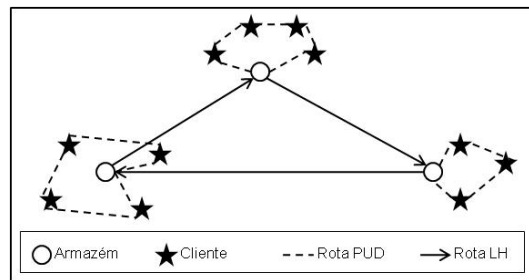


Figura 7. Ilustração: rotas de coleta e entrega e rotas de transferência

Normalmente é feita uma clara distinção entre veículos de uso em coleta e entrega e veículos para uso em rotas de transferência, pois o uso indistinto torna muito complexo o gerenciamento da frota. Deste modo, o seu correto dimensionamento deve levar em consideração o uso final dos veículos. Neste trabalho de formatura é feito apenas o dimensionamento das rotas de transferência.

A atividade da transportadora é descrita detalhadamente no Capítulo 3.

1.4 RELEVÂNCIA DO ESTUDO PARA A EMPRESA

A frota atualmente disponível para a empresa foi estimada com base em uma metodologia *ad hoc*, em que os veículos vão sendo modificados à medida que surgem novas demandas. Outros dois pontos observados pela transportadora são a ocorrência de atrasos consecutivos em uma rota ou a constante sobra de carga no armazém, o que significa que a capacidade de transporte de carga deve ser aumentada.

Existem diversos problemas em se aplicar um método *ad hoc*. O primeiro deles é que é difícil fazer uma revisão de todas as rotas, pois dependerá da coleta de informações empíricas para cada uma delas. Outra dificuldade é que, ao aumentar a capacidade, pode ocorrer a atribuição de um veículo com capacidade muito acima daquela necessária, o que representaria um desperdício na operação da transportadora. Uma última questão é o fato de que o dimensionamento *ad hoc* é feito pelo gerente de operações e apenas ele domina o método e concentra toda a informação necessária. Assim, caso ocorra algum problema com o gerente de operações, a empresa ficará deficiente na área de dimensionamento da frota, pois toda a informação desse setor será perdida.

1.5 MOTIVAÇÕES

A principal motivação para este trabalho de formatura foi a oportunidade de aplicar nele um grande número de conceitos e métodos aprendidos ao longo do curso de Engenharia de Produção. Durante sua execução foram utilizados:

- Métodos estatísticos para a análise dos dados de entrada e análise da solução proposta;
- Diversos conceitos e métodos logísticos para a compreensão e a formulação do problema, assim como para a modelagem da solução proposta;
- A aplicação de pesquisa operacional e programação para a construção do modelo de dimensionamento de frota;
- Conceitos de finanças para avaliar os custos envolvidos na operação de transporte.

Além disso, este trabalho permitiu a aplicação de teorias aprendidas em sala de aula a um problema real enfrentado por diversas transportadoras.

1.6 OBJETIVOS

Considerando a contextualização apresentada e os problemas da empresa estudada, este trabalho de formatura propõe um modelo de dimensionamento de frota que, baseado na demanda em tonelada e volume entre origem e destino e nos tempos de viagem para cada rota, indica a melhor configuração de veículos em que a sua utilização será maximizada.

Este trabalho permite que a transportadora utilize um modelo único de dimensionamento de frota capaz de ser utilizado por qualquer funcionário. Assim, diminui o problema de transferência do conhecimento entre as diversas áreas e os diversos funcionários da transportadora. Adicionalmente, contribui também para a melhor utilização dos veículos, o que é extremamente importante em períodos como os de hoje em que as transportadoras brasileiras encontram-se próximas de sua capacidade máxima de transporte.

Como resultado, obtém-se a quantidade e o tipo de caminhão mais adequado para cada rota. O correto dimensionamento visa diminuir os custos de transporte e aumentar o nível de serviço, tornando a operação mais confiável e previsível; melhorar a taxa utilização dos veículos e também eliminar os atrasos por indisponibilidade de veículos. Muitos são os elementos utilizados para a concepção desta análise e, dentre as fontes de dados utilizadas, as principais são: a frota de veículos atualmente utilizados; as rotas realizadas pela transportadora, o peso e o volume transportados por conjunto de pontos origem-destino.

1.7 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho de formatura está organizado em oito capítulos.

No primeiro capítulo é apresentada contextualização do problema e do ambiente em que o problema se aplica: a empresa em que o problema ocorre e a importância para a empresa da solução do problema. Os objetivos do trabalho são definidos.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica de publicações que envolvem o dimensionamento de frota, roteamento, métodos heurísticos e o custeio das atividades de transporte.

O terceiro capítulo faz uma apresentação detalhada do funcionamento da transportadora estudada, levando em conta todos os itens da sua operação que são relevantes para a resolução do problema.

O quarto capítulo descreve detalhadamente o problema a ser resolvido.

No quinto capítulo a abordagem utilizada é apresentada e o algoritmo implementado é descrito.

O sexto capítulo mostra a aplicação da abordagem de solução a um caso-teste. Os resultados reais obtidos para o caso da transportadora são apresentados e discutidos no capítulo sete.

O oitavo capítulo indica propostas de melhoria e apresenta a conclusão deste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A questão do dimensionamento de frota para o transporte de carga fracionada é, de modo geral, tratada de duas maneiras distintas. Seja como resultado de um problema de roteirização de veículos ou baseando-se no princípio do ciclo do ativo. Essas duas visões são discutidas ao longo deste capítulo. Nessa revisão bibliográfica também são apresentados conceitos sobre a meta-heurística de busca tabu, método de solução utilizado neste trabalho, e sobre o custeio das operações de transporte.

2.1 INTRODUÇÃO - O PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

O planejamento de transportes deve ser considerado em três níveis hierárquicos: estratégico, tático e operacional. O planejamento estratégico tem como objetivo definir as diretrizes e o dimensionamento do sistema no longo prazo. Questões como a escolha das tecnologias a serem empregadas, o plano de investimentos e as etapas de implantação do sistema são consideradas neste nível (Gualda, 1995).

O planejamento tático é feito para um horizonte de médio a curto prazo em que decisões como o dimensionamento e a definição das características da frota de veículos, das vias e dos terminais são tomadas para permitir a operação do sistema (Gualda, 1995). É neste âmbito, portanto, que foi definido e desenvolvido este trabalho de formatura.

Por fim, o planejamento operacional é feito para o curto prazo e tem como objetivo otimizar as características do sistema de transportes em operação. Logo, busca formas mais eficientes de utilizar os recursos já disponíveis e volta-se para as operações do dia-a-dia. Exemplos de planejamento neste nível são a programação de serviços de coleta e entrega e a determinação de políticas de operação de terminais (Gualda, 1995).

Outro ponto importante discutido por Gualda a ser levado em conta no planejamento de transportes é a determinação do nível de serviço desejado para as operações. Este conceito busca indicar a qualidade do serviço oferecido.

No dimensionamento da frota de veículos de uma transportadora, por exemplo, o nível de serviço é dado pelo nível máximo de demanda que pode ser imposto ao sistema. Níveis de serviço muito altos pressupõem um alto investimento em veículos, o que pode significar ter ativos ociosos durante a maior parte do tempo. Por outro lado, níveis de serviço muito baixos causariam atrasos nas entregas e, como consequência, clientes insatisfeitos.

2.2 DIMENSIONAMENTO DE FROTA COMO RESULTADO DA ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Diversos artigos e teses tratam a questão do dimensionamento de frota como uma consequência do problema de roteirização de veículos. Os veículos são considerados como dados de entrada para a resolução do problema, porém recebem pouca atenção na parte de resultados e conclusões.

O termo roteirização ou roteamento de veículos é a forma que vem sendo utilizada como equivalente ao inglês *routing* para designar o processo para a determinação de um ou mais roteiros ou seqüências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento (Cunha, 1997).

O primeiro trabalho abrangente de classificação dos problemas de roteirização e programação de veículos foi apresentado por Bodin *et al.* (1983). Nele estão expostas revisões dos principais algoritmos, estratégias de solução e aplicações conhecidas até então, abrangendo cerca de setecentas referências bibliográficas. Esse trabalho retrata o estado da arte no início da década de oitenta, e apesar dos avanços conseguidos desde então, ainda é apresentado como uma das mais importantes referências sobre o assunto (Znamensky, 2000).

Znamensky (2000) adaptou uma taxonomia proposta em Bodin *et al.* (1983) para a classificação de problemas de roteirização de veículos. A tabela a seguir mostra o resultado desse trabalho e, a partir de sua leitura, fica claro que as diversas combinações de características resultam em diferentes problemas de roteirização e programação de veículos.

Tabela 1. Taxonomia de problemas de roteirização e programação de veículos

Características	Opções possíveis
1. Tamanho da frota disponível	• Um único veículo • Mais de um veículo
2. Tipo de frota disponível	• Frota homogênea • Frota heterogênea
3. Localização da frota disponível	• Uma única garagem • Múltiplas garagens
4. Natureza da demanda	• Demanda determinística • Demanda estocástica • Permitida a satisfação parcial da demanda
5. Localização da demanda	• Nos nós (não necessariamente todos) • Nos arcos (não necessariamente todos) • Combinação de nós e arcos
6. Restrições temporais da demanda	• Não existente • Janelas de tempos rígidas • Janelas de tempos flexíveis com penalidade • Combinação de janelas de tempo rígidas e flexíveis
7. Rede subjacente	• Rede direcionada • Rede não direcionada • Combinação de rede direcionada e não direcionada • Rede euclidiana
8. Restrições de capacidade dos veículos	• Não existentes • Iguais para todos os veículos • Diferentes para cada veículo
9. Restrições de duração máxima da rota	• Não existentes • Iguais para todas as rotas • Diferentes para cada rota
10. Operação	• Somente coleta • Somente entrega • Combinação de coletas e entregas • Com ou sem desmembramento de carga
11. Custos	• Custos fixos • Custos variáveis • Custo por violação de restrições • Custo por não atendimento de demandas

12. Objetivo	• Minimizar total de custo variável • Minimizar soma de custos fixos e variáveis • Minimizar número de veículos (custo fixo) • Maximizar função objetivo baseada em nível de serviço ou conveniência • Maximizar função objetivo baseada em prioridades do usuário
--------------	--

FONTE: ZNAMENSKY, 2000

Cunha (2000) *apud* Mourad (2005), diz que o interesse pela pesquisa em roteirização decorre da combinação de dois fatores: a importância cada vez maior, no contexto logístico, dos problemas de roteirização e a sua complexidade matemática, pois é um problema combinatório do tipo NP - difícil⁴. Por esse motivo, é impossível obter soluções ótimas para problemas de roteamento encontrados na prática, o que implica na busca de heurísticas cada vez mais eficientes.

Todos os trabalhos estudados utilizaram heurísticas para chegar a um roteiro para uma situação prática. A seguir são discutidas as dissertações de mestrado de Cunha (1991), Teixeira (2001), Stringher (2004), Mourad (2005) e Araujo (2008), bem como as teses de doutorado de Cunha (1997) e Bonasser (2005).

Cunha (1991) propôs uma formulação matemática do Problema de Roteamento e Programação (PRP), considerando diversas restrições encontradas em problemas práticos: múltiplos veículos, frota heterogênea, janela de tempo e precedência. O objetivo central de seu trabalho foi propor um modelo matemático realista que resultasse em uma rota de menor custo que partisse de um depósito central e atendesse diversos pontos de demanda dentro de janelas de tempo pré-fixadas. Uma janela é definida como o intervalo horário para atendimento de cada um dos clientes (pontos de demanda).

Adicionalmente, a rota deveria considerar restrições de precedência, ou seja, a obrigatoriedade de passar por um determinado ponto de demanda i antes de atender um ponto j . Também, o modelo deveria escolher o veículo mais adequado para percorrer os pontos de demanda – os veículos variavam quanto ao tipo e aos consequentes custos e capacidades associados.

⁴ NP – difícil representa uma classe de problemas com ordem de complexidade exponencial, o que significa que o esforço computacional de solução cresce exponencialmente com o tamanho do problema a ser resolvido (Araújo, 2008)

O modelo desenvolvido por Cunha (1991) baseou-se em otimização linear. No entanto, em razão da complexidade e do porte de seu problema, o autor aplicou duas heurísticas para a resolução do PRP, primeiro com um algoritmo baseado em programação dinâmica e em seguida com base no algoritmo de etiquetamento permanente generalizado para o problema de caminho mínimo com janelas de tempo.

Cunha (1997) deu continuidade à sua pesquisa em sua tese de doutorado. Foi estudado o problema de roteirização de veículos com restrições de janelas de tempo e duração máxima de jornada de trabalho. Como método de resolução, desenvolveu duas heurísticas baseadas na relaxação lagrangeana de algumas restrições do modelo.

Teixeira (2001) abordou em sua tese o problema de dimensionamento e roteirização de uma frota heterogênea de veículos. Buscou definir a composição da frota e a roteirização de veículos para atender a um conjunto de pontos de demanda, com o objetivo de minimizar os custos de distribuição. Em seu trabalho, o autor levou em consideração os custos fixos e variáveis associados a cada veículo, assim como a suas capacidades de transporte.

Teixeira (2001) modelou o trabalho como um Problema de Circulação em Custo Mínimo e assim, como no caso de Cunha, optou por resolver o problema com a ajuda de heurística. Escolheu trabalhar com o algoritmo *Out-of-Kilter* (HOK), baseando-se nos estudos de Desrochers e Verhoog (1991). O HOK é uma generalização do método primal-dual e pode ser definido como um método iterativo de busca de circulação em uma rede capacitada. Adicionalmente, duas novas heurísticas foram criadas: uma heurística híbrida entre o HOK e o método de geração de economias de Clarke e Wright (1964) e uma heurística de seleção direta, que apresenta uma modificação do HOK no modo de seleção dos arcos da rede. O resultado dos testes mostrou que as duas heurísticas derivadas do HOK apresentam poucas melhorias quando comparadas à heurística original.

Mourad (2005) tratou do problema de roteirização e programação de veículos com carga completa e janelas de tempo, com viagens diretas de uma origem a um destino, sem paradas intermediárias. Em seu trabalho, o autor desenvolveu algoritmos de minimização do custo total de distribuição considerando diversas restrições operacionais encontradas na prática, como paradas operacionais para manutenção da frota. Foram propostas quatro heurísticas baseadas em busca tabu e seu trabalho demonstrou que essa heurística permite chegar a bons resultados.

Bonasser (2005) tratou do problema de roteirização de veículos com múltiplos depósitos, frota heterogênea fixa e restrições de capacidade e distância aplicado às atividades da Força Aérea Brasileira (FAB). Seu objetivo foi encontrar uma solução de custo total mínimo que atendesse às restrições do problema. O autor propôs quatro métodos de resolução: versões adaptadas da heurística de economias, da meta-heurística busca tabu, da meta-heurística colônia de formigas e uma meta-heurística híbrida desenvolvida a partir dos três métodos anteriores. Esta última foi a que obteve melhores resultados. Nesse trabalho, Bonasser (2005) buscou encontrar um método que resultasse em soluções muito boas (não necessariamente ótimas) e com um tempo de execução aceitável para uso prático.

Araújo (2008) implementou uma solução baseada no algoritmo genético para a resolução do problema de roteirização de veículos sem janelas de tempo e com frota uniforme e infinita. O autor propôs algumas mudanças ao algoritmo genético desenvolvido por Prins (2004) e obteve bons resultados.

Stringher (2004) apresentou em sua dissertação um modelo de dimensionamento de frota com base nos tempos de ciclo de cada veículo. Seu trabalho teve como objetivo minimizar os custos de transportes em uma rede de distribuição formada por fábricas, centros de distribuição e clientes. Sua rede utilizava frota homogênea e dedicada em um modelo de carga de lotação. Seu trabalho permitiu determinar a frota ideal de veículos dedicados e os roteiros de menor custo para a utilização de frota dedicada.

O algoritmo desenvolvido por Stringher (2004) combinou dois subproblemas: a geração de caminhos e o custeio de trajetos. Após a resolução desses dois problemas, o autor aplicou um modelo de programação linear inteira que forneceu como saída o fluxo em rede otimizado dos pares de viagem origem-destino distribuídos em caminhos diretos ou combinados.

2.3 DIMENSIONAMENTO DE FROTA COM BASE NO TEMPO DE CICLO DO ATIVO

Stringher (2004) determinou o tamanho ideal de frota dedicada com base no ciclo do ativo. O dimensionamento foi realizado em três partes: cálculo do tempo de ciclo, cálculo da produtividade de cada rota e cálculo da quantidade de veículos necessários.

Para cada rota o tempo de ciclo foi calculado com base nos tempos que compõem uma viagem completa (ida e volta):

$$T_{ciclo} = T_{carregamento_ida} + T_{viagem_ida} + T_{descarga_ida} + T_{carregamento_volta} + T_{viagem_volta} + T_{descarga_volta} + T_{esperas} \quad (1)$$

Em seguida, foi calculada a produtividade de cada rota da seguinte maneira:

$$P_{unit} = \frac{T_{disponível}}{T_{ciclo}} \quad (2)$$

Por fim, a quantidade de veículos necessários foi determinada com base na demanda de viagens por mês (D):

$$N_{Veículos} = \frac{D}{P_{unit}} \quad (3)$$

Onde:

T_{ciclo}	tempo do ciclo em horas por ciclo;
$T_{carregamento_ida}$	tempo para carregar o caminhão no depósito de saída;
T_{viagem_ida}	tempo de trânsito entre depósito de saída e depósito destino;
$T_{descarga_ida}$	tempo para descarregar o caminhão com carga do depósito de saída;
$T_{carregamento_volta}$	tempo para carregar o caminhão no depósito destino;
T_{viagem_volta}	tempo de trânsito na rota de volta do depósito destino para o de saída;
$T_{descarga_volta}$	tempo para descarregar o caminhão com carga do depósito de destino;
$T_{esperas}$	somatória de tempos improdutivos do ciclo, a saber: tempo de espera para descarga, tempo de espera para início do

	carregamento, tempo de espera para saída e tempos parados para fiscalização;
P_{unit}	produtividade unitária;
$T_{disponível}$	tempo disponível para a realização da rota em horas por mês;
$N_{Veiculos}$	quantidade de veículos necessários de um mesmo tipo para realização da rota;
D	quantidade de viagens planejadas/necessárias em um mês;

Após o dimensionamento da frota, Stringher (2004) aplicou um modelo do custeio de sua operação para identificar as rotas mais financeiramente atrativas.

2.4 PRECIFICAÇÃO DE VEÍCULOS

Segundo Alvarenga e Novaes (2000), os custos de transporte devem ser segmentados em diretos ou indiretos. Os custos diretos⁵ são aqueles que têm relação direta com a atividade produtiva, ou seja, a operação de transporte. Eles estão sujeitos, ainda, a uma segunda divisão, em custos fixos e variáveis. Os custos indiretos, por sua vez, não se relacionam diretamente com a produção e variam de empresa para empresa em função de suas características. A Tabela 2 mostra os grandes grupos de custos em um sistema de transporte.

Os custos variáveis são aqueles cujo valor é função da distância percorrida pelo veículo e os fixos são aqueles com valor independente da quilometragem percorrida. Os custos diretos variáveis que têm maior relevância para o custeio em transportes são: combustível, lubrificação, manutenção e pneus.

⁵ Cerca de 85% do custo operacional do transporte rodoviário de carga corresponde aos custos diretos

Tabela 2. Custo de transporte segmentado segundo Alvarenga e Novaes (2000)

Direto	Fixo	Depreciação do veículo Remuneração do capital Salário e gratificação do motorista Seguro Licenciamento
	Variável	Combustível Lubrificação Manutenção Pneus
Indireto		Serviços contábeis Setor de pessoal Serviços administrativos de modo geral

Alvarenga e Novaes (2000) sugerem que o cálculo do custo de combustível seja obtido a partir de dados históricos de consumo de combustível e de quilometragem rodada para um determinado veículo. Dividindo-se a quilometragem percorrida pelo consumo chega-se à autonomia do caminhão em km/l. O custo de combustível por quilômetro resulta então da divisão do valor do litro de combustível pela autonomia registrada pelo veículo (1):

$$DV_c = \frac{P_c}{\frac{K}{C_o}} \quad (1)$$

Onde DV_c é o custo variável de combustível em R\$/Km, P_c é o preço do combustível em R\$/l, K é a quilometragem percorrida pelo veículo e C_o é o consumo de combustível em litros durante período igual ao da realização da quilometragem.

O custo variável de lubrificação DV_{lub} é obtido pela divisão do custo total de lubrificação C_{tlub} , incluindo aqui mão-de-obra, graxa, óleo lubrificante e filtros, pela quilometragem média entre lubrificações K_{lub} :

$$DV_{lub} = \frac{C_{tlub}}{K_{lub}} \quad (2)$$

De modo análogo ao custo de combustível, o custo de manutenção DV_m é obtido com base no histórico de manutenção de um veículo. Deve-se verificar o valor total M gasto com manutenção ao longo dos anos e a quilometragem K_m rodada nesse mesmo período. O valor

total de manutenção inclui os gastos com mão-de-obra, peças, acessórios e materiais de manutenção.

$$DV_m = \frac{M}{K_m} \quad (3)$$

O cálculo do custo variável relativo aos pneus é apresentado por Alvarenga e Novaes (2000) como a soma do preço dos pneus e da recapagem divididos pela quilometragem total entre trocas de pneus. Maluta (2007) completa dizendo que a vida útil do pneu é afetada pelo peso da carga transportada e pelo tipo de terreno pelo qual o veículo trafega. Afirma ainda que apenas 80% dos pneus permitem recapagem. Deste modo, o custo variável de pneus é calculado como:

$$DV_p = \frac{(1,2 * P_p * N_p) + (R * N_p)}{V_p} \quad (4)$$

Onde DV_p é o custo variável do pneu em R\$/km, P_p é o preço do pneu R\$, N_p é a quantidade de pneus necessários a um determinado caminhão, R é o preço da recapagem em R\$ e V_p é a vida útil do pneu em Km.

A NTC (Associação Nacional de Transporte de Cargas) propõe ainda que seja levado em consideração mais um custo variável, o custo de lavagem e lubrificação externa do veículo. O custo de lavagem DV_{lav} em R\$/km é obtido pela divisão do preço de lavagem P_{lav} pela quilometragem rodada entre lavagens K_{lav} :

$$DV_{lav} = \frac{P_{lav}}{K_{lav}} \quad (5)$$

Quanto aos custos fixos, Alvarenga e Novaes (2000) propõem que sejam utilizados os custos de depreciação, remuneração do capital empatado, salários e obrigações do motorista e ajudantes e cobertura de risco.

A depreciação é um custo contábil que leva em conta o fato de que equipamentos e instalações se deterioram com o uso. A depreciação DF_d é utilizada como desconto no imposto de renda e é calculada pela divisão do valor ativo V pela sua vida útil n :

$$DF_d = \frac{V}{n} \quad (6)$$

A remuneração do capital é o custo de oportunidade que se tem ao optar por investir o dinheiro em um ativo ao invés de investi-lo em outro projeto/aplicação de maior rentabilidade. Alvarenga e Novaes (2000) propõem que a remuneração do capital seja calculada por:

$$R_c = (I - VR) * FRC + VR * j \quad (7)$$

Onde,

R_c Remuneração do capital

I Investimento para adquirir um veículo novo

VR Valor residual do veículo

FRC Fator de recuperação do capital, calculado como $FRC = \frac{j*(1+j)^n}{(1+j)^n - 1}$

j Taxa de juros ou de oportunidade, em porcentagem, dividida por cem

n Vida útil do veículo

Para compor o custo fixo de transporte, também se deve considerar o salário do motorista e dos ajudantes. Para compor esse custo, soma-se ao valor do salário todas as despesas com benefícios (vale alimentação, vale transporte), férias, INSS, fundo de garantia e outros encargos. Portanto, para se determinar o custo total DF_{sal} de motoristas e ajudantes basta somar o salário S_i aos encargos E_i de cada classe de funcionários e, por fim, multiplicar esta soma por n_i , o número de funcionários:

$$DF_{sal} = \sum (S_i + E_i) * n_i \quad (8)$$

A última categoria de custos listada por Alvarenga e Novaes (2000) é a do custo correspondente à cobertura contra risco, cujas formas mais comuns são os seguros de veículo e de carga. As seguradoras cobram um valor fixo anual pela apólice mais uma franquia toda vez que o seguro é acionado. Portanto, o custo fixo contra risco DF_r é resultado da soma da apólice mensal A_m à franquia mensal média F_m , isto é, a franquia F multiplicada pela probabilidade p dela ser acionada dividida por 12, para obter o valor mensal:

$$DF_r = A_m + \frac{F * p}{12} \quad (9)$$

2.5 META-HEURÍSTICA E BUSCA TABU

Como foi mencionado anteriormente, muitos dos trabalhos desenvolvidos na área de roteamento e programação de veículos culminam no uso de heurísticas ou meta-heurísticas que possibilitem chegar uma solução.

Segundo Bonasser (2005), uma heurística pode ser definida como um conjunto de regras e métodos que conduzem à resolução de problemas ou como um método de investigação baseado na aproximação progressiva de um dado problema. Reeves; Beasley (1993) *apud* Bonasser ressaltam que uma heurística trata-se de uma técnica que não é capaz de garantir nem que uma determinada solução seja viável e nem que ela seja ótima. Adicionalmente, em muitos casos não é possível declarar quão próxima da solução ótima está a solução viável em particular.

O termo meta-heurística foi empregado pela primeira vez no campo de pesquisa operacional em 1986. Uma meta-heurística pode ser definida como procedimentos iterativos de alto nível que utilizam heurísticas para subordinadas para a obtenção de soluções aproximadas, empresando estratégias que ultrapassam as limitações inerentes a essas heurísticas no tocante à exploração do espaço amostral (Bonasser, 2005).

Inúmeras meta-heurísticas foram utilizadas na resolução de problemas de roteamento, porém vários autores afirmam que os resultados obtidos pelas melhores implementações da busca tabu são consistentemente melhores que aqueles obtidos pelas demais meta-heurísticas (Bonasser, 2005). Por este motivo a busca tabu foi o método escolhido para o desenvolvimento deste trabalho.

A busca tabu foi desenvolvida por Glover em 1986 e baseia-se em procedimentos configurados para ultrapassar os limites do ótimo local, os quais eram, até então, tratados como barreiras intransponíveis (Glover; Laguna, 1997).

A busca tabu leva a heurística de busca em vizinhança a explorar um espaço de soluções além do ótimo local, pois permite a realização de *movimentos sem melhoria*. Adicionalmente, não permite voltar a regiões já visitadas pelo uso de *memórias*, chamada de *lista tabu*, que registram o histórico recente da busca (Glover; Laguna, 1997) (Glover; Kochenberger, 2003).

Outros dois conceitos muito importantes utilizados na busca tabu são a diversificação e a intensificação. As estratégias de intensificação baseiam-se na exploração de região do espaço-solução que se mostram mais promissoras, enquanto que as estratégias de diversificação forçam o algoritmo a examinar regiões não visitadas do espaço-solução. Portanto, a estratégia de intensificação permitem chegar a um ótimo local e a estratégia de diversificação permite visitar diversas regiões com o objetivo de achar o melhor ótimo local (Glover; Laguna, 1997) (Glover; Kochenberger, 2003).

A busca tabu é modelada da forma apresentada a seguir (Glover; Kochenberger, 2003).

Notação:

- S , a solução atual;
- S^* , a melhor solução conhecida;
- f^* , o valor de S^* ;
- T , o conjunto de soluções tabu;
- $N(S)$, a vizinhança de S ;
- $\tilde{N}(S)$, o subconjunto de soluções permitidas de $N(S)$, ou seja, as soluções não tabu

Início:

- Escolha/construa uma solução inicial S_0 .
- Faça $S = S_0, f^* = f(S_0), S^* = S_0; T = \emptyset$

Busca:

Enquanto o *critério de término não for satisfeito* fazer:

- Escolher S em $\text{argmin}[f(S')]; S' \in \tilde{N}(S)$
- Se $f(S) < f^*$, então fazer $f^* = f(S)$ e $S^* = S$;
- Gravar o movimento realizado em T (apagar a entrada mais antiga de T se necessário)

Termina o enquanto.

Os critérios de parada utilizados com maior frequência na busca tabu são:

- Parada após um número fixo de iterações (ou um tempo fixo de CPU);
- Parada após um número fixo de iterações sem melhoria na função objetivo (este é o critério utilizado na maioria das implementações);
- Parada após a função objetivo chegar a um valor fixo pré-especificado;

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dimensionamento de frota é discutido na literatura como parte integrante de problemas de roteirização de veículos, podendo variar quanto às diversas características apresentadas na Tabela 1. Esse tipo de problema, quando aplicado a situações reais, é classificado como NP - difícil, o que implica na utilização de heurísticas ou meta-heurísticas para sua resolução. Sendo que a meta-heurística de busca tabu é amplamente utilizada nesse tipo de problema e fornece soluções consistentemente melhores que de outros métodos.

Um modo mais simples para se obter o dimensionamento de frota é baseado no cálculo do tempo de ciclo do ativo.

O modelo de dimensionamento de frota proposto neste trabalho usa de forma conjunta todos os conceitos acima apresentados e discutidos e é apresentado mais adiante nos capítulos 4 e 5.

3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DA TRANSPORTADORA

Neste capítulo é feita uma apresentação da transportadora, dados ênfase às suas principais características.

3.1 ATIVIDADES

A missão definida pela transportadora é de exceder a expectativa de seus clientes no envio de suas encomendas. Dessa afirmação é possível perceber a importância do cliente nas atividades da empresa. Isso se deve ao posicionamento deste ator na cadeia de atividades da transportadora, pois está presente tanto no início quanto no final das atividades (ver Figura 8).

No fluxograma a seguir pode-se identificar três grupos de atividades: 1) coleta, 2) transferência e 3) entrega.

A *coleta* é realizada em regiões próximas ao armazém responsável pela recepção e expedição da mercadoria. Ela tem início com o pedido de coleta de carga no sítio do cliente remetente. A transportadora então agenda a atividade e dirige-se ao remetente no dia marcado para recolher a mercadoria. Em um mesmo dia um caminhão pode passar por diversos pontos de coleta e, quando ele encontra-se com a capacidade máxima ou todos os clientes remetentes já foram visitados, o veículo retorna ao armazém de origem. A recepção da carga é realizada ao chegar e, nesse momento, há duas possibilidades: 1) identifica-se que a carga deve ser entregue na região de atuação do depósito ou 2) identifica-se que a carga deve ser entregue em uma região pertencente ao domínio de outro depósito da empresa.

Caso seja identificado que a mercadoria deve ser entregue na mesma região em que foi originada, o caminhão é descarregado, realiza-se o *check-in* de entrega da carga e a mercadoria é dirigida à área de carregamento de Coleta e Entrega (*PU&D – Pick-up and Delivery*). Ela é então colocada em um caminhão que realizará a *entrega* dessa mercadoria e de mais outras que tenham como destino uma região próxima ao cliente destinatário.

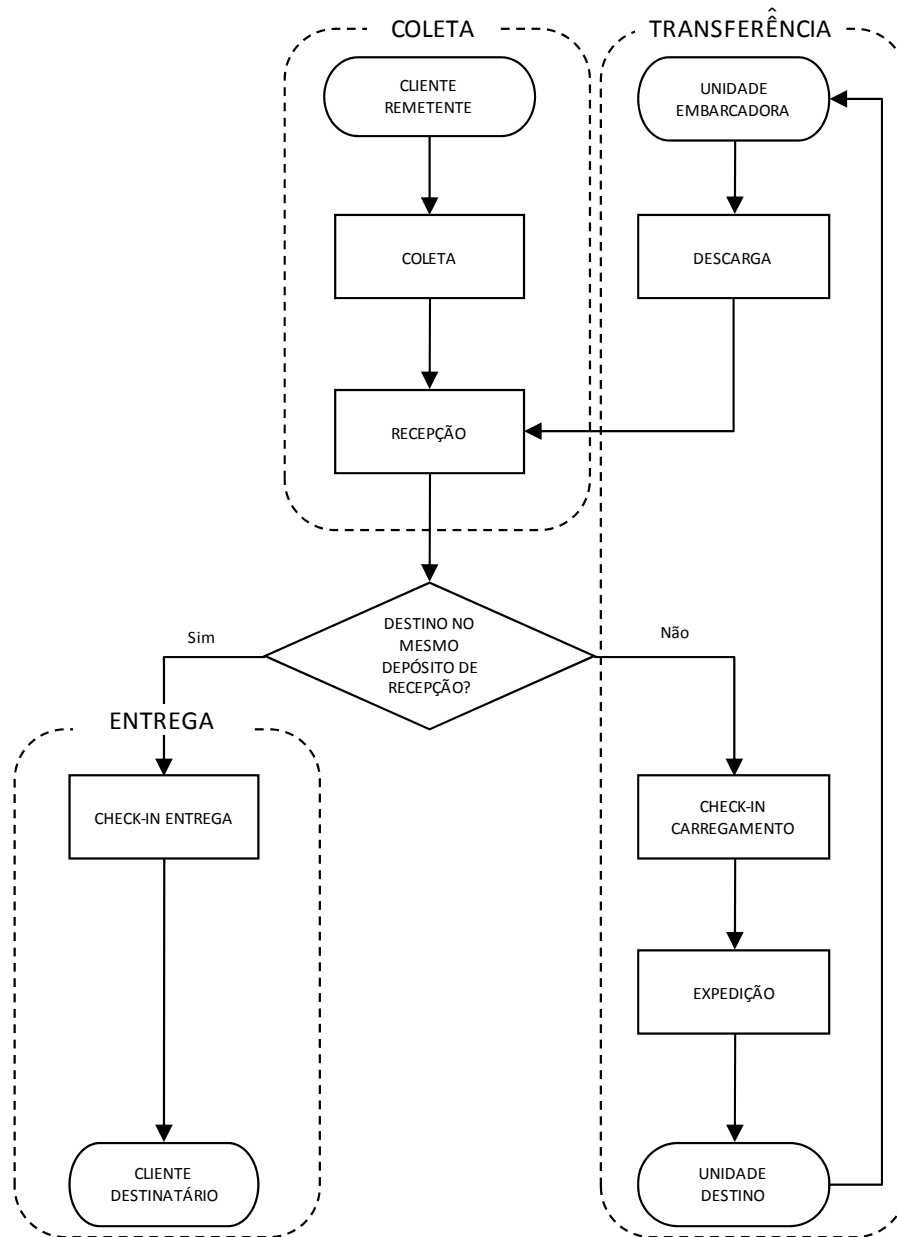


Figura 8. Fluxograma Macro de atividades da transportadora

No entanto, se a mercadoria tiver um destino diferente da região onde foi originada, o caminhão é descarregado, é realizado o *check-in* de carregamento da carga e a mercadoria é levada à área de expedição de cargas para a região de seu destino. Nessa área de expedição chegam todas as mercadorias que têm um mesmo destino. As rotas de transferência entre depósitos da empresa possuem horários fixos de saída e, portanto, toda a mercadoria com destino comum é carregada em um caminhão até um pouco antes do seu horário de saída. A mercadoria é então expedida até a sua unidade de destino, onde a carga é recepcionada e dirigida à área de *PU&D*, a partir de onde a mercadoria será levada ao seu destino final.

Finalmente, é importante dizer que a transportadora enquadra-se no grupo de transportadores de carga fracionada, pois ela utiliza o sistema *hub-spoke*, no qual existem depósitos consolidadores (*hub*) que possuem rotas com todos os armazéns de sua região, funcionando como ponto de transbordo. Nesse modelo, um caminhão pode ser carregado e descarregado mais de uma vez ao longo de sua trajetória.

3.2 DEPÓSITOS

A transportadora trabalha com dois conceitos de depósitos:

1. Armazém ou depósito (*Depot Warehouse*) - realiza a coleta, consolidação, entrega e expedição de mercadorias
2. Sistema misto entre *hub* e depósito. Um *hub* é um ponto central que realiza a coleta, recebimento, separação e distribuição para uma área ou região específica. Contudo, no caso da transportadora o *hub* também pode realizar a entrega de carga para o cliente destinatário.

Portanto, a grande diferença entre o *hub* e o armazém é que o primeiro pode receber carga de qualquer localidade, enquanto que o segundo só recebe a carga que é coletada em sua região. A partir de agora será utilizado o termo *hub* para referir-se à definição 2 acima e os termos armazém e depósito serão utilizados com o significado da definição 1.

A transportadora possui sua rede de distribuição formada por setenta e quatro armazéns e nove *hubs* espalhados pelo Brasil, a Figura 9 mostra a posição dos *hubs* (em vermelho) e dos armazéns (em azul).

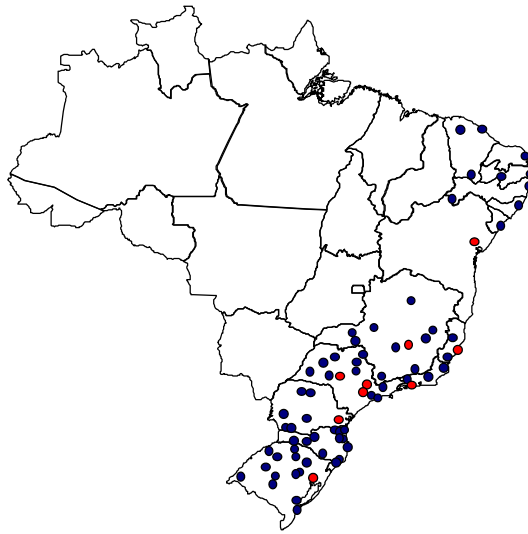


Figura 9. Localização de *hubs* e depósitos pelo país

3.3 ROTAS

Atualmente, a transportadora possui duzentas e cinco rotas de transferência que ligam seus depósitos e *hubs* entre si. Essas rotas são realizadas não só pela frota própria da transportadora, mas também pelos agregados.

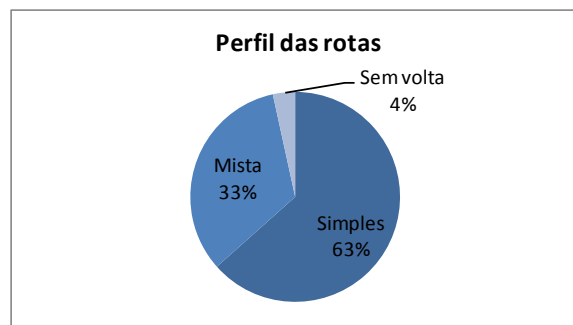


Figura 10. Quantidade de rotas por tipo

Outro aspecto importante em relação às rotas, é que elas possuem características variadas e podem ser classificadas como simples, mista ou sem volta (ver Figura 10). A rota simples é formada por apenas dois armazéns e o veículo é carregado no seu ponto de origem e descarregado no depósito de destino. Na mista, no entanto, podem existir diversos armazéns pertencentes à rota e a operação realizada em cada um deles pode ser de três tipos: carregamento, descarga ou carga e descarga. As rotas sem volta, como o próprio nome indica,

são aquelas que não possuem carga suficiente no depósito de destino para justificar o uso de um veículo fazendo a rota no sentido contrário (ver Figura 11).

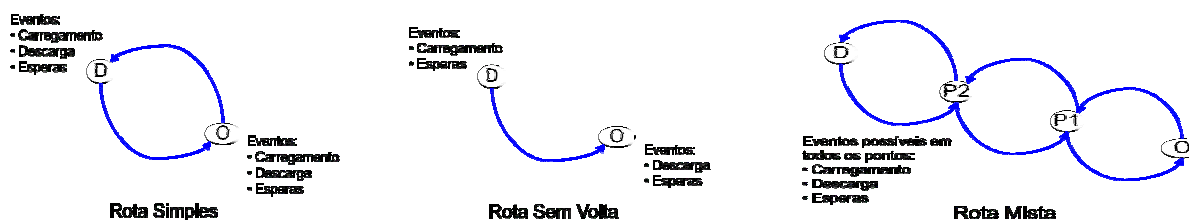


Figura 11. Tipos de rota e eventos existentes

As rotas se diferenciam também quanto às distâncias a serem percorridas, a Figura 12 mostra a variação da distribuição das distâncias e fica evidente que grande parte das rotas (65%) são de até 1.200 km (ida e volta).

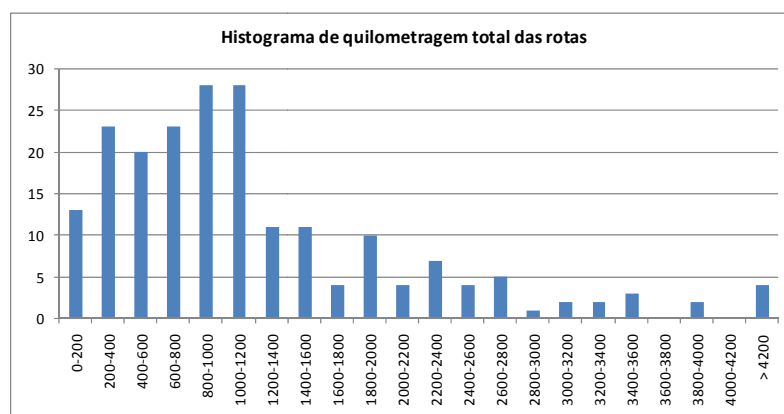


Figura 12. Distribuição de quilometragem das rotas

Ainda, é possível perceber algumas tendências quantos às distâncias.

1. As rotas simples são em sua maioria mais curtas que as rotas mistas e as rotas sem volta possuem uma quilometragem intermediária que varia entre 600 a 1200 km (ver Figura 13);

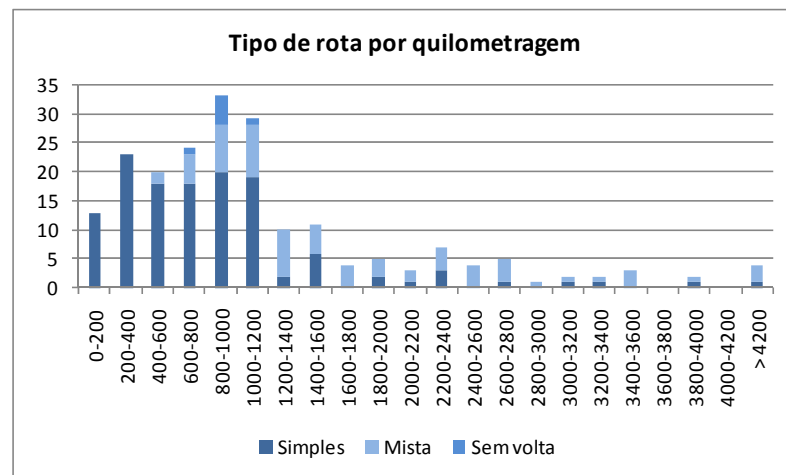


Figura 13. Comparação de padrão de quilometragem por tipo de rota

2. Ainda, pode-se perceber que é dada preferência à utilização de cavalos-carreta em rotas mais longas. No entanto, não é possível identificar uma política clara da empresa quanto ao tipo de veículo a ser utilizado em rotas mais curtas, pois todos os tipos de caminhão são utilizados em rotas mais curtas (Figura 14).

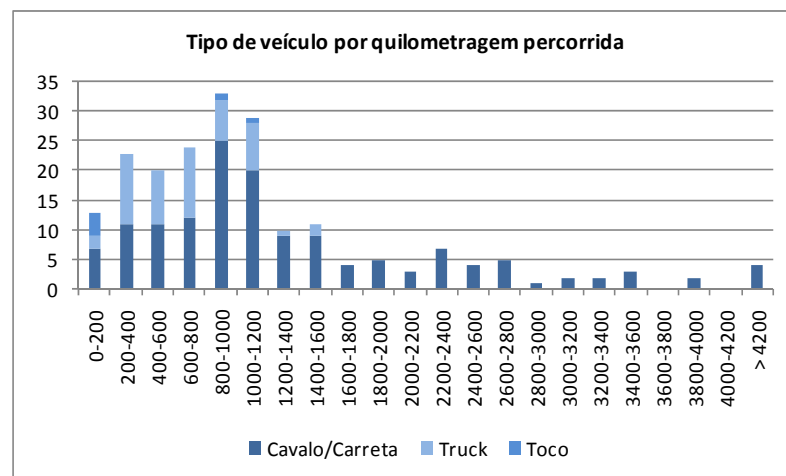


Figura 14. Tipo de veículo utilizado por faixas de distância

Para finalizar, é importante conceituar três termos utilizados neste trabalho (vide Figura 15):

- Uma perna ou trecho são termos utilizados para designar um arco que liga um depósito a outro;
- Uma rota representa o ciclo completo da saída até a volta ao depósito de origem. Uma rota simples, por exemplo, é composta dois trechos;
- Um caminho é uma combinação de trechos pertencentes a diferentes rotas.

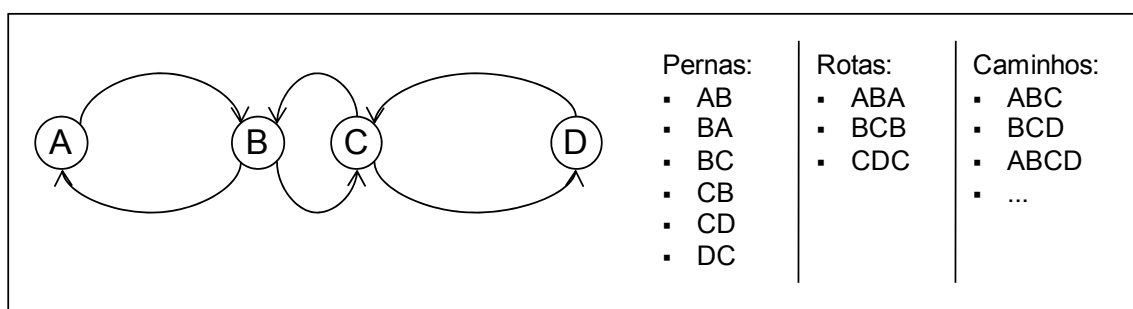


Figura 15. Definição de conceitos – perna, rota e caminho

3.4 VEÍCULOS

A transportadora trabalha com três grupos de veículos para as rotas de transferência: toco, *truck* e conjunto cavalo-carreta. Os grupos contêm veículos com características homogêneas quanto à capacidade e aos custos associados.

Para a realização do trabalho foi utilizado um veículo de referência para cada categoria de veículo, como mostra a tabela abaixo.

Tabela 3. Veículos de referência para a realização do trabalho

Tipo		Veículo de referência	Capacidade
Toco		Mercedes-Benz 1215C	9 Toneladas
			27 m ³
<i>Truck</i>		Mercedes-Benz L1620	15 Toneladas
			48 m ³
Conjunto	Cavalo	Wolkswagen – Constellation 25.320	27 Toneladas
	Carreta	Facchini – Furgão Carga Seca	105 m ³

Do total de veículos utilizados pela transportadora em rotas de transferências, 5% são tocos, 9% são *trucks* e 86% são cavalos. Além disso, ela mantém um índice de 1,55 carretas por cavalo.

No dimensionamento empregado neste trabalho, não é possível ter veículos diferentes realizando uma mesma rota, logo existe homogeneidade em cada rota.

É importante lembrar que os conjuntos cavalo-carreta são acopláveis e, portanto, o dimensionamento considera que o cavalo está sempre em movimento, o que justifica a

existência de uma maior quantidade de carretas em relação aos cavalos. Adicionalmente, essa prática permite maior eficiência operacional, dado que o cavalo pode ser usado para outro fim enquanto a carreta está sendo carregada.

3.5 TEMPOS E HORÁRIOS

As rotas de transferência possuem a característica de terem horários fixos para a saída de caminhões pertencentes a uma determinada rota. Além disso, todas as rotas da transportadora possuem ao menos uma saída diária, que se repete cinco vezes por semana. Algumas poucas rotas de ligação entre *hubs* possuem duas ou três saídas diárias.

Como comentado anteriormente, o tempo de ciclo de um caminhão é formado pelos tempos de: carregamento no depósito de origem, tempo de viagem entre o depósito de origem e o depósito de destino, tempo de descarga no depósito de destino mais os tempos de espera nos depósitos.

Os tempos de carregamento e de descarga são função do tipo de caminhão, dado que a quantidade de carga transportada em um *truck*, por exemplo, é menor que aquela transportada por um conjunto cavalo-carreta.

O tempo de viagem é função da distância entre os depósitos e da velocidade do trecho que os liga. Normalmente, trechos que ligam depósitos de cidades importantes do Sul e Sudeste do país possuem velocidade mais alta que trechos entre cidades do Nordeste do Brasil.

A transportadora adota o modelo *hot seat* para permitir que suas viagens sejam feitas no menor tempo possível. Nesse modelo, o caminhão está sempre em atividade, pois são agendadas trocas de motoristas para não ultrapassar a jornada de trabalho permitida por lei para cada funcionário.

As esperas nos depósitos podem ocorrer por diversos motivos, entre eles estão (i) a falta de doca para descarregar ou carregar um caminhão, (ii) esperas por outros caminhões que estejam atrasados e que possuam carga a ser transportada pelo caminhão em espera ou (iii) tempo ocioso entre o fim do carregamento e o horário de saída do caminhão. Neste trabalho, a

única espera considerada foi esta última, em razão do caráter probabilístico das outras duas esperas e pelo fato da transportadora não reportar as causas das esperas.

3.6 DEMANDA

A transportadora possui registro da quantidade de carga transportada entre cada par origem-destino. Neste trabalho foram empregados os dados de demanda diária em peso e em volume do ano de 2007. Um grande empecilho foi o fato da empresa não possuir os dados de quantidade de carga transportada em cada trecho. Esse obstáculo foi o principal motivo de se modelar o trabalho como um problema de roteamento, pois desta maneira é possível chegar ao fluxo de carga por trecho.

Em razão da alta variabilidade da demanda, a transportadora trabalha com o conceito de nível de atendimento, o qual se refere à quantidade de carga mínima que deve ser transportada em um dia em relação à quantidade de mercadoria presente no terminal. Quanto mais alto esse índice, mais caro é o transporte, pois dá margens a uma maior ociosidade dos caminhões da empresa.

3.7 CUSTOS

O custo da atividade de transferência é composto por duas parcelas: custos relativos ao transporte e custos relativo ao manuseio de carga no *hub*, nos casos de transbordo.

Os custos de transporte, conforme consta no Capítulo 2, são divididos em: custos indiretos, custos diretos fixos e custos diretos variáveis. A transportadora possui registros dos diversos custos de transporte de sua operação. Devido a questões de confidencialidade, os valores apresentados neste item estão multiplicados por um fator.

Em 2007 foram gastos R\$ 115 milhões em transporte de transferência, este valor segue a divisão da tabela seguinte (Tabela 4).

Tabela 4. Custo total de transporte de carga de transferência

Custo	Valor [MM R\$/ano]	Percentual em relação ao custo total
VARIÁVEL	R\$ 34,1	29,6 %
Combustível	R\$ 21,8	18,9 %
Pneus	R\$ 2,8	2,5 %
Manutenção – inclui custos de lavagem, troca de óleo, troca de filtros e serviços de manutenção	R\$ 9,5	8,2 %
FIXO	R\$ 17,5	15,4 %
Despesa com pessoal	R\$ 8,8	7,7 %
Depreciação e remuneração do capital	R\$ 7,5	6,5 %
Seguros	R\$ 0,1	0,1 %
Provisão para sinistros	R\$ 0,3	0,2 %
Sistema de Rastreamento	R\$ 0,4	0,4 %
IPVA e Licenciamento	R\$ 0,4	0,4 %
TERCEIRIZAÇÃO	R\$ 63,6	55,0 %
Terceirização	R\$ 63,6	55,0 %
TOTAL	R\$ 115,2	100%

O custo de manuseio da carga de transbordo é um custo variável e é controlado pela transportadora como custo variável por peso transbordado. Em 2007 o custo total foi de R\$ 3,8 milhões e foram reembarcadas cerca de 340 mil toneladas de carga, o que resulta em um valor médio de R\$ 11,17 por tonelada transbordada. Este valor também está multiplicado pelo fator de confidencialidade.

4 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

4.1 DELIMITAÇÃO DO ESCOPO

Com base nas informações apresentadas delimita-se o escopo do problema. O trabalho trata do dimensionamento de frota para as rotas de transferência entre depósitos, considerando três tipos de veículos (toco, *truck*, cavalo-carreta) e permitindo que haja consolidação de carga apenas em *hubs*. Os veículos devem respeitar os horários programados para as rotas e a carga transportada a cada dia deve estar de acordo com o nível de atendimento estabelecido pela transportadora.

Além do dimensionamento, cabe aqui determinar a melhor composição da frota, optando entre veículos próprios e terceiros.

4.2 CARACTERÍSTICAS DO PROBLEMA

O problema do dimensionamento de frota da transportadora em estudo foi modelado como um problema de roteirização, cujas características são as seguintes:

- Múltiplos veículos;
- Frota heterogênea;
- Múltiplos depósitos;
- Demanda determinística, com permissão de satisfazê-la parcialmente;
- Demanda localizada nos nós;
- Horários fixos de saída dos depósitos de origem;
- Limite de capacidade dos veículos;

- Com operação de carregamento e descarga em cada depósito;
- Custos fixos e variáveis ligados aos veículos e custos variáveis ligados aos depósitos.

Tais características determinam os elementos do problema em questão:

- *Contexto* – Seja $G = (N, R)$, um grafo onde $N = \{n_1, n_2, \dots, n_n\}$ é um conjunto de nós que representam os depósitos da transportadora e que são também os pontos de demanda e $R = \{(n_i, n_j): n_i, n_j \in N, i < j\}$ é o conjunto de arcos que representam as rotas utilizadas pela transportadora. Ao conjunto de arcos R está associada uma matriz de distâncias (d_{ij}) e aos nós pertencentes a N está associada uma matriz de demandas não negativas (e_{ij}) . Uma frota ilimitada de veículos V está disponível para fazer o transporte das demandas. Existem três grupos de veículos que diferem quanto às suas capacidades Q_v e quanto aos custos fixos CF_{ij}^v e variáveis CV_{ij}^v para percorrer um arco (n_i, n_j) que liga o depósito i ao depósito j utilizando um veículo v . Ao conjunto N pertence o subconjunto de *hubs* $H = \{(n_1, n_2, \dots, n_h): h < n\}$, ao qual está associado um custo variável de transbordo CH_i por unidade de quilo.
- *Função objetivo* – Minimizar o custo total das operações de transporte:

Minimizar

$$\sum_{i=1} \sum_{j=1} \sum_{v=1} (CF_{ij}^v + CV_{ij}^v \times d_{ij}) \times x_{ij}^v \times a_{ij}^v + \sum_{h=1} \sum_{i=1} \sum_{j=1} CH_h \times e_{ij} \times y_{ij}^h \quad (1)$$

Onde

a_{ij}^v = quantidade de veículos do tipo v percorrendo a rota (n_i, n_j)

$x_{ij}^v = \begin{cases} 1, & \text{se o arco } (i, j) \text{ está no trajeto do veículo } v \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$y_{ij}^h = \begin{cases} 1, & \text{se a demanda de } i \text{ para } j \text{ passa pelo hub } h \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

- *Restrições:*

(2) Os caminhões ficam alocados a uma única rota, o que significa que o veículo deve iniciar e finalizar seu roteiro em um mesmo depósito.

$$\sum_i x_{ip}^v - \sum_j x_{pj}^v = 0 \quad (v \in N^+; p = (1, 2, \dots, n)) \quad (2)$$

(3) Deve-se transportar no mínimo a carga que atenda ao nível de atendimento do depósito mais a carga não transportada no dia anterior.

(4) Os caminhões devem iniciar viagem no horário de saída programado para cada depósito.

5 ABORDAGEM

Como dito anteriormente, este problema foi modelado como um problema de roteirização, apresentando, portanto, natureza combinatória que impossibilita a resolução de problemas reais por meio da utilização de softwares de otimização. Logo, foi proposta uma abordagem em quatro fases: (i) uma heurística simples de geração de caminhos, (ii) um modelo de dimensionamento e custeio, (iii) uma heurística de otimização baseada em busca tabu e (iv) análise de oportunidades de redução de custos por meio de terceirização. A Figura 16 ilustra o relacionamento entre as fases de resolução do problema e indica as entradas e saídas de cada uma delas.

O algoritmo de resolução implementado no *software* VBA (*Visual Basic for Application*).

Na primeira fase o objetivo é determinar todos os possíveis caminhos, composto por um ou mais trechos, que liguem o ponto de origem i até o ponto de destino j . O conjunto de todos os caminhos gerados é o espaço-solução explorado durante a resolução do problema. A solução factível inicial, que é a saída desta fase, é composta pelos caminhos de mínima distância entre os diversos pares de depósitos.

Na segunda etapa, o objetivo é fazer o dimensionamento da frota, indicar o melhor veículo para cada rota e calcular o custo da solução inicial com base nos caminhos escolhidos na fase anterior. Seis processos são necessários para se chegar ao custo da solução inicial e cada um desses passos é explicado mais a frente.

A última fase do algoritmo, e terceira fase da abordagem, consiste em aplicar a meta-heurística de busca tabu com o objetivo de melhorar a solução inicial. O critério de escolha utilizado para determinar a rota a ser melhorada a cada iteração depende da ocupação dos veículos. Opta-se sempre por modificar rotas em que os caminhões estão com baixa ocupação, pois ao diminuir a quantidade de carga em uma rota espera-se diminuir a quantidade de caminhões necessários.

Todo o dimensionamento acima é para o cenário de máximo atendimento da necessidade de veículos utilizando frota própria. Isso quer dizer que o dimensionamento resulta em uma quantidade de veículos bem acima do necessário. Portanto, na última fase é feita uma análise

com o objetivo de identificar oportunidades para redução de custo, verificando a possibilidade de terceirização parcial ou total das rotas estudadas.

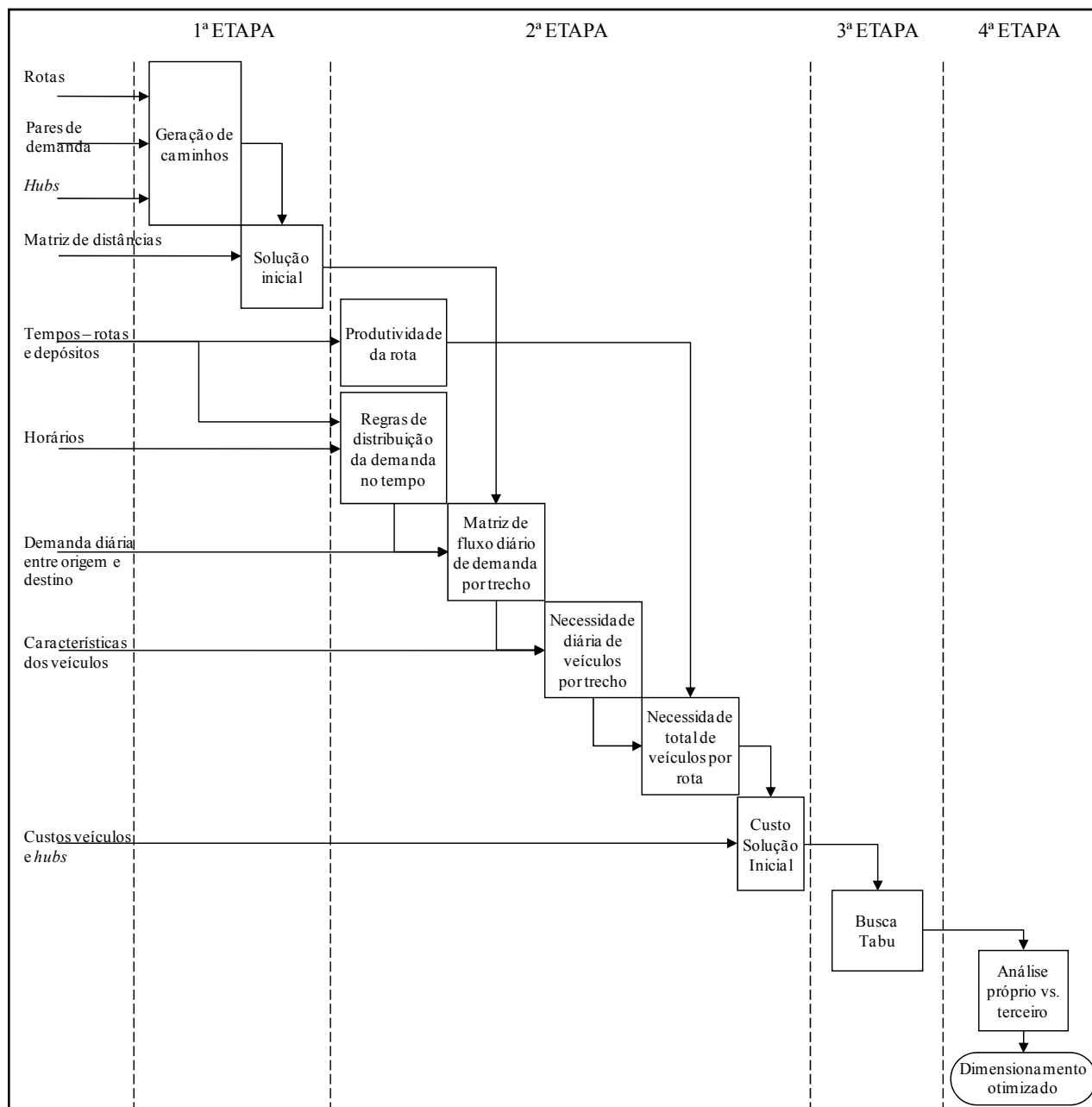


Figura 16. Estrutura lógica do programa de dimensionamento de frota

A seguir, as fases de resolução do problema são apresentadas detalhadamente.

5.1 PRIMEIRA FASE: CAMINHOS

Neste momento existem dois objetivos principais: gerar o espaço-solução do problema e escolher uma solução factível inicial.

Para esta etapa foi necessário conhecer a lista de pares origem-destino e também o conjunto de dados que indica para cada trecho:

- O depósito de origem – depósito em que o trecho inicia;
- O depósito de destino – depósito em que o trecho acaba;
- A rota à qual o trecho pertence;
- A classificação do depósito de destino – indica se o depósito de destino é um *hub* ou um armazém. Esta é uma variável binária em que o número 1 indica que o depósito é um *hub* e 0 indica o contrário;
- A distância – comprimento total do trecho em quilômetros;
- O tipo de rota ao qual o trecho pertence – indica se a rota é do tipo mista ou simples. As rotas denominadas sem volta foram transformadas em rotas simples criando-se uma perna de ligação entre o depósito final e o inicial. Na quarta fase é feita uma avaliação que indicará o que é mais barato, mantê-las como rota do tipo sem volta ou permitir a viagem de retorno;
- E, no caso de rotas mistas,
 - O número de trechos que pertencem a uma mesma rota;
 - Uma variável ponteiro que indica o próximo trecho daquela rota.

A tabela a seguir exemplifica o modo como os dados sobre as rotas foram inseridos no programa.

Tabela 5. Exemplo de tabela de entrada de dados utilizada na primeira etapa

Trecho	Rota	Origem	Destino	Destino é um hub?	Distância	Tipo	Número de trechos	Próximo trecho da rota
1a	1	A	B	1	100	Mista	3	Linha 2
1b	1	B	C	0	50	Mista	3	Linha 3
1c	1	C	A	0	150	Mista	3	Linha 1
...	...	...	...	...	...	...	...	...
100a	100	D	E	1	200	Simples	2	Linha 151
100c	100	E	D	1	200	Simples	2	Linha 150

Para a geração dos caminhos foram utilizadas três restrições:

1. Só é permitido realizar transbordo em *hubs*;
2. Só é permitido trafegar por uma rota mista se ao menos um dos depósitos que a compõe, com exceção do depósito de destino, é um *hub* ou é o depósito de destino;
3. É proibido passar por um mesmo depósito mais de uma vez.

A programação realizada permite a geração de caminhos que passem por no máximo três *hubs*, ou seja, que façam no máximo quatro trocas de caminhão. Utilizou-se esse valor pois é suficiente para garantir a ligação de todos os depósitos entre si. Logo, foram criados oito tipos de caminhos (ver Figura 17) que variam quanto à quantidade de *hubs* e pela presença ou ausência de rota mista.

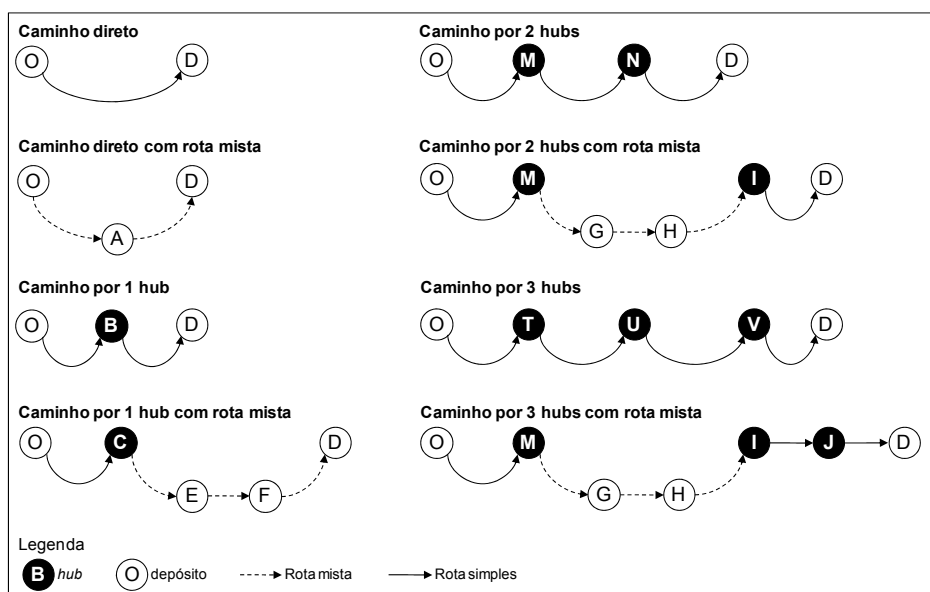


Figura 17. Tipos de caminhos gerados

O pseudocódigo de geração de caminhos diretos é apresentado abaixo.

```

(1)  Atribuir primeiro item da lista de depósitos de origem a ORIGEM
(2)  Atribuir primeiro item da lista de depósitos de destino diferente de ORIGEM a DESTINO
(3)  Executar seqüência de instruções...
(4)    Para cada ORIGEM não visitada
(5)      Para cada DESTINO não visitado
(6)        Executar seqüência de instruções...
(7)          Percorrer coluna de origens da tabela de trechos...
(8)            Se item da coluna de origens é igual a ORIGEM & item da coluna de destinos é igual a DESTINO
(9)              Registrar TRECHO na primeira linha vazia da tabela de saída
(10)             Registrar DISTANCIA na coluna distancia da mesma linha da tabela de saída
(11)             Registrar TIPO DE CAMINHO como DIRETO na coluna tipo da mesma linha da tabela de saída
(12)          Fim de Se (8)
(13)        Se item da coluna de origens é igual a ORIGEM & item da coluna de destinos é diferente de DESTINO
            & rota é MISTA
(14)          Ir ao próximo trecho da rota
(15)          Executar seqüência de instruções...
(16)            Se item da coluna de destinos é igual a DESTINO
(17)              Registrar TRECHO na primeira linha vazia da tabela de saída
(18)              DISTANCIA = soma das distancias dos trechos percorridos
(19)              Registrar DISTANCIA na coluna distancia da mesma linha da tabela de saída
(20)              Registrar TIPO DE CAMINHO como DIRETO MISTO na coluna tipo da mesma linha da tabela
                de saída
(21)            Senão ir ao próximo trecho
(22)          Fim de Se... Senão (16)
(23)          Ir ao próximo trecho da rota
(24)          ... até visitar todos os trechos daquela rota ou até achar o destino (15)
(25)        Fim de Se (13)
(26)      Ir para próxima linha da tabela de trechos (7)
(27)    ... até chegar ao fim da tabela de trechos (6)
(28)  Próximo DESTINO (5)
(29)  Próxima ORIGEM (4)
(30)  ... até que toda a lista de depósitos de ORIGEM seja visitada (3)

```

Figura 18. Pseudocódigo para geração de caminhos diretos

No caso dos caminhos diretos, o algoritmo (ver Figura 18) percorre a tabela de trechos do início ao fim uma vez por par origem-destino. Ele busca identificar a variável *depósito de origem* na coluna origem e, cada vez que a encontra, verifica se a coluna ao seu lado (destino) tem valor igual à variável *depósito de destino*. Em caso positivo, as informações sobre o trecho que liga os dois depósitos e sobre sua distância são registradas na tabela de saídas e, em seguida, o algoritmo continua a percorrer a tabela em busca de novos caminhos.

Caso o valor seja diferente de *depósito de destino*, verifica-se então se a rota em questão é *mista*. Em caso afirmativo, ela é investigada para identificar se algum dos trechos que a compõe possui ligação com o *depósito de destino*. Possuindo ligação, registra-se na tabela de saídas os trechos da rota que unem o depósito de origem ao depósito de destino, assim como a soma das distâncias de cada um desses trechos e, em seguida, o algoritmo continua a percorrer a tabela em busca de novos caminhos.

Caso a rota não seja *mista* ou caso a rota mista não contenha o *depósito de destino*, continua-se a percorrer a tabela até o seu fim ou até que uma nova variável *origem* seja identificada.

O pseudocódigo apresentado na página seguinte (Figura 19) mostra o método empregado para identificar os caminhos que passam por um *hub*.

Para os caminhos que passam por um *hub*, o algoritmo percorre a tabela de trechos do início ao fim pelo menos duas vezes por par origem-destino. Ele busca verificar quatro tipos de ocorrências:

1. Um depósito de origem que esteja ligado a um *hub* por um trecho pertencente a uma rota simples, que por sua vez está ligado ao depósito de destino por outro trecho pertencente a outra rota simples;
2. Um depósito de origem que esteja ligado a um *hub* por um trecho pertencente a uma rota simples, que por sua vez está ligado ao depósito de destino por trechos pertencentes a uma rota mista;
3. Um depósito de origem que esteja ligado a um *hub* por trechos pertencentes a uma rota mista, que por sua vez está ligado ao depósito de destino por um trecho pertencente a uma rota simples;
4. Um depósito de origem que esteja ligado a um *hub* por trechos pertencentes a uma rota mista, que por sua vez está ligado ao depósito de destino por trechos pertencentes a outra rota mista;

O pseudocódigo dos caminhos com dois e três *hubs* não estão apresentados nesta seção por serem muito extensos, contudo a lógica de geração de caminhos segue o método aplicado para o caso de um *hub*.

```

(1)  Atribuir primeiro item da lista de depósitos de origem a ORIGEM
(2)  Atribuir primeiro item da lista de depósitos de destino diferente de ORIGEM a DESTINO
(3)  Executar seqüência de instruções...
(4)    Para cada ORIGEM não visitada
(5)      Para cada DESTINO não visitado
(6)        Executar seqüência de instruções...
(7)          Percorrer coluna de origens da tabela de trechos...
(8)            Se item da coluna de origens é igual a ORIGEM & item da coluna de destinos diferente de DESTINO &
                destino é um HUB & rota é SIMPLES
(9)              Atribuir a ORIGEM_AUX o valor da coluna destinos
(10)             Atribuir ao primeiro valor do vetor TRECHO o item da coluna trecho
(11)             Atribuir a DISTANCIA o valor da coluna distancia
(12)             Executar seqüência de instruções...
(13)             Percorrer coluna de origens da tabela de trechos...
(14)             Se item da coluna de origens é igual a ORIGEM_AUX & item da coluna de destinos é igual a
                DESTINO
(15)               DISTANCIA = DISTANCIA + o valor da coluna distancia
(16)               Registrar TRECHO na primeira linha vazia da tabela de saída
(17)               Registrar DISTANCIA na coluna distancia da mesma linha da tabela de saída
(18)               Registrar TIPO DE CAMINHO como UM HUB na coluna tipo da mesma linha da tabela de saída
(19)             Fim de Se (14)
(20)             Se item da coluna de origens é igual a ORIGEM_AUX & item da coluna de destinos é diferente de
                DESTINO & rota é MISTA
(21)               Ir ao próximo trecho da rota
(22)               Executar seqüência de instruções...
(23)                 Se item da coluna de destinos é igual a DESTINO
(24)                   DISTANCIA = DISTANCIA + distancias dos trechos percorridos
(25)                   Registrar TRECHO na primeira linha vazia da tabela de saída
(26)                   Registrar DISTANCIA na coluna distancia da mesma linha da tabela de saída
(27)                   Registrar TIPO DE CAMINHO como UM HUB COM ROTA MISTA na coluna tipo da mesma
                        linha da tabela de saída
(28)                 Senão Ir ao próximo trecho
(29)                 Fim de Se... Senão (23)
(30)                 Ir ao próximo trecho da rota
(31)                 ... até visitar todos os trechos daquela rota ou até achar o destino (22)
(32)             Fim de Se (20)
(33)             Ir para próxima linha da tabela de trechos (13)
(34)             ... até chegar ao fim da tabela de trechos (12)
(35)           Fim de Se (8)
(36)           Se item da coluna de origens é igual a ORIGEM & item da coluna de destinos diferente de DESTINO
                & destino NÃO é um HUB & rota é MISTA
(37)             Ir ao próximo trecho da rota
(38)             Executar seqüência de instruções...
(39)               Se item da coluna "destino é um hub?" é igual a 1
(40)                 Atribuir a ORIGEM_AUX o valor da coluna destinos
(41)                 Atribuir ao primeiro valor do vetor TRECHO os trechos percorridos para chegar ao hub
(42)                 Atribuir a DISTANCIA o valor da distancia dos trechos percorridos
(43)               Senão Ir ao próximo trecho
(44)               Fim de Se... Senão (39)
(45)               Ir ao próximo trecho da rota
(46)               ... até visitar todos os trechos daquela rota ou até achar o hub (38)
(47)             Executar seqüência de instruções...
(48)             Percorrer coluna de origens da tabela de trechos...
(49)             Se item da coluna de origens é igual a ORIGEM_AUX & item da coluna de destinos é igual a
                DESTINO
(50)               DISTANCIA = DISTANCIA + o valor da coluna distancia
(51)               Adicionar coluna trecho ao vetor TRECHO
(52)               Registrar TRECHO na primeira linha vazia da tabela de saída
(53)               Registrar DISTANCIA na coluna distancia da mesma linha da tabela de saída
(54)               Registrar TIPO DE CAMINHO como UM HUB COM ROTA MISTA na coluna tipo da mesma linha
                        da tabela de saída
(55)             Fim de Se (49)
(56)             Ir para próxima linha da tabela de trechos (48)
(57)             ... até chegar ao fim da tabela de trechos (47)
(58)           Fim de Se (36)
(59)           Ir para próxima linha da tabela de trechos (7)
(60)           ... até chegar ao fim da tabela de trechos (6)
(61)         Próximo DESTINO (5)
(62)         Próxima ORIGEM (4)
(63)       ... até que toda a lista de depósitos de ORIGEM seja visitada (3)

```

Figura 19. Pseudocódigo para geração de caminhos que passam por um *hub*

Encerrada a geração de caminhos, analisa-se toda a tabela de saída em busca do menor caminho para cada par origem-destino. O algoritmo de determinação do menor caminho verifica qual o caminho de menor distância para cada par e indica com o número 1 que aquele é o menor caminho. O pseudocódigo e um exemplo da tabela de saída são apresentados na Figura 20 e na Tabela 6.

```

(1)  Executar seqüência de instruções...
(2)  Atribuir à variável LINHA_ATUAL o valor da primeira linha
(3)  Para cada par OD fazer da tabela de saída fazer...
(4)    DISTANCIA = 1.000.000
(5)    CONTADOR = 0
(6)    Executar seqüência de instruções...
(7)      Atribuir à variável DISTANCIA_ATUAL o valor da coluna distancia
(8)      Se DISTANCIA_ATUAL < DISTANCIA
(9)        DISTANCIA = DISTANCIA_ATUAL
(10)     LINHA_MIN = LINHA_ATUAL
(11)     Fim do Se (8)
(12)     CONTADOR = CONTADOR + 1
(13)     LINHA_ATUAL = LINHA_ATUAL + 1
(14)     ... enquanto coluna Par OD mantiver-se igual (6)
(15)     Atribuir à variável LINHA_VOLTA o valor de LINHA_ATUAL menos o valor do CONTADOR
(16)     Executar seqüência de instruções...
(17)       Se LINHA_VOLTA = LINHA_MIN
(18)         Atribuir à coluna Menor Caminho o valor 1
(19)       Senão
(20)         Atribuir à coluna Menor Caminho o valor 0
(21)       Fim Se... Senão (17)
(22)     ... enquanto LINHA_VOLTA < linha atual (16)
(23)     Passa para o próximo Par OD da tabela de saída (3)
(24)   ... até o fim da tabela de saída (1)

```

Figura 20. Pseudocódigo para determinação do menor caminho por par OD

Tabela 6. Exemplo da tabela de saída da fase um

Opção	Par OD	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	...	Trecho 10	Distância [km]	Tipo	Menor Caminho
1	AB	1a	-	-	-	-	100	Direto	1
2	AB	2a	3b	3c	-	-	400	1 <i>hub</i> mista	0
3	AB	2a	5d	9b	-	-	300	2 <i>hubs</i>	0
1	CD	3a	-	-	-	-	200	Direto	1
2	CD	6a	7b	-	-	-	500	1 <i>hub</i>	0
3	CD	8b	5c	4a	-	-	700	2 <i>hubs</i>	0

5.2 DIMENSIONAMENTO E CUSTEIO

Para chegar ao custo da solução inicial foram realizados diversos passos intermediários que serviram não somente a esta fase, mas também à etapa seguinte, de melhoria. Os passos são aqueles apresentados na Figura 16 e estão detalhados a seguir. Para cada um deles são apresentadas as tabelas de entrada, o algoritmo utilizado e a tabela de saída. Todas as tabelas são ilustrativas e ainda não possuem os dados reais do problema.

É importante dizer que todos os passos dessa fase foram realizados levando-se em consideração cada modelo de caminhão em análise com o objetivo de comparar seus custos.

5.1.1 1º Passo: Cálculo da produtividade de cada rota

O cálculo da produtividade tem como objetivo determinar a quantidade de ciclos completos (ida e volta ao depósito de origem) possíveis de serem realizados no período de um mês. Essa informação, juntamente com a necessidade diária de veículo por trecho (4º passo) leva ao dimensionamento da frota de veículos necessários com base no conjunto de caminhos escolhidos.

Novamente, a produtividade (P) é obtida pela divisão das horas disponíveis para transporte em um mês pela duração em horas de um ciclo completo (T_{ciclo}). O valor de horas disponíveis é obtido pela multiplicação da quantidade de dias úteis em um mês (D_u) pelas horas de tempo disponível por dia para o transporte (H_d), que no caso da transportadora são 24h por dia, pois ela adota o modelo de *hot seat*:

$$P = \left\lfloor \frac{D_u \times H_d}{T_{ciclo}} \right\rfloor \quad (1)$$

A produtividade deve ser arredondada para baixo, para indicar o número de ciclos completos capazes de serem realizados.

Tabela 8. Saída da fase de produtividade – produtividade por rota

Rota	<i>P</i> toco	<i>P</i> truck	<i>P</i> cavalo	<i>P</i> carreta
1	22	22	22	22
	ciclos/mês	ciclos/mês	ciclos/mês	ciclos/mês

```

(1)  Executar sequência de instruções...
(2)  Para cada ROTA da tabela fazer...
(3)  Executar sequência de instruções...
(4)  Para cada tipo de VEICULO fazer
(5)  Se VEICULO ≠ "CAVALO"
(6)  Para cada TRECHO fazer
(7)  Atribui a HS o horário de saída do TRECHO
(8)  Atribui a HS2 o horário de saída do Próximo TRECHO
(9)  Atribui a TVIAGEM o tempo de viagem da mesma linha da tabela
(10) Atribui a TDESCARGA o tempo de descarga da mesma linha da tabela
(11) Atribui a TCARREGAMENTO o tempo de carregamento da linha do Trecho seguinte
(12) ESPERA = HS2 – (HS + TVIAGEM + TDESCARGA + TCARREGAMENTO)
(13) Se ESPERA < 0
(14) Executa instrução ...
(15) ESPERA = ESPERA + 24
(16) ... até ESPERA > 0
(17) Fim do Se (13)
(18) TCICLO = TESPERA + TVIAGEM + TDESCARGA + TCARREGAMENTO
(19) Se TODOS os TRECHOS da ROTA foram visitados
(20) PRODUTIVIDADE = ARREDONDAR_PARA_BAIXO(22*24/TCICLO)
(21) Fim do Se (19)
(22) ... Ir para próximo TRECHO (6)
(23) Senão...
(24) Para cada TRECHO fazer
(25) Atribui a HS o horário de saída do TRECHO
(26) Atribui a HS2 o horário de saída do Próximo TRECHO
(27) Atribui a TVIAGEM o tempo de viagem da mesma linha da tabela
(28) ESPERA = HS2 – (HS + TVIAGEM)
(29) Se ESPERA < 0
(30) Executa instrução ....
(31) ESPERA = ESPERA + 24
(32) ... até ESPERA > 0
(33) Fim do Se (29)
(34) TCICLO = TESPERA + TVIAGEM
(35) Se TODOS os TRECHOS da ROTA foram visitados
(36) PRODUTIVIDADE = ARREDONDAR_PARA_BAIXO(22*24/TCICLO)
(37) Fim do Se (35)
(38) ... Ir para próximo TRECHO (24)
(39) Fim do Se (5)
(40) ... Ir para próximo VEICULO (4)
(41) ...até visitar todos os trechos da rota (3)
(42) ...Ir para próxima ROTA (2)
(43) ... enquanto tabela de tempos não chega ao fim (1)

```

Figura 21. Pseudocódigo para determinação da produtividade de cada rota

5.1.2 2º Passo: Cálculo da regra de distribuição da demanda

A regra de distribuição indica a característica temporal de cada caminho gerado. Por exemplo, dado um caminho com três trechos, adota-se que a carga inicia seu trajeto no primeiro trecho no dia 0 e a partir dos tempos (viagem, carregamento, descarga, espera) de cada uma das pernas restantes, determina-se em que dia a carga passa pelas demais pernas do caminho.

Essa informação é muito relevante no momento de alocar a demanda de mercadoria por fluxo, tendo em vista que dentro de um mesmo caminhão podem existir cargas de diversas origens e, mais importante, que foram despachadas do depósito inicial em dias diferentes. A regra de distribuição temporal serve de base para a realização do terceiro passo, a determinação do fluxo de carga diário por trecho.

As informações necessárias para este passo são tabelas de etapas anteriores: a Tabela 6 com as saídas da primeira fase e a Tabela 7 com os tempos por trecho. Como saída, são geradas quatro tabelas. A primeira delas (Tabela 9) é complementar à Tabela 6 e indica a regra de distribuição para todos os caminhos gerados considerando três casos, a carga viajando por toco, por *truck* ou por carreta.

Tabela 9. Exemplo de tabela de regra de distribuição gerada para todos os caminhos do espaço-solução (Continua)

Opção	Par OD	Trechos				Menor Caminho	Distribuição - toco			...
		1	2	3	...		Trecho1	Trecho2	Trecho3	
1	AB	1a	-	-	...	1	0	-	-	...
2	AB	2a	3b	3c	...	0	0	1	2	...
3	AB	2a	5d	9b	...	0	0	1	3	...
1	CD	3a	-	-	...	1	0	-	-	...
2	CD	6a	7b	-	...	0	0	0	-	...
3	CD	8b	5c	4a	...	0	0	1	1	...

(Continuação) Tabela 9. Exemplo de tabela de regra de distribuição gerada para todos os caminhos do espaço-solução

Opção	Par OD	...	Distribuição - truck			...	Distribuição - carreta		
			Trecho1	Trecho2	Trecho3		Trecho1	Trecho2	Trecho3
1	AB	...	0	-	-	...	0	-	-
2	AB	...	0	1	2	...	0	1	3
3	AB	...	0	1	3	...	0	2	4
1	CD	...	0	-	-	...	0	-	-
2	CD	...	0	1	-	...	0	1	-
3	CD	...	0	1	2	...	0	2	3

As três outras tabelas geradas seguem o formato da Tabela 10, logo resumem as informações por trecho e por par origem-destino somente para os caminhos da solução inicial. Cada tabela refere-se a um dos três cenários considerados (toco, *truck*, carreta). Nesse momento não são geradas informações relativas aos cavalos, pois a carga é carregada pelas carretas, dependendo somente dos tempos desta última.

Tabela 10. Regra de distribuição em forma de matriz gerada somente para os caminhos da solução inicial

Par OD	Trecho				
	1a	1b	1c	2a	...
AB	0				
AC		0	0		
AD			0	1	
BA		0	1		
...					

O algoritmo proposto segue o pseudocódigo apresentado na Figura 22. Para cada opção de caminho da Tabela 6 atribui-se o valor 0 para o primeiro trecho e a partir de então se calcula o dia em que inicia o trecho seguinte com base nos tempos da Tabela 7 (*loop* 1 a 57 do pseudocódigo da Figura 22). Após determinar a regra para todos os caminhos, começa a preencher a Tabela 10 somente para os caminhos marcados com 1 na coluna caminho mínimo da Tabela 6 (*loop* 58 a 70 do pseudocódigo da Figura 22).

```

(1)  Executar sequência de instruções...
(2)  Para cada linha da TABELA 5...
(3)    Atribui o valor 0 para as colunas DIST. TOCO – TRECHO1, DIST. TRUCK – TRECHO1,
      DIST. CAVALO– TRECHO1
(4)    Vai para coluna TRECHO2
(5)  Executar sequência de instruções...
(6)    Atribui a TRECHO_ANTERIOR o valor da coluna anterior
(7)    Atribui a TRECHO_ATUAL o valor da coluna atual
(8)    Percorre coluna trecho da TABELA 6 a partir da primeira linha...
(9)      Se valor da coluna trecho = TRECHO_ANTERIOR
(10)        HS1 = valor da coluna HS ORIGEM da TABELA 6
(11)        TVIAGEM = valor da coluna TVIAGEM da TABELA 6
(12)        TDESCARGA_TO = valor da coluna TDESCARGA NO DESTINO TOCO da TABELA 6
(13)        TDESCARGA_TR = valor da coluna TDESCARGA NO DESTINO TRUCK da TABELA 6
(14)        TDESCARGA_CA = valor da coluna TDESCARGA NO DESTINO CARRETA da TABELA 6
(15)      Ou Se valor da coluna trecho = TRECHO_ATUAL
(16)        HS2 = valor da coluna HS ORIGEM da TABELA 6
(17)        TCARREGAMENTO_TO = valor da coluna TCARREGAMENTO NA ORIGEM TOCO da TABELA 6
(18)        TCARREGAMENTO_TR = valor da coluna TCARREGAMENTO NA ORIGEM TRUCK da TABELA 6
(19)        TCARREGAMENTO_CA = valor da coluna TCARREGAMENTO NA ORIGEM CARRETA da TABELA 6
(20)      Fim de Se.. ou Se (9)
(21)      ESPERA_TO = HS2 – (HS1 + TVIAGEM + TDESCARGA_TO + TCARREGAMENTO_TO)
(22)      ESPERA_TR = HS2 – (HS1 + TVIAGEM + TDESCARGA_TR + TCARREGAMENTO_TR)
(23)      ESPERA_CA = HS2 – (HS1 + TVIAGEM + TDESCARGA_CA + TCARREGAMENTO_CA)
(24)      HOR_TRECHO_TO = HS1 + TVIAGEM + TDESCARGA_TO + TCARREGAMENTO_TO = ESPERA_TO
(25)      HOR_TRECHO_TR = HS1 + TVIAGEM + TDESCARGA_TR + TCARREGAMENTO_TO = ESPERA_TR
(26)      HOR_TRECHO_CA = HS1 + TVIAGEM + TDESCARGA_CA + TCARREGAMENTO_TO = ESPERA_CA
(27)      DIA_TO = 0
(28)      HS2_AUX = HS2
(29)      Executa sequência de instruções...
(30)        Se HS2_AUX – HOR_TRECHO_TO < 0
(31)          HS2_AUX = HS2_AUX + 24horas
(32)          DIA_TO = DIA_TO + 1
(33)        Fim do Se (30)
(34)      ... até HS2_AUX – HOR_TRECHO_TO > 0 (29)
(35)      DIA_TR = 0
(36)      HS2_AUX = HS2
(37)      Executa sequência de instruções...
(38)        Se HS2_AUX – HOR_TRECHO_TR < 0
(39)          HS2_AUX = HS2_AUX + 24horas
(40)          DIA_TR = DIA_TR + 1
(41)        Fim do Se (38)
(42)      ... até HS2_AUX – HOR_TRECHO_TR > 0 (37)
(43)      DIA_CA = 0
(44)      HS2_AUX = HS2
(45)      Executa sequência de instruções...
(46)        Se HS2_AUX – HOR_TRECHO_CA < 0
(47)          HS2_AUX = HS2_AUX + 24horas\
(48)          DIA_CA = DIA_CA + 1
(49)        Fim do Se (46)
(50)      ... até HS2_AUX – HOR_TRECHO_CA > 0 (45)
(51)      Atribui o valor de DIA_TO para a coluna DIST. TOCO do TRECHO em questão
(52)      Atribui o valor de DIA_TR para a coluna DIST. TRUCK do TRECHO em questão
(53)      Atribui o valor de DIA_CA para a coluna DIST. CARRETA do TRECHO em questão
(54)      ... vai para próxima linha (8)
(55)      ... até coluna de TRECHOS ficar VAZIA (5)
(56)      ... vai para próxima linha da TABELA 5 (2)
(57)      ... enquanto TABELA 5 não chega ao fim (1)

```

Figura 22. Pseudocódigo para determinação da regra de distribuição (Continua)

```

(58) Executa seqüência de instruções ...
(59)   Percorre coluna MENOR CAMINHO da TABELA 5 a partir da primeira linha...
(60)     Se valor da célula = 1
(61)       Executa seqüência de instruções para cada tipo de veículo...
(62)         Atribui a TRECHO_ATIVO o valor da coluna TRECHO
(63)         Atribui a PAROD_ATIVO o valor da coluna PAROD
(64)         Procura TRECHO_ATIVO na linha inicial da TABELA 9
(65)         Procura PAROD_ATIVO na coluna inicial da TABELA 9
(66)         Registra na célula de linha = PAROD e coluna igual a TRECHOATIVO da TABELA 9 o valor da coluna DIST.
          TOCO ou DIST. TRUCK ou DIST. CARRETA do TRECHO em questão
(67)       ... até coluna de TRECHOS ficar VAZIA (61)
(68)     Fim do se (60)
(69)   ... vai para próxima linha (59)
(70) ... enquanto TABELA 5 não chega ao fim (58)

```

(Continuação) **Figura 22. Pseudocódigo para determinação da regra de distribuição**

5.1.3 3º Passo: Determinação do fluxo de carga diário por trecho

A partir da tabela de saída do passo anterior (Tabela 10) e das tabelas de demanda diária, em tonelada (Tabela 11) e em m3 (Tabela 12), por par origem-destino, é possível determinar o fluxo de carga por trecho.

Tabela 11. Tabela de demanda diária em toneladas

	Dia 1	Dia 2	...	Dia 365
AB	1	2		5
AC	1	1		10
AD	2	2		20
BA	3	4		8
...				

Tabela 12. Tabela de demanda diária em m3

	Dia 1	Dia 2	...	Dia 365
AB	4	8		20
AC	4	4		40
AD	8	8		80
BA	12	16		56
...				

O algoritmo percorre a Tabela 10 e identifica quais pares origem-destino enviam carga por um determinado trecho e, em seguida, verifica que dia essa carga foi originada. Com essas informações percorre as tabelas de demanda diária somando o total de carga que passa pelo trecho.

Como exemplo, considere a coluna 1c da Tabela 10, ao percorrê-la linha a linha verifica-se que o trecho 1c recebe carga que vai de A para C e que vai de A para D, ambas originadas no mesmo dia em que passam pelo trecho, e também recebe a carga que saiu de B em direção a

A um dia antes de passar pelo trecho 1c. Portanto, no Dia 2 o trecho 1c recebe 6 toneladas que correspondem a 24 m^3 de carga:

$$Ton_{1c} = Ton_{AC}^{D2} + Ton_{AD}^{D2} + Ton_{BA}^{D1} = 1 + 2 + 3 = 6 \text{ toneladas} \quad (1)$$

$$M3_{1c} = M3_{AC}^{D2} + M3_{AD}^{D2} + M3_{BA}^{D1} = 4 + 8 + 12 = 24 \text{ m}^3 \quad (2)$$

A saída do terceiro passo são seis tabelas com informações quanto ao fluxo de carga por trecho dia a dia. As tabelas são as seguintes: (1) fluxo de carga em peso para o cenário *toco*, (2) fluxo de carga em volume para o cenário *toco*, (3) fluxo de carga em peso para o cenário *truck*, (4) fluxo de carga em volume para o cenário *truck*, (5) fluxo de carga em peso para o cenário cavalo-carreta e (6) fluxo de carga em volume para o cenário cavalo-carreta.

A Tabela 13 exemplifica a saída deste passo e o algoritmo utilizado é mostrado na Figura 23.

Tabela 13. Fluxo diário de carga por trecho

	Dia1	Dia2	Dia3	...	Dia 364	Dia 365
Trecho 1a	3	6	7	...	8	10
Trecho 1b	4	5	5	...	16	18
Trecho 1c	3	6	7	...	36	38
...				...		

(1)	Executar sequência de instruções...
(2)	Posiciona-se na primeira coluna da TABELA 9
(3)	Posiciona-se na primeira linha da TABELA 9
(4)	Se valor da posição (linha, coluna) NÃO é VAZIO
(5)	Atribui a PAROD o valor da posição (linha, cabeçalho linha)
(6)	Atribui a VARIACAO o valor da posição (linha, coluna)
(7)	Executar sequência de instruções...
(8)	Posiciona-se primeira linha da TABELA 10
(9)	Executar sequência de instruções...
(10)	Se o valor da posição (linha, cabeçalho linha) = PAROD
(11)	Procurar TRECHO em questão no cabeçalho da TABELA DE SAIDA de peso para veículo em questão
(12)	Executar sequência de instruções ...
(13)	Atribui à posição (TRECHO, DIA) da TABELA DE SAIDA seu valor atual acrescido do valor da posição (PAROD, DIA – VARIACAO) da TABELA 10
(14)	... até preencher todos os DIAS da TABELA DE SAIDA de peso para veículo em questão (11)
(15)	Fim do Se (10)
(16)	... até achar o PAROD (9)
(17)	Posiciona-se primeira linha da TABELA 11
(18)	Executar sequência de instruções...
(19)	Se o valor da posição (linha, cabeçalho linha) = PAROD
(20)	Procurar TRECHO em questão no cabeçalho da TABELA DE SAIDA de volume para veículo em questão
(21)	Executar sequência de instruções ...
(22)	Atribui à posição (TRECHO, DIA) da TABELA DE SAIDA seu valor atual acrescido do valor da posição (PAROD, DIA – VARIACAO) da TABELA 11
(23)	... até preencher todos os DIAS da TABELA DE SAIDA de volume para veículo em questão (20)
(24)	Fim do Se (19)
(25)	... até achar o PAROD (18)
(26)	... para cada tipo de veículo (7)
(27)	Fim do Se (4)
(28)	Vai para próxima linha de PAROD da TABELA 9 (3)
(29)	Vai para próxima coluna de TRECHO da TABELA 9 (2)
(30)	... até percorrer toda a TABELA 9 (1)

Figura 23. Pseudocódigo para geração das tabelas de fluxo diário por trecho

5.1.4 4º Passo: Determinação da necessidade diária de veículo por trecho

Conhecendo o fluxo diário por trecho (Tabela 13), as capacidades em peso e em volume dos diferentes caminhões (Tabela 14) e o nível de atendimento (Tabela 15) de cada perna, é possível calcular a necessidade diária de veículos por trecho.

Tabela 14. Dados de capacidade por caminhão

	Toco	Truck	Carreta
Capacidade em Ton.	9	15	27
Capacidade em m ³	27	48	105

Tabela 15. Tabela de entrada – nível de atendimento

Rota	Trecho	Nível de Atendimento em %
1	1a	95
1	1b	95
1	1c	95
2	2a	90
2	2b	90
...	...	...

A necessidade diária N_v de um veículo v é o menor inteiro maior que o resultado de uma divisão simples entre o total de carga F_t e a capacidade do caminhão K_v :

$$N_v = \left\lceil \frac{F_t}{K_v} \right\rceil \quad (1)$$

Onde a notação $\lceil x \rceil$ representa o menor inteiro maior que x .

Contudo, um caminhão pode ficar cheio tanto pelo peso quanto pelo volume, dependendo da característica da carga transportada. Portanto, a necessidade de veículos é o valor máximo entre a necessidade com base no peso e aquela com base no volume:

$$N'_v = MAX \left[\left\lceil \frac{F_t^{ton}}{K_v^{ton}} \right\rceil, \left\lceil \frac{F_t^{m^3}}{K_v^{m^3}} \right\rceil \right] \quad (2)$$

Outro ponto que influi sobre a necessidade de veículos é o nível de atendimento, que, como comentado anteriormente, indica a quantidade de carga que deve ser transportada no mesmo dia em que foi recepcionada no depósito/*hub*.

Para este problema adotou-se que, sempre que a quantidade de caminhões necessários para atender o nível de atendimento (NA) for menor que aquela necessária para transportar 100% da carga, opta-se pela quantidade mais baixa. Isso implica em sobra de carga (S) no terminal que deve ser transportada obrigatoriamente no dia seguinte, não podendo sofrer mais atrasos.

$$N''_v = Min \left[\left\lceil \frac{(F_t * NA) + S}{K_v} \right\rceil, \left\lceil \frac{F_t + S}{K_v} \right\rceil \right] \quad (3)$$

Combinando-se as informações das equações (2) e (3), chega-se à equação utilizada para determinar o número de caminhões necessários por trecho:

$$N_v = \text{Max} \left\{ \text{Min} \left[\left\lceil \frac{(F_t^{Ton} * NA) + S^{ton}}{K_v^{ton}} \right\rceil, \left\lceil \frac{F_t^{Ton} + S^{ton}}{K_v^{ton}} \right\rceil \right], \text{Min} \left[\left\lceil \frac{(F_t^{m^3} * NA) + S^{m^3}}{K_v^{m^3}} \right\rceil, \left\lceil \frac{F_t^{m^3} + S^{m^3}}{K_v^{m^3}} \right\rceil \right] \right\} \quad (4)$$

As saídas deste passo são três tabelas que informam a necessidade diária de veículos para cada trecho, cada um considerando o uso de um caminhão específico (Tabela 16).

Tabela 16. Necessidade diária de caminhões por trecho

	Dia1	Dia2	Dia3	...	Dia 364	Dia 365
Trecho 1a	1	1	1	...	1	2
Trecho 1b	1	1	1	...	2	2
Trecho 1c	1	1	1	...	4	4
...				...		

O algoritmo é mostrado na Figura 24.

```

(1)  Atribui a VEICULO a primeira coluna da linha de cabeçalhos da TABELA 13
(2)  Executar seqüência de instruções...
(3)    Atribui a CAPACIDADE_P o valor da linha 2 da mesma coluna
(4)    Atribui a CAPACIDADE_V o valor da linha 3 da mesma coluna
(5)    Vai para primeira linha da TABELA 12
(6)    Executar seqüência de instruções ...
(7)      Atribui a TRECHO_ATIVO o valor da linha atual na coluna cabeçalho
(8)      Atribui a SOBRA_CARGA_P o valor 0
(9)      Atribui a SOBRA_CARGA_V o valor 0
(10)     Vai para primeira linha da TABELA 14
(11)     Executar seqüência de instruções ...
(12)       Se valor da posição (linha ativa, coluna trecho) da TABELA 14 igual a TRECHO_ATIVO
(13)         TRECHO_ATIVO foi encontrado
(14)         Atribui a NIVEL_ATEND o valor da posição (linha ativa, coluna nível de atendimento)
(15)       Fim do Se (11)
(16)     ... até que TRECHO_ATIVO seja encontrado (10)
(17)     Executar seqüência de instruções ...
(18)       Atribui à variável CARGA_P o valor da posição (linha, coluna) da TABELA 12 de fluxo diário em peso para o
(19)       veículo em questão
(20)       Atribui à variável CARGA_V o valor de posição (linha, coluna) da TABELA 12 de fluxo diário em volume para
(21)       o veículo em questão
(22)       Se  $(CARGA_V / CAPACIDADE_V) > (CARGA_P / CAPACIDADE_P)$ 
(23)         Se  $ARREDONDA\_PARA\_CIMA\{[(CARGA_V * NIVEL\_ATEND) + SOBRA\_CARGA\_V] / CAPACIDADE\_V\}$ 
(24)          $< ARREDONDA\_PARA\_CIMA\{(CARGA_V + SOBRA\_CARGA\_V) / CAPACIDADE\_V\}$ 
(25)           NVEICULOS =  $ARREDONDA\_PARA\_CIMA\{[(CARGA_V * NIVEL\_ATEND) + SOBRA\_CARGA\_V] /$ 
(26)            $CAPACIDADE\_V\}$ 
(27)           SOBRA_CARGA_V =  $CARGA\_V * (1 - NIVEL\_ATEND)$ 
(28)           SOBRA_CARGA_P =  $CARGA\_P * (1 - NIVEL\_ATEND)$ 
(29)         Senão
(30)           NVEICULOS =  $ARREDONDA\_PARA\_CIMA\{(CARGA_V + SOBRA\_CARGA\_V) / CAPACIDADE\_V\}$ 
(31)           SOBRA_CARGA_V = 0
(32)           SOBRA_CARGA_P = 0
(33)         Fim do Se... Senão (21)
(34)       Atribui à posição (linha ativa, trecho ativo) da TABELA 12 o valor de NVEICULOS
(35)       Senão
(36)       Se  $ARREDONDA\_PARA\_CIMA\{[(CARGA\_P * NIVEL\_ATEND) + SOBRA\_CARGA\_P] / CAPACIDADE\_P\}$ 
(37)        $< ARREDONDA\_PARA\_CIMA\{(CARGA\_P + SOBRA\_CARGA\_P) / CAPACIDADE\_P\}$ 
(38)         NVEICULOS =  $ARREDONDA\_PARA\_CIMA\{[(CARGA\_P * NIVEL\_ATEND) + SOBRA\_CARGA\_P] /$ 
(39)          $CAPACIDADE\_P\}$ 
(40)         SOBRA_CARGA_V =  $CARGA\_V * (1 - NIVEL\_ATEND)$ 
(41)         SOBRA_CARGA_P =  $CARGA\_P * (1 - NIVEL\_ATEND)$ 
(42)       Senão
(43)         NVEICULOS =  $ARREDONDA\_PARA\_CIMA\{(CARGA\_P + SOBRA\_CARGA\_P) / CAPACIDADE\_P\}$ 
(44)         SOBRA_CARGA_V = 0
(45)         SOBRA_CARGA_P = 0
(46)       Fim do Se... Senão (32)
(47)       Atribui à posição (linha ativa, trecho ativo) da TABELA 12 o valor de NVEICULOS
(48)     Fim de Se ... Senão (20)
(49)     Vai para próxima coluna
(50)     ... até chegar à última coluna da TABELA 12 (17)
(51)     Vai para próxima linha da TABELA 14
(52)     ... até que todas as linhas da TABELA 12 tenham sido percorridas (6)
(53)     Vai para próxima coluna e carrega novo VEICULO
(54)     ... até que todos os veículos tenham sido utilizados (2)

```

Figura 24. Pseudocódigo para determinação da necessidade diária de veículos

5.1.5 5º Passo: Determinação da necessidade de veículo por rota

Para chegar ao número de veículos necessários por rota utiliza-se como dados de entrada as três matrizes de necessidade de veículo por dia por trecho (Tabela 16) do passo anterior e os dados de produtividade por rota gerados no primeiro passo (Tabela 8).

O dimensionamento inicial é feito com base no pior cenário possível, para que nunca falte veículos para a transportadora. Logo, o algoritmo verifica todos os trechos que compõem uma rota e identifica a máxima demanda de veículos ($N_v^{i,max}$) que ocorreu em um dia. Esse valor é adotado como a necessidade diária de veículos para a rota naquele ano e o número total de caminhões necessários é obtido por:

$$Q_i^v = \frac{D_{mensal}^v}{P_i^v} = \frac{N_v^{i,max} \times 22}{P_i^v} \quad (1)$$

Onde

Q_i^v	=	Quantidade de veículos v necessários para a rota i
D_{mensal}^v	=	Demanda mensal de viagens a serem realizadas pelo veículo v na rota i
P_i^v	=	Produtividade do veículo v na rota i em ciclos/mês
$N_v^{i,max}$	=	Necessidade diária máxima de um veículo v dentre os trechos da rota i

A saída deste passo é uma tabela que apresenta por rota a necessidade total de tocos, *trucks*, cavalos e carretas. É importante lembrar que o número de cavalos é diferente do número de carretas, pois possuem produtividades distintas.

Tabela 17. Tabela de número total de veículo por rota para cada tipo de veículo

	Quantidade de Tocos	Quantidade de Trucks	Quantidade de Cavalos	Quantidade de Carretas
Rota 1	4	3	1	2
Rota 2	7	5	2	3
...				

O pseudocódigo utilizado é apresentado abaixo.

```

(1)  Ir para primeira ROTA da TABELA DE NECESSIDADE DIARIA DE VEICULOS do primeiro VEICULO
(2)  Executar seqüência de instruções...
(3)  Executar seqüência de instruções...
(4)  Atribuir a MAX o valor 0
(5)  Executar seqüência de instruções...
(6)  Executar seqüência de instruções...
(7)  Atribuir a NECESSIDADE o valor da linha ativa, coluna ativa
(8)  Se NECESSIDADE > MAX
(9)  MAX = NECESSIDADE
(10) Fim do Se (8)
(11) ... até que todas as colunas sejam percorridas (6)
(12) Ir para próximo TRECHO
(13) ...até que todos os TRECHOS da ROTA sejam visitados (5)
(14) Percorrer a tabela de produtividade ...
(15) Atribuir a PRODUTIVIDADE o valor da posição linha ROTA, coluna VEICULO
(16) ... até achar produtividade do VEICULO na ROTA (14)
(17) Atribuir à primeira linha vazia da TABELA NUMERO TOTAL DE VEICULOS POR ROTA da coluna VEICULO o
      valor de [(MAX x 22) / PRODUTIVIDADE]
(18) Ir para a linha da próxima ROTA
(19) ... até que toas as ROTAS da TABELA DE NECESSIDADE DIARIA DE VEICULOS ativa sejam percorridas (3)
(20) Ir para primeira linha da próxima TABELA DE NECESSIDADE DIARIA DE VEICULOS
(21) ... até que todas as TABELAS DE NECESSIDADE DIARIA DE VEICULOS sejam percorridas (2)

```

Figura 25. Pseudocódigo para determinação da necessidade de veículo por rota

5.1.6 6º Passo: Cálculo do custo da solução inicial

Como explicado anteriormente, o custo da operação de transferência em uma rota engloba os custos de transporte e o custo de manuseio de carga nos pontos de transbordo. Todos os custos foram determinados com base nos gastos registrados pela empresa.

Os custos de transporte total para uma dada rota i foram calculados para cada rota da seguinte forma:

$$CT_i^v = (CF_i^v + CV_i^v \times d_i \times P_{unit}^v) \times N_v \quad (1)$$

Onde

CT_i^v	=	Custo total por mês para percorrer a rota i utilizando veículos do tipo v
CF_i^v	=	Custo fixo por mês para um veículo v percorrer a rota i
CV_i^v	=	Custo variável por quilômetro do veículo v em uma rota de condições semelhantes à da rota i
d_i	=	Comprimento total de um ciclo da rota i
P_{unit}^v	=	Produtividade unitária do veículo v na rota i em ciclos por mês
N_v	=	Quantidade de veículos v dedicados à rota i

As informações de custo de transporte por rota foram tabuladas do mesmo modo que a Tabela 18 abaixo.

Tabela 18. Entrada dos dados de custo

	Custo Fixo Toco	Custo Variável Toco	Custo Fixo Truck	Custo Variável Truck	Custo Fixo Cavalo	Custo Variável Cavalo	Custo Fixo Carreta	Custo Variável Carreta
Rota 1	\$1000	\$0,80	\$1300	\$0,96	\$1700	\$1,08	\$300	\$0,13
Rota 2	\$1100	\$0,80	\$1450	\$0,96	\$1800	\$1,08	\$300	\$0,13
...								

O custo de manuseio por tonelada de carga transbordada foi considerado o mesmo para todos os *hubs*.

Para realizar o último passo na determinação da solução inicial, o algoritmo proposto verifica o custo de percorrer cada rota em cada um dos cenários (toco, *truck* e cavalo-carreta) e opta pela configuração de menor custo. A saída desta fase é a indicação, para cada rota, do tipo de caminhão escolhido, a quantidade necessária e o custo mensal (Tabela 19).

Tabela 19. Dimensionamento por rota – Solução inicial

	Caminhão	Quantidade de veículos - tração	Quantidade de carretas	Custo mensal
Rota 1	Cavalo-carreta	1	2	\$50.600
Rota 2	Cavalo-carreta	2	3	\$99.000
...				

O algoritmo implementado utilizou dois blocos principais, um para o cálculo do custo de transporte, cujo pseudocódigo é apresentado na Figura 26, e um para o cálculo do custo de manuseio, que pode se visto na Figura 27.

```

(1)  Ir para primeira linha da TABELA DE NECESSIDADE DE VEICULOS POR ROTA
(2)  Atribuir a CUSTO_TOTAL_TR o valor 0
(3)  Executar seqüência de instruções...
(4)  Ir para a coluna VEICULO
(5)  CUSTO_MIN = 1000000
(6)  Executar seqüências de instruções...
(7)  Atribuir a ROTA o valor da linha ativa, coluna cabeçalho
(8)  Atribuir a DISTANCIA o comprimento da rota
(9)  Atribuir a NVEICULO a quantidade de veículos na rota
(10) Atribuir a PRODUTIVIDADE a produtividade do veículo na rota
(11) Ir para TABELA DE CUSTOS
(12) Executar seqüência de instruções...
(13) Se posição linha, coluna cabeçalho for igual a ROTA e posição linha cabeçalho, coluna for igual a VEICULO
(14)   Atribuir a CUSTO_F o valor da posição linha, coluna
(15)   Atribuir a CUSTO_V o valor da posição linha, coluna +1
(16)   CUSTO encontrado
(17)   Fim de Se (10)
(18)   ... até encontrar CUSTO (12)
(19)    $CUSTO\_T = CUSTO\_F * NVEICULOS + CUSTO\_V * DISTANCIA * NVEICULOS * PRODUTIVIDADE$ 
(20)   Se  $CUSTO\_T < CUSTO\_MIN$ 
(21)      $CUSTO\_MIN = CUSTO\_T$ 
(22)      $MELHOR\_VE = VEICULO$ 
(23)   Fim de Se (19)
(24) Ir para próxima coluna VEICULO
(25) ... até que todas as colunas VEICULO da linha na TABELA DE NECESSIDADE DE VEICULOS POR ROTA sejam visitadas (6)
(26)  $CUSTO\_TOTAL\_TR = CUSTO\_TOTAL\_TR + CUSTO\_MIN$ 
(27) Ir para próxima linha
(28) ... até que todas as linha sejam percorridas (3)
(29)  $CUSTO\_TOTAL\_TR\_ANO = CUSTO\_TOTAL\_TR * 12$ 

```

Figura 26. Pseudocódigo para cálculo do custo total de transporte

```

(1)  Ir para primeira linha da TABELA DE SAIDA - SOLUCAO INICIAL
(2)  CUSTO_HUB = 0
(3)  Executar seqüência de instruções...
(4)  Atribuir a PAROD o valor da linha ativa, coluna cabeçalho
(5)  Se coluna CAMINHO MINIMO apresentar valor 1
(6)    Contar o número de hubs entre a origem e o destino
(7)  Atribuir a HUB o valor da contagem
(8)  Se HUB > 1
(9)    Ir para primeira linha da TABELA DEMANDA EM TONELADAS
(10)  Executar seqüência de instruções...
(11)    Se valor da posição linha, coluna cabeçalho for igual a PAROD
(12)      Somar todas as colunas da linha
(13)      Atribuir a PESO ANUAL o valor da soma
(14)      PAROD encontrado
(15)    Fim de Se (11)
(16)  ... até que PAROD seja encontrado (10)
(17)  Atribuir a CUSTO_OD o valor (HUB * PESO ANUAL)
(18)  Fim de Se (8)
(19)  Fim de Se (5)
(20)  CUSTO_HUB = CUSTO_HUB + CUSTO_OD
(21)  Ir para próxima linha
(22)  ...até que todas as linha sejam percorridas (3)

```

Figura 27. Pseudocódigo para cálculo do custo total de manuseio

5.3 MELHORIA

A fase de melhoria tem por objetivo otimizar a solução inicial pela implementação de uma heurística baseada em busca tabu. A estrutura utilizada segue a lógica apresentada na revisão bibliográfica e pode ser descrita quanto aos seus principais componentes.

- *Solução inicial* – é a solução gerada pelas fases um e dois. Faz parte da solução inicial:
 - o vetor binário de opções de caminhos em que o número 1 indica que o caminho pertence à solução e o valor 0 indica o contrário;
 - a quantidade e o tipo de veículos por rota;
 - seu custo.
- *Lista tabu* – a lista tabu é formada por todas as soluções visitadas. Seu tamanho é variável e foi determinado por meio de testes de calibração, apresentados no Capítulo 6.
- *Lista de vizinhança* – é formada pelas demandas origem-destino a serem realocadas. O critério de escolha usado para formação da lista é a ocupação média dos veículos de

cada rota. Isso se deve à hipótese de que, retirando carga de uma rota com veículos de baixa ocupação, diminuir-se-á a necessidade de caminhões na rota ou então a rota deixará de ser utilizada. A lista é formada pelos pares origem-destino que enviam carga pela rota com veículos de menor ocupação.

- *Diversificação* – adotou-se um parâmetro que permite aceitar uma solução sem melhoria ao atingir uma determinada quantidade de iterações sem melhoria. Assim como a lista tabu, este parâmetro passou por testes de calibração.
- *Critério de parada* – adotou-se como parâmetro de parada o número de iterações sem melhoria na função objetivo. Este parâmetro também deve passar por testes de calibração.

A heurística inicia com a geração da lista de vizinhança e, para tanto, deve calcular a ocupação média dos caminhões de cada rota da seguinte forma:

$$O_i = \frac{\sum_{j=1}^{365} \sum_{Trechoi=1} Carga_{Trechoi,j}}{K^v \times Q_i^v \times P_i^v \times 12}, \quad (1)$$

A equação (1) calcula para cada rota i a sua ocupação O_i , que é o resultado de uma divisão na qual o numerador é a soma de todo o fluxo de carga por cada trecho da rota a cada um dos 365 dias considerados ($Carga_{Trechoi,j}$) e o denominador é a multiplicação da capacidade K_v do veículo v pelo número total de viagens realizados no período considerado (um ano). Este último é obtido pela multiplicação da quantidade Q_i^v de veículos v percorrendo a rota i pela produtividade P_i^v do veículo v na rota i em ciclos por mês pelo número de meses no ano (12).

Lembrando que a ocupação do caminhão pode ser obtida tanto em peso quanto em volume, deve-se calcular as duas possibilidades e adota-se como ocupação para a rota o maior valor encontrado:

$$O_i = \text{Max}(O_i^{ton}, O_i^{m^3}) \quad (2)$$

Após o cálculo da ocupação de cada rota, escolhe-se aquela de menor ocupação para gerar a lista de vizinhança. Para tanto, percorre-se a solução inicial com o intuito de identificar os pares origem-destino que utilizam algum trecho da rota em questão no transporte de sua carga.

A cada iteração, adota-se um par origem-destino pertencente à lista de vizinhança que terá o seu caminho modificado. Percorre-se, então, todo o espaço-solução em busca do próximo caminho de menor distância que ligue o depósito de origem ao depósito de destino.

Após escolher um novo caminho e colocá-lo no lugar do trajeto anterior, os passos 3 a 6 (determinação do fluxo diário de carga por trecho, determinação da necessidade diária de veículos por trecho, determinação da necessidade de veículos por rota, cálculo do custo da solução inicial) da segunda fase são refeitos com o objetivo de modificar apenas as rotas que foram retiradas ou inseridas no caminho do par origem-destino.

Em seguida, calcula-se o custo total da nova solução e, caso tenha ocorrido uma melhoria na função objetivo: (i) substitui-se a melhor solução pela solução atual, (ii) insere-se a solução atual na lista tabu, (iii) atualizam-se os parâmetros.

Caso não tenha havido melhoria, porém a quantidade de iterações sem melhoria seja igual ao valor do critério de diversificação, se aceita a solução sem registrá-la como a melhor solução e atualizam-se os parâmetros.

No caso de não haver melhoria e de não se atingir o parâmetro de diversificação, insere-se a solução atual na lista tabu e atualizam-se parâmetros.

Passa-se ao próximo item da lista de vizinhança e repete-se o ciclo até que a lista chegue ao fim ou até que o critério de parada seja satisfeito. Caso a lista chegue ao fim antes de atingir o critério, a ocupação é recalculada e uma nova lista de vizinhança é gerada. O pseudocódigo apresentado na Figura 28 implementa a solução descrita neste item.

```

(1)   Calcular OCUPACAO de cada ROTA segundo equações 1 e 2
(2)   Executar seqüência de instruções...
(3)   Atribuir a ROTA_PIVO o nome da rota de menor ocupação
(4)   Percorrer a solução inicial...
(5)   Se PAROD contem ROTA
(6)     Inserir PAROD no vetor LISTA VIZINHANCA
(7)   Fim de Se (5)
(8)   ... até o fim (4)
(9)   Executar seqüência de instruções...
(10)  ACHOU NOVO CAMINHO é Falso
(11)  Ir para primeiro registro do espaço-solução
(12)  Executar seqüência de instruções...
(13)  Se valor PAROD for encontrado
(14)    Atribuir valor 0 para CAMINHO ATUAL
(15)    Procurar caminho de menor distancia diferente de CAMINHO ATUAL e registrá-lo como NOVO CAMINHO
(16)    Atribuir valor 1 para NOVO CAMINHO
(17)    Registrar em TRECHOS os trechos do CAMINHO ATUAL e do NOVO CAMINHO
(18)    ACHOU NOVO CAMINHO é verdade
(19)  Fim de Se (13)
(20)  Ir para próximo registro do espaço-solução
(21)  .... até que ACHOU NOVO CAMINHO seja verdade (12)
(22)  Recalcular passo 3 da fase 2 para TRECHOS
(23)  Recalcular passo 4 da fase 2 para TRECHOS
(24)  Recalcular passo 5 da fase 2 para TRECHOS
(25)  Recalcular passo 6 da fase 2 para SOLUCAO ATUAL
(26)  Atribuir a CUSTO_ATUAL o valor da linha (25)
(27)  Se CUSTO_ATUAL < MENOR_CUSTO
(28)    Substituir MELHOR SOLUCAO por SOLUCAO ATUAL
(29)    Atualizar TABELAS de demanda por trecho e demanda diária de veículo
(30)    Atualizar SOLUCAO ATIVA como SOLUCAO ATUAL
(31)    Incluir SOLUCAO ATUAL na LISTA TABU
(32)    Zerar numero de soluções sem MELHORIA
(33)  Ou Se DIVERSIFICACAO = D
(34)    Atualizar TABELAS de demanda por trecho e demanda diária de veículo
(35)    Atualizar SOLUCAO ATIVA como SOLUCAO ATUAL
(36)    Incluir SOLUCAO ATUAL na LISTA TABU
(37)    Zerar DIVERSIFICACAO
(38)    Incrementar numero de soluções sem MELHORIA
(39)  Ou Se CUSTO_ATUAL > MENOR_CUSTO & DIVERSIFICACAO ≠ D
(40)    Incluir SOLUCAO ATUAL na LISTA TABU
(41)    Incrementar DIVERSIFICACAO
(42)    Incrementar numero de soluções sem MELHORIA
(43)  Fim de Se... Senão (27)
(44)  Ir para próximo PAROD da LISTA VIZINHANCA
(45)  ... até que toda a LISTA VIZINHANCA seja percorrida (9)
(46)  Recalcular OCUPACAO segundo equações 1 e 2
(47)  ... até que o critério de para seja atingido (2)

```

Figura 28. Pseudocódigo de implementação da heurística baseada em busca tabu

5.4 ANÁLISE DE OPORTUNIDADES

Como o algoritmo foi implementado para o pior cenário, é necessário analisar as saídas com o objetivo de adequá-las a uma situação prática. Desse modo, a necessidade de veículos diária por trecho da solução final é estudada detalhadamente para identificar rotas com possibilidades de terceirização.

O algoritmo proposto compara o custo de atender a demanda diária de viagens em diversos cenários para cada rota. O primeiro cenário é a saída da fase dois, em que todos os veículos são próprios. A cada iteração realizada o algoritmo diminui a frota própria em um veículo e a demanda diária de veículos não atendida pela frota própria é atendida por um veículo terceiro. O custo de cada iteração é armazenado e aquele que apresentar menor valor representa a configuração mais adequada para uma determinada rota.

O custo de cada cenário é calculado segundo a equação abaixo:

$$C = CP + CT = NV * (CF + CV * dist * P_{unit}) * 12 + F * Vt \quad (1)$$

$$Vt = \sum_{i=1}^{365} D_i - \frac{NV * P_{unit}}{22} \quad (2)$$

A equação (1) mostra que o custo anual (C) de cada cenário é formado pelo custo da frota própria (CP) acrescido do custo com terceiros (CT). O custo da frota própria é obtido pela multiplicação do número total de veículos (NV) na rota pelo seu custo fixo mensal (CF) mais o custo variável mensal multiplicado por doze meses.

O custo variável mensal é obtido pelo custo variável por quilômetro (CV) multiplicado pela distância de ida e volta da rota ($dist$) multiplicado pelo número de viagens. Este último é o resultado do número total de veículos (NV) pela produtividade do veículo (P_{unit}) na rota em ciclo por mês.

O custo de terceiros (CT) resulta da multiplicação do preço do frete por viagem (F) pelo número de viagens terceirizadas (Vt). Este último, por sua vez, é calculado segundo a equação (2) e é a somatória da demanda diária de viagens não atendidas pela frota própria no ano. A

cada dia verifica-se qual a demanda D_i de viagens e identifica-se quantos veículos próprios estão disponíveis no dia. Este valor é o resultado do número de viagens ($NV * P_{unit}$) dividido por 22 dias úteis.

Os fretes de terceiros utilizado no trabalho foram cotados pela transportadora em Julho de 2008.

A seguir são apresentados os resultados da utilização do modelo em um exemplo e, logo em seguida, são apresentados os resultados do problema aplicado ao caso da transportadora.

6 APLICAÇÃO A UM CASO TESTE

A Figura 29 apresenta o grafo utilizado como problema-teste. Na ilustração, os pontos em preto representam *hubs* e os pontos em brancos são armazéns. A figura também indica as diferenças entre os tipos de rota: os traços pontilhados pertencem às rotas mistas enquanto que traços contínuos representam rotas simples.

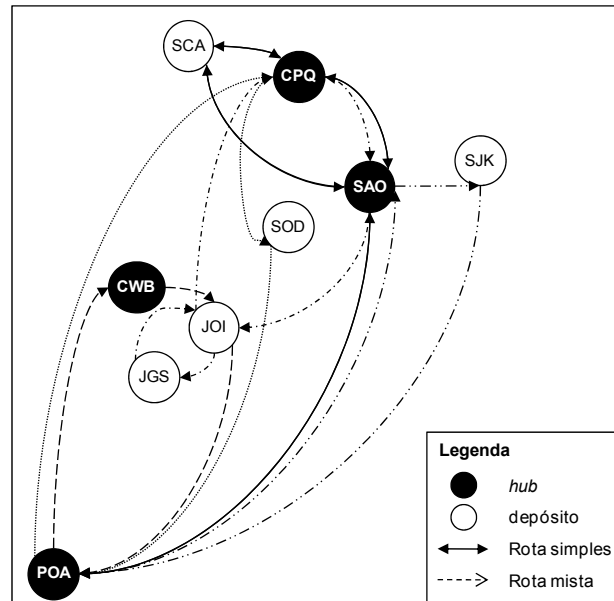


Figura 29. Grafo ilustrativo do problema teste

Este exemplo é uma pequena parte do problema real da transportadora. Foi considerada a demanda diária entre os pares origem-destino para um período de 30 dias. Os dados de entrada utilizados podem ser vistos no Anexo A.

Os resultados obtidos para o problema-teste são apresentados a seguir e, na sequência, discute-se a robustez do modelo.

6.1 RESULTADOS

O espaço-solução gerado possui um total de 326 caminhos diferentes, dos quais 65⁶ fazem parte da solução inicial.

⁶ Em teoria deveriam ser 72 caminhos, porém não existe demanda de todas as origens para todos os destinos

6.1.1 Fases um e dois

A solução inicial obteve como resultado um custo de R\$ 2,3 milhões ao mês e 78 veículos de tração no total, distribuídos segundo a tabela abaixo (ver Tabela 20). A ocupação média obtida para as carretas foi de 64%.

Tabela 20. Resultados do modelo aplicado ao exemplo – solução inicial

Rota	Veículo indicado	Quantidade – veículos de tração	Quantidade de carretas
Rota 1	cavalo-carreta	1	1
Rota 2	-	-	
Rota 3	cavalo-carreta	18	22
Rota 4	cavalo-carreta	19	19
Rota 5	cavalo-carreta	19	27
Rota 6	cavalo-carreta	10	22
Rota 7	cavalo-carreta	9	9
Rota 8	cavalo-carreta	2	2

A partir dessa solução foi aplicada a meta-heurística de busca tabu.

6.1.2 Fase três: melhoria

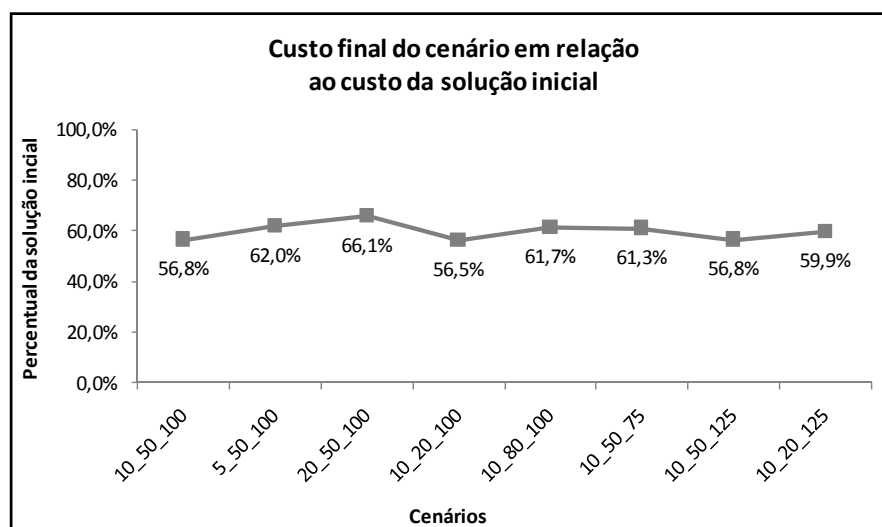
Foi necessário realizar uma etapa de calibração dos parâmetros da meta-heurística de busca tabu a fim de utilizar os valores mais adequados para o tamanho da lista tabu (T), diversificação (Div) e critério de parada (CP).

Foram testados oito cenários para verificar o comportamento de cada um dos parâmetros. O primeiro cenário foi considerado como a base de comparação, os outros seis cenários foram construídos variando cada um dos parâmetros para cima ou para baixo do valor adotado como base e o último cenário combinou todos os parâmetros que tiveram melhor desempenho. Os cenários testados e os valores dos custos finais de cada caso são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21. Cenários para calibração dos parâmetros da meta-heurística de busca tabu

Cenário	Valor <i>T</i>	Valor <i>Div</i>	Valor <i>CP</i>	Custo Final (\$ MM)
Base	10	50	100	\$1,3
<i>T</i> baixo	5	50	100	\$1,4
<i>T</i> alto	20	50	100	\$1,5
<i>Div</i> baixo	10	20	100	\$1,3
<i>Div</i> alto	10	80	100	\$1,4
<i>CP</i> baixo	10	50	75	\$1,4
<i>CP</i> alto	10	50	125	\$1,3
Melhor desempenho	20	20	125	\$1,4

A melhoria de cada caso em relação à solução inicial está indicada no gráfico abaixo.

**Gráfico 1. Custo final de cada cenário em relação ao custo da solução inicial**

O menor custo final obtido representou 56,5% do custo da solução inicial e este valor foi obtido pelo cenário *Div* baixo (*T* 10, *Div* 20 e *CP* 100). Apesar do cenário base e do *CP* alto terem resultados próximo ao mínimo obtido, optou-se pelo cenário *Div* baixo, pois ele permite explorar um espaço mais diversificado, mantendo o nível de intensificação do cenário base.

O cenário escolhido foi utilizado para dar prosseguimento à fase quatro, e também nas análises de sensibilidade apresentadas a seguir e no problema aplicado ao caso real. Os quadros (Tabela 22 e Tabela 23) abaixo resumem os resultados obtidos com este cenário.

Tabela 22. Resultados gerais da meta-heurística de busca-tabu aplicada ao exemplo

	Resultado
Custo mensal final	\$ 1.277.714,50
Melhoria em relação à solução inicial	56%
Número total de veículos de tração	48
Ocupação média dos veículos	93%

Tabela 23. Resultados da meta-heurística de busca-tabu aplicada ao exemplo: veículos por rota

Rota	Veículo indicado	Quantidade – veículos de tração	Quantidade de carretas
Rota 1	<i>truck</i>	1	-
Rota 2	<i>truck</i>	1	-
Rota 3	cavalo-carreta	9	15
Rota 4	cavalo-carreta	13	16
Rota 5	cavalo-carreta	10	17
Rota 6	cavalo-carreta	2	6
Rota 7	cavalo-carreta	9	9
Rota 8	cavalo-carreta	3	3

6.1.3 Fase quatro: análise de oportunidades

A partir das quantidades e dos tipos de veículos determinados na fase anterior, avaliou-se a possibilidade de terceirizar parcialmente ou totalmente as rotas estudadas.

O resultado obtido indica que três rotas devem ser totalmente terceirizadas e todas as outras devem ser parcialmente terceirizadas. O custo da operação (Tabela 25) passou a ser de \$ 512 mil e a configuração das rotas é mostrada na tabela abaixo (Tabela 24).

A análise dos resultados mostra que grande parte das operações foi terceirizada, isso é consequência de:

1. Os fretes de terceiros serem baixos, pois a transportadora, que já terceiriza grande parte de suas operações, é líder do mercado, portanto possui alto poder de barganha (lembrando que o problema-teste foi retirado do caso real).

2. A demanda diária de veículos varia muito ao longo do mês e ao longo do ano. A terceirização permite transferir o risco de ociosidade ao terceiro.

Tabela 24. Configuração das rotas do problema-teste após fase quatro

Rota	Recomendação	Veículo indicado	# de veículos de tração próprios	# de carretas próprias
Rota 1	Terceirizar Totalmente	<i>truck</i>	-	-
Rota 2	Terceirizar Totalmente	<i>truck</i>	-	-
Rota 3	Terceirizar Parcialmente	cavalo-carreta	1	2
Rota 4	Terceirizar Parcialmente	cavalo-carreta	1	1
Rota 5	Terceirizar Parcialmente	cavalo-carreta	1	2
Rota 6	Terceirizar Parcialmente	cavalo-carreta	1	3
Rota 7	Terceirizar Parcialmente	cavalo-carreta	1	1
Rota 8	Terceirizar Totalmente	cavalo-carreta	-	-

Tabela 25. Custo das rotas do problema-teste após a fase quatro

Rota	Custo frota própria	Frete pago a terceiros	Custo total
Rota 1		\$ 8.400,00	\$ 8.400,00
Rota 2		\$ 14.280,00	\$ 14.280,00
Rota 3	\$ 16.467,10	\$ 4.230,00	\$ 20.697,10
Rota 4	\$ 29.885,91	\$ 107.654,40	\$ 137.540,31
Rota 5	\$ 36.101,05	\$ 52.237,80	\$ 88.338,85
Rota 6	\$ 50.860,15	\$ 126.709,20	\$ 177.569,35
Rota 7	\$ 25.469,28	\$ 29.836,80	\$ 55.306,08
Rota 8		\$ 10.828,80	\$ 10.828,80
TOTAL	\$ 158.783,50	\$ 354.177,00	\$ 512.960,50

6.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A sensibilidade do modelo empregado foi avaliada para cinco das suas variáveis e analisou-se o impacto de mudanças no valor dessas variáveis no custo da solução final e no tamanho da frota da transportadora.

Foram analisadas a sensibilidade aos seguintes parâmetros: demanda, nível de atendimento, custo fixo, custo variável e preço do frete de terceiros.

6.2.1 Demanda

Variou-se a demanda entre os pares origem-destino em -20%, -10%, +10% e +20% em relação ao caso inicial. Verificou-se que o impacto no custo é alto, contudo não há impacto no número de veículos próprios, o que indica que toda a demanda extra é transferida para terceiros (Gráfico 2). Além disso, o transporte de transferência possui a característica de realizar transporte de carga com capacidade ociosa do caminhão, devido à frequência diária de saída dos veículos.

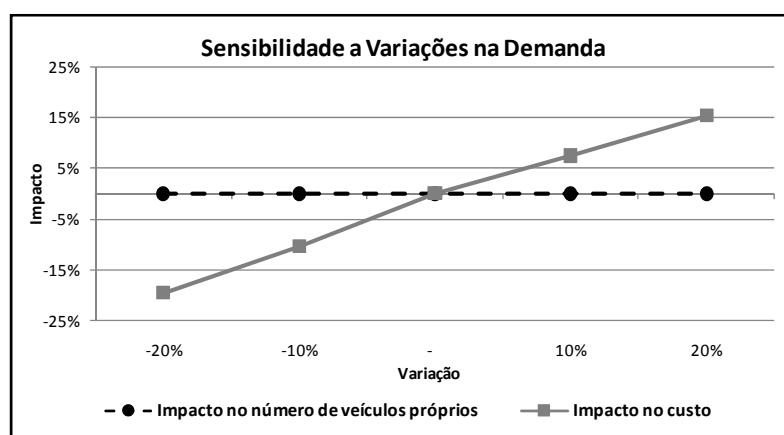


Gráfico 2. Análise de sensibilidade do modelo a variações na demanda

6.2.2 Nível de Atendimento

O nível de atendimento utilizado no exemplo segue o padrão real utilizado pela transportadora, 90% para rotas locais e 95% para rotas entre hubs. Portanto, observou-se a resposta do modelo a uma variação de -10%, -5%, +5% e todos os depósitos em 100% de nível de atendimento.

O Gráfico 3 mostra que o modelo é pouco sensível a mudanças no nível de atendimento, portanto não há necessidade de uma revisão imediata do modelo de frota caso a transportadora decida modificar seu nível de atendimento.

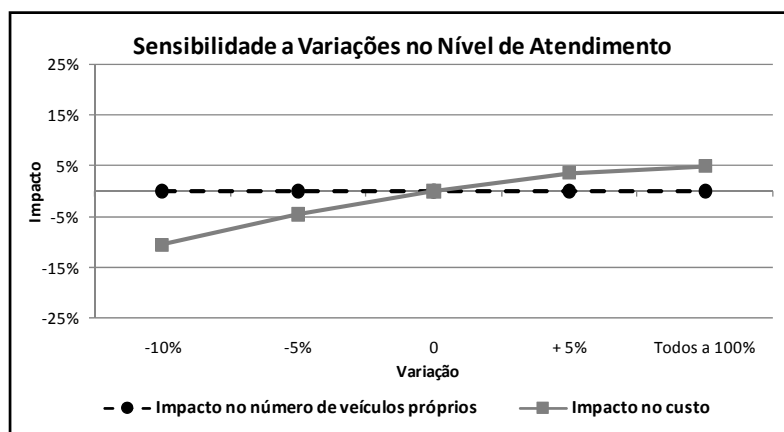


Gráfico 3. Análise de sensibilidade do modelo a variações no nível de atendimento

6.2.3 Custo Fixo

O custo fixo dos veículos sofreu variações de -20%, -10%, +10% e +20% em relação ao caso inicial. Verificou-se que o modelo é sensível a variações no custo fixo (Gráfico 4). O custo da operação segue as variações do custo fixo e pode-se perceber que o número de veículos modifica-se quando há mudanças significativas no custo fixo. Logo, sempre que houver mudanças nos custos, o modelo deve ser revisto.

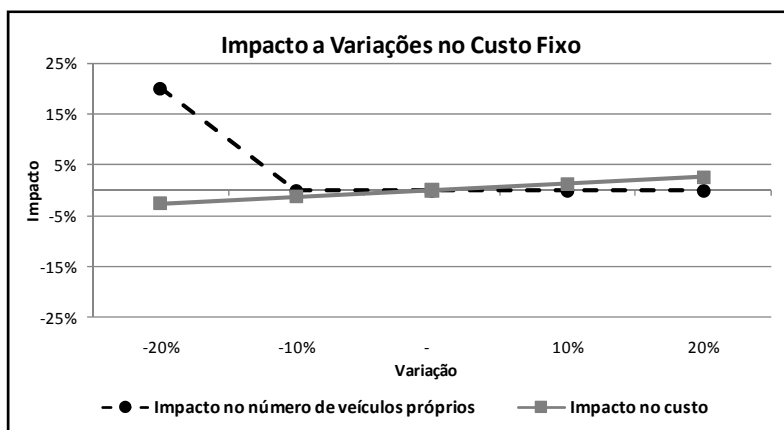


Gráfico 4. Análise de sensibilidade do modelo a variações no custo fixo

6.2.4 Custo Variável

Os custos variáveis dos veículos sofreram variações de -20%, -10%, +10% e +20% em relação ao caso inicial. Verificou-se que o modelo se comporta de modo análogo ao caso de modificações no custo fixo, porém com a diferença na intensidade do impacto (Gráfico 5). Portanto, o dimensionamento da frota deve ser revisto pela transportadora sempre que houver variações significativas no custo variável, para adequar sua frota à nova realidade.

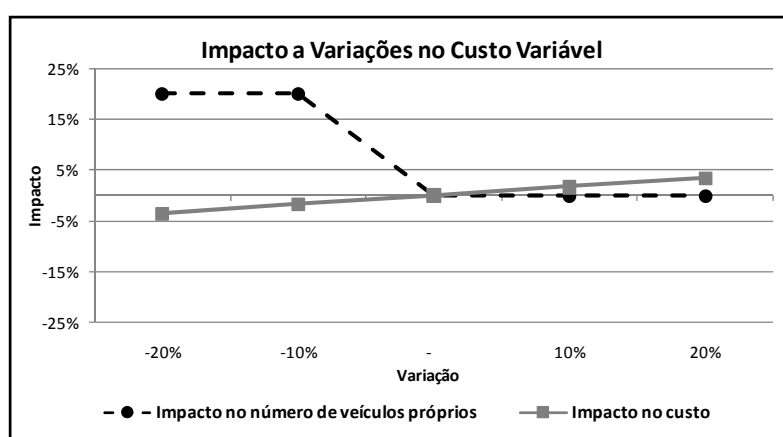


Gráfico 5. Análise de sensibilidade do modelo a variações no custo variável

6.2.5 Preço do frete

O preço do frete também sofreu variações entre -20% e + 20% em relação ao caso inicial (Gráfico 6). Verificou-se que o modelo é muito sensível a variações neste parâmetro, com o custo sofrendo variações quase que diretamente proporcionais às variações do frete. Isso indica que o dimensionamento deve ser revisto sempre que houver variações no frete dos terceiros.

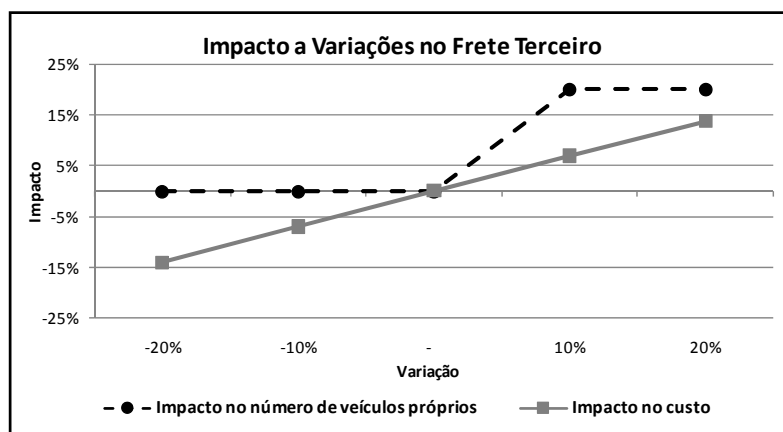


Gráfico 6. Análise de sensibilidade do modelo a variações no frete

6.2.6 Considerações finais

O modelo mostrou-se muito sensível a variações no preço do frete carreteiro, o que indica que a maior parte do transporte está sendo feita por veículos terceiros. Isso se deve ao fato da transportadora diminuir seus custos fixos com a terceirização e também por possuir alto poder de barganha, podendo negociar fretes baixos com os terceiros.

Adicionalmente, segundo Caplice e Sheffi (2003) *apud* Maluta (2006) o transporte de carga possui economia de escopo, pois uma transportadora que tem grande fluxo de caminhões em um sentido pode oferecer um frete mais barato no sentido contrário para aproveitar a volta vazia.

Finalmente, é importante ressaltar que o alto impacto não gradual no número de veículos próprios é decorrência do baixo número de rotas analisadas neste exemplo.

7 RESULTADOS

Os resultados do modelo aplicado ao caso real da transportadora são mostrados abaixo. Os dados de entrada utilizados podem ser vistos no Anexo B, lembrando que os valores de custo utilizados estão multiplicados por um fator de confidencialidade.

7.1 FASES UM E DOIS

O espaço-solução gerado para este problema resultou em cerca de 1,4 milhão de caminhos conectando cerca de 6.800 pares origem-destino. A composição do espaço-solução pode ser vista na Tabela 26.

Tabela 26. Tipos de caminhos pertencentes ao espaço-solução

Caminho	Quantidade	Percentual do espaço-solução
Caminho direto	266	0,02%
Caminho direto com rota mista	769	0,06%
Caminho por 1 <i>hub</i>	5.228	0,38%
Caminho por 1 <i>hub</i> com rota mista	11.320	0,82%
Caminho por 2 <i>hubs</i>	55.346	4,01%
Caminho por 2 <i>hubs</i> com rota mista	98.614	7,14%
Caminho por 3 <i>hubs</i>	457.074	33,08%
Caminho por 3 <i>hubs</i> com rota mista	753.224	54,51%

A solução inicial foi formada a partir do espaço solução e contém todos os caminhos mais curtos de cada par origem-destino. O valor da solução inicial ficou em R\$ 483 milhões, com a composição de frota indicada na Tabela 27.

Tabela 27. Dimensionamento da frota com base na solução inicial

Veículo	Quantidade
Cavalo	1.461
Carreta	2.302
<i>Truck</i>	17
Toco	13

Por fim, o dimensionamento inicial indicou o tipo de veículo mais indicado para cada rota ou então não indicou nenhum veículo, o que significa que a rota não foi utilizada (vide Tabela 28).

Tabela 28. Veículo indicado para cada rota com base na solução inicial

Veículo	Quantidade de rotas
Cavalo-carreta	169
<i>Truck</i>	7
Toco	11
Rotas desativadas	18

7.2 FASE TRÊS

A heurística implementada melhorou a solução inicial em 32% e seu custo ficou em R\$ 328 milhões de reais. Deste valor, R\$ 4,1 milhões representam os gastos com transbordo de carga e R\$ 323,1 milhões são os gastos com transporte.

A configuração dos veículos e a quantidade de rotas com cada tipo de veículo são mostradas nas tabelas abaixo (Tabela 29 e Tabela 30).

Tabela 29. Dimensionamento da frota com base na otimização heurística

Veículo	Quantidade
Cavalo	1.024
Carreta	1.626
<i>Truck</i>	21
Toco	23

Tabela 30. Veículo indicado para cada rota com base na otimização heurística

Veículo	Quantidade de rotas
Cavalo-carreta	166
<i>Truck</i>	7
Toco	12
Rotas desativadas	20

A seguir é apresentada a fase quatro, que analisa a oportunidade de terceirização. Nessa fase modifica-se apenas a quantidade de veículos próprios; o custo de transbordo e o tipo de veículo mais indicado para cada rota são mantidos.

7.3 FASE QUATRO

O dimensionamento final apresentou uma melhoria de 76% em relação à solução inicial, chegando a um custo anual de R\$ 116 milhões, dos quais R\$ 4,1 milhões são custos de transbordo e R\$ 111,9 milhões são custos de transporte.

Quando comparado à situação original da transportadora, verifica-se que houve uma redução de 2,3% no gasto total com rotas de transferência, o que significa uma redução total de R\$ 2,8 milhões anuais. A Tabela 31 mostra como as categorias de custo foram modificadas.

Tabela 31. Modificação das categorias de custo após fase quatro

Categoria de Custo	Valores da transportadora	Valores propostos pelo modelo	Variação
Custo de transbordo	R\$ 3.845.991,87	R\$ 4.130.086,79	7,4%
Custo de transporte	R\$ 115.125.907,83	R\$ 112.044.970,04	-2,7%
Frota própria	R\$ 51.568.077,08	R\$ 45.686.998,58	-11,4%
<i>Custos Fixos</i>	<i>R\$ 17.464.454,56</i>	<i>R\$ 15.114.101,40</i>	<i>-13,5%</i>
<i>Custos Variáveis</i>	<i>R\$ 34.103.622,51</i>	<i>R\$ 30.572.897,17</i>	<i>-10,4%</i>
Frota terceirizada	R\$ 63.557.830,75	R\$ 66.357.971,47	4,4%
TOTAL	R\$ 118.971.899,70	R\$ 116.175.056,83	2,3%

Ainda, pode-se verificar que 51% das rotas mantidas ativas adotaram o sistema misto, 34% foram totalmente terceirizadas e 16% foram mantidas próprias (Tabela 32).

Tabela 32. Sistemas de rota adotados

Sistema adotado	Quantidade de rotas	Percentual
Rotas totalmente próprias	29	16 %
Rotas totalmente terceirizadas	62	34 %
Rotas parcialmente terceirizadas	94	51 %
<i>TOTAL</i>	<i>185</i>	<i>100 %</i>

E o tamanho da frota própria ficou em 126 veículos de tração, segmentados segundo a tabela abaixo. Este valor é 16% menor que a frota atual da transportadora. Houve também um aumento de 7% no número de carretas utilizadas (ver Tabela 33).

Tabela 33. Composição da frota própria

Veículo	Quantidade de veículos da transportadora	Quantidade de veículos próprios segundo modelo	Variação
<i>Veículos de tração</i>	<i>150</i>	<i>126</i>	<i>16,0 %</i>
Cavalo	129	121	6,2 %
Truck	14	3	78,6 %
Toco	7	2	71,4 %
<i>Carreta</i>	<i>201</i>	<i>216</i>	<i>-7,46 %</i>

O resultado completo pode ser visto no Anexo B.

7.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade aplicada ao caso real foi feita somente para as variáveis de custo fixo, custo variável e frete do terceiro. Isso se deve ao fato de que modificações na demanda e no nível de atendimento exigem que todo o programa seja executado novamente, o que implica em longas horas de execução.

Os resultados da análise são apresentados abaixo.

7.4.1 Custo Fixo

Os custos fixos sofreram variações entre -20% e + 20% e os resultados obtidos no problema-teste foram confirmados. O custo da operação seguiu as variações do custo fixo e houve um impacto mais significativo quanto ao tamanho da frota própria, pois o problema real conta com muito mais rotas que o problema-teste.

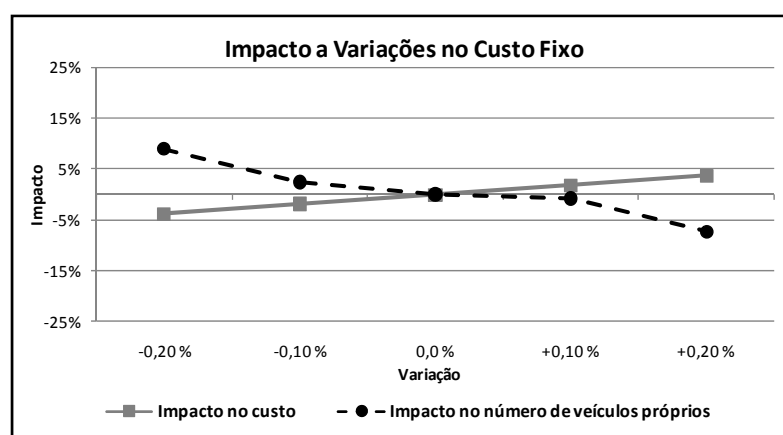


Gráfico 7. Análise de sensibilidade do modelo a variações no custo fixo, aplicada ao problema real

Conclui-se que o modelo é sensível a variações no custo fixo e, sempre que houver mudanças significativas nos custos, o modelo deve ser revisto.

7.4.2 Custo Variável

Os custos variáveis dos veículos sofreram variações de -20%, -10%, +10% e +20% em relação ao caso inicial. De modo análogo ao caso anterior, confirmaram-se os resultados da análise de sensibilidade do problema-teste. O modelo mostrou-se mais sensível a variações no custo variável que a variações no custo fixo. Logo, variações neste custo provocaram impactos importantes no número de veículos próprios e no custo da operação, indicando que o dimensionamento da frota deve ser revisto pela transportadora sempre que houver variações significativas no custo variável, para adequar sua frota à nova realidade.

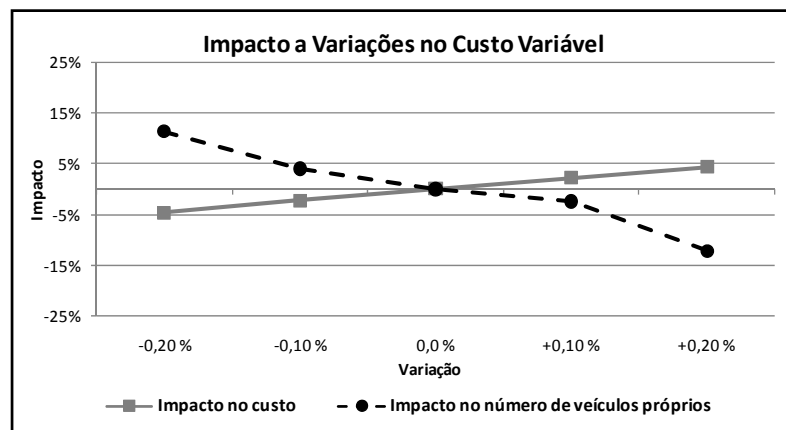


Gráfico 8. Análise de sensibilidade do modelo a variações no custo variável, aplicada ao problema real

7.4.3 Frete

O preço do frete também sofreu variações entre -20% e + 20% em relação ao caso inicial e, assim como nos dois casos anteriores, as conclusões da análise de sensibilidade aplicada ao problema-teste se repetiram.

Verificou-se que o modelo é muito sensível a variações no preço do frete cobrado por terceiros. Logo, o dimensionamento deve ser revisto quando houver modificações neste parâmetro.

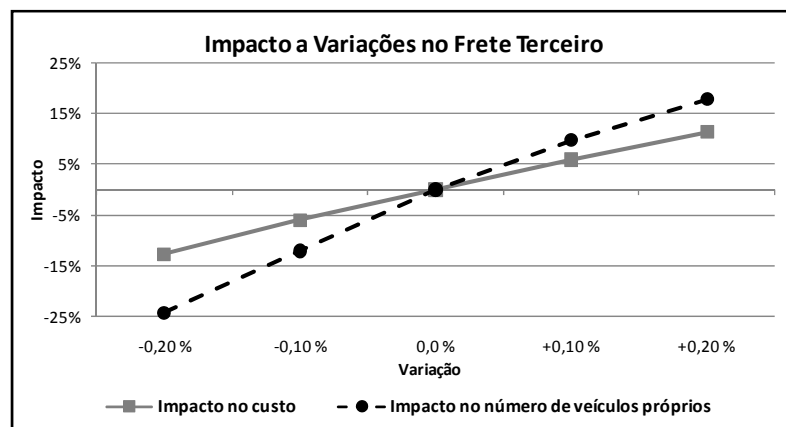


Gráfico 9. Análise de sensibilidade do modelo a variações no frete, aplicada ao problema real

8 CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões da aplicação do modelo de dimensionamento de frota ao caso da transportadora e também são indicados pontos passíveis de melhorias.

8.1 CONTRIBUIÇÕES

O modelo de dimensionamento de frota empregado neste trabalho mostrou que a transportadora estudada pode melhorar suas atividades por meio da adequação de sua frota. A abordagem proposta fez três principais modificações que culminaram em um custo operacional mais baixo para a área de transporte de carga de transferência.

A primeira delas foi uma melhor utilização das rotas, tendo em vista que das duzentas e cinco rotas atualmente utilizadas pela transportadora, vinte deixaram de ser utilizadas. Isso provocou um aumento do custo de transbordo, que passou de R\$ 3,8 milhões para R\$ 4,1 milhões, porém o ganho de R\$ 3 milhões pela redução da frota necessária superou essa perda.

A segunda modificação foi um aumento no número relativo de carretas por cavalo, que passou de 1,56 carretas por cavalo para 1,78, o que significa um melhor aproveitamento dos cavalos. Lembrando que o preço de um cavalo é quase cinco maior que o de uma carreta.

Como terceiro ponto, houve um pequeno aumento da terceirização das rotas, que passou de 55% para 59% do gasto total com transporte de transferência. É importante dizer que o modelo é muito sensível ao preço do frete e que variações neste item de custo implicam em uma revisão do dimensionamento da frota.

Além disso, a decisão de terceirização deve ser analisada não só quantitativamente, mas também qualitativamente. Para a transportadora, pode ser um risco depender muito do transporte de terceiros, tendo em vista que sua atividade *core* é o transporte. Contudo, a terceirização mostra-se muito interessante para a empresa, pois diminui grande parte de seus custos fixos, principalmente ligados aos gastos com pessoal.

Adicionalmente, outra contribuição do trabalho foi a adequação dos veículos ao tipo de operação (transferência). A quantidade de cavalos utilizados passou de 86% do total da frota própria para 96%, reduzindo a quantidade relativa de tocos e *trucks*.

Quanto às contribuições acadêmicas, este trabalho trouxe um novo enfoque ao uso de algoritmos de roteirização. Grande parte dos trabalhos analisados não apresentam os resultados obtidos sob o ponto de vista de modelos e quantidade de veículos, restringindo-se somente aos roteiros utilizados e aos custos da operação. No entanto, este trabalho mostra que os algoritmos de roteirização também contribuem para o correto dimensionamento de frotas.

Finalmente, a abordagem heurística implementada mostrou resultados satisfatórios, confirmando estudos que indicam a busca-tabu como um bom método a ser empregado em casos práticos de roteirização.

8.2 PRÓXIMOS PASSOS

Durante a realização do trabalho foram identificados pontos de melhoria e também propostas de estudos complementares a este que podem ser de grande valor para a transportadora.

O modelo, desenvolvido em linguagem *VBA* mostrou-se muito lento quando aplicado ao problema real, implicando em longas horas de execução. A sua implementação em uma linguagem de maior eficácia, como C, C++ ou Java, trará uma grande melhoria ao trabalho.

Em decorrência das longas horas de execução, não foi possível realizar a análise de sensibilidade do modelo aplicado ao caso real a variações na demanda e no nível de atendimento, o que traria novas informações sobre o comportamento do modelo.

Adicionalmente, novos estudos poderiam ser desenvolvidos, tais como:

- O dimensionamento de frota para as operações de coleta e entrega;
- A inclusão de novas rotas ao modelo implementado, além das atualmente utilizadas pela transportadora;

- Analisar a possibilidade de diminuir os custos de transporte pelo uso de estradas em melhor conservação e pela diminuição dos custos de pedágios, a qual pode ser atingida pela utilização de veículos e carretas com menor quantidade de eixos.

BIBLIOGRAFIA

ALVARENGA, A. C.; NOVAES, A. G. N. **Logística Aplicada: Suprimentos e Distribuição Física**. 3ª edição, São Paulo, Editora Edgar Blüncher Ltda., 2000

ARAUJO, C. E. G. **Algoritmos genéticos híbridos sem delimitadores de rotas para problemas de roteirização de veículos**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, Dissertação (Mestrado), 2008

BODIN, L. D.; GOLDEN, B. L.; ASSAD, A. A.; BALL, M. O. Routing and scheduling of vehicle and crews: the state of the art. **Computer & Operations Research**, 1983, v. 10, n. 2, p. 63 – 211

BONASSER, U. O. **Meta-heurísticas híbridas para solução do problema de roteirização de veículos com múltiplos depósitos e frota heterogênea fixa: aplicação na Forças Aérea Brasileira**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, Tese (Doutorado), 2005

CLARKE, G.; WRIGHT, J. R. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. **Operations Research**, 1964, v. 12, p. 568 – 581

CUNHA, C. B. **Algoritmos para roteamento e programação de veículos no contexto da distribuição física**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, Dissertação (Mestrado), 1991

_____. **Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, Tese (Doutorado), 1997

_____. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. **Transportes**, v. 8, n. 2, p. 51 – 74, 2000

Gazeta Mercantil. **O risco de apagão ameaça a atividade**. Rio de Janeiro, 12 de Agosto de 2008

GLOVER, F.; LAGUNA, M. **Tabu Search**. 1^a edição, Colorado, Kluwer Academic Publishers, 1997

GLOVER, F.; KOCHENBERGER, G. A. **Handbook of meta-heuristics** – International series in operations research & management science, 1^a edição, Colorado, Kluwer Academic Publishers, 2003

GUALDA, N. D. F. **Terminais de transportes: contribuição ao planejamento e ao dimensionamento operacional**. São Paulo, Tese (Livre Docência), 1995

LIMA, R. F. C. **Práticas de gestão do transporte rodoviário de cargas na empresas**. Rio de Janeiro, 2008

MALUTA, L. **Proposta de um modelo de frota mista para uma empresa do ramo alimentício**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Produção. São Paulo, Trabalho de Formatura, 2006

MOURAD, F. **O problema de roteirização de veículos com carga completa e janelas de tempo**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, Dissertação (Mestrado), 2005

NTC – Associação Nacional de Transporte de Cargas: <http://www.ntc.org.br/>

O Estado de São Paulo. **Sobra encomenda, falta transporte**. São Paulo, 20 de Julho de 2008

O Estado de São Paulo. **Excesso de demanda eleva o preço do frete**. São Paulo, 20 de Julho de 2008

TEIXEIRA, Roberto G. **Heurísticas para o Problema de Dimensionamento e Roteirização de uma Frota Heterogênea Utilizando o Algoritmo Out-of-Kilter**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, Dissertação (Mestrado), 2001

STRINGHER, F. G. **Designação de Rotas para Frota Dedicada em uma Rede de Distribuição de Linha Branca**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, Dissertação (Mestrado), 2004

ZNAMENSKY, A. **Um modelo para a roteirização e programação do transporte de deficientes**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, Dissertação (Mestrado), 2000

ANEXO A

Nas páginas seguintes são apresentadas as tabelas com os dados utilizados no problema-teste.

Tabela A.1. Informações sobre as rotas do problema-teste

ID	Rota	Trecho	Origem	Destino	Distância [km]	Tipo	Destino Hub?	No de trechos	Posição relativa do próximo trecho	Nível de Atendimento
ROTA_1a	1	a	SCA	CPQ	140	simples	1	2	1	90%
ROTA_1f	1	f	CPQ	SCA	140	simples	0	2	-1	90%
ROTA_2a	2	a	SCA	SAO	238	simples	1	2	1	90%
ROTA_2f	2	f	SAO	SCA	238	simples	0	2	-1	90%
ROTA_3a	3	a	SAO	JOI	526	mista	0	5	1	90%
ROTA_3b	3	b	JOI	JGS	49	mista	0	5	1	90%
ROTA_3f	3	f	JGS	JOI	49	mista	0	5	1	90%
ROTA_3g	3	g	JOI	CPQ	600	mista	1	5	1	90%
ROTA_3h	3	h	CPQ	SAO	94	mista	1	5	-4	90%
ROTA_4a	4	a	POA	CWB	758	mista	1	3	1	95%
ROTA_4f	4	f	CWB	JOI	116	mista	0	3	1	95%
ROTA_4g	4	g	JOI	POA	633	mista	1	3	-2	95%
ROTA_5a	5	a	POA	CPQ	1228	mista	1	3	1	90%
ROTA_5f	5	f	CPQ	SOD	89	mista	0	3	1	90%
ROTA_5g	5	g	SOD	POA	1111	mista	1	3	-2	90%
ROTA_6a	6	a	POA	SAO	1154	simples	1	2	1	95%
ROTA_6f	6	f	SAO	POA	1154	simples	1	2	-1	95%
ROTA_7a	7	a	POA	SAO	1154	mista	1	3	1	90%
ROTA_7b	7	b	SAO	SJK	105	mista	0	3	1	90%
ROTA_7f	7	f	SJK	POA	1259	mista	1	3	-2	90%
ROTA_8a	8	a	SAO	CPQ	94	simples	1	2	1	95%
ROTA_8f	8	f	CPQ	SAO	94	simples	1	2	-1	95%

Tabela A.2. Informações sobre tempos das rotas do problema-teste

ID	Distância [Km]	Velocidade [Km/h]	Tempo de Trânsito	T. Carreg. Origem Toco ⁷	T. Desc. Destino Toco	T. Carreg. Origem <i>Truck</i>	T. Desc. Destino <i>Truck</i>	T. Carreg. Origem Carreta	T. Desc. Destino Carreta	Horário de saída
ROTA_1a	140	70	2,00	1,81	1,39	2,17	1,67	4,33	3,33	21 h
ROTA_1f	140	70	2,00	1,46	1,13	1,76	1,35	3,51	2,70	10 h
ROTA_2a	238	70	3,40	2,70	2,08	3,24	2,49	6,48	4,98	21 h
ROTA_2f	238	70	3,40	1,46	1,13	1,76	1,35	3,51	2,70	8 h
ROTA_3a	526	60	8,77	1,46	1,13	1,76	1,35	3,51	2,70	23 h
ROTA_3b	49	60	0,82	1,46	1,13	1,76	1,35	3,51	2,70	5 h
ROTA_3f	49	60	0,82	1,46	1,13	1,76	1,35	3,51	2,70	10 h
ROTA_3g	600	60	10,00	1,81	1,39	2,17	1,67	4,33	3,33	3 h
ROTA_3h	94	60	1,57	2,70	2,08	3,24	2,49	6,48	4,98	10 h
ROTA_4a	758	60	12,63	1,81	1,40	2,18	1,68	4,36	3,35	23 h
ROTA_4f	116	60	1,93	1,46	1,13	1,76	1,35	3,51	2,70	9 h
ROTA_4g	633	60	10,55	2,50	1,92	3,00	2,31	6,00	4,62	3 h
ROTA_5a	1228	60	20,47	1,81	1,39	2,17	1,67	4,33	3,33	20 h
ROTA_5f	89	60	1,48	1,46	1,13	1,76	1,35	3,51	2,70	2 h
ROTA_5g	1111	60	18,52	2,50	1,92	3,00	2,31	6,00	4,62	23 h
ROTA_6a	1154	60	19,23	2,70	2,08	3,24	2,49	6,48	4,98	19 h
ROTA_6f	1154	60	19,23	2,50	1,92	3,00	2,31	6,00	4,62	19 h
ROTA_7a	1154	60	19,23	2,70	2,08	3,24	2,49	6,48	4,98	23 h
ROTA_7b	105	60	1,75	2,06	1,58	2,47	1,90	4,94	3,80	5 h
ROTA_7f	1259	60	20,98	2,50	1,92	3,00	2,31	6,00	4,62	4 h
ROTA_8a	94	80	1,18	1,81	1,39	2,17	1,67	4,33	3,33	22 h
ROTA_8f	94	80	1,18	2,70	2,08	3,24	2,49	6,48	4,98	10 h

⁷ Tempos de ciclo em unidade decimal

Tabela A.3. Informações sobre custos das rotas do problema-teste

Rota	Custo Fixo 1 toco / mês	Custo variável Toco [R\$/km]	Custo Fixo 1 <i>truck</i> / mês	Custo variável <i>Truck</i> [R\$/km]	Custo Fixo 1 carreta / mês	Custo variável Carreta [R\$/km]	Custo Fixo 1 cavalo / mês	Custo variável Cavalo [R\$/km]
1	R\$ 8.489,57	R\$ 0,81	R\$ 8.794,87	R\$ 0,96	R\$ 704,63	R\$ 0,13	R\$ 10.146,69	R\$ 1,08
2	R\$ 4.877,88	R\$ 0,81	R\$ 5.183,18	R\$ 0,96	R\$ 704,63	R\$ 0,13	R\$ 6.535,00	R\$ 1,08
3	R\$ 4.877,88	R\$ 0,81	R\$ 5.183,18	R\$ 0,96	R\$ 704,63	R\$ 0,13	R\$ 6.535,00	R\$ 1,08
4	R\$ 14.722,95	R\$ 0,81	R\$ 15.028,25	R\$ 0,96	R\$ 704,63	R\$ 0,13	R\$ 16.380,07	R\$ 1,08
5	R\$ 11.441,26	R\$ 0,81	R\$ 11.746,56	R\$ 0,96	R\$ 704,63	R\$ 0,13	R\$ 13.098,38	R\$ 1,08
6	R\$ 15.052,95	R\$ 0,81	R\$ 15.358,25	R\$ 0,96	R\$ 704,63	R\$ 0,13	R\$ 16.710,07	R\$ 1,08
7	R\$ 7.829,57	R\$ 0,81	R\$ 8.134,87	R\$ 0,96	R\$ 704,63	R\$ 0,13	R\$ 9.486,69	R\$ 1,08
8	R\$ 7.829,57	R\$ 0,81	R\$ 8.134,87	R\$ 0,96	R\$ 704,63	R\$ 0,13	R\$ 9.486,69	R\$ 1,08

Tabela A.4. Informações sobre preço de frete utilizado no problema-teste

Veículo	Frete terceiro [R\$/km]
Toco	R\$ 1,20
<i>Truck</i>	R\$ 1,50
Cavalo-carreta	R\$ 1,80

ANEXO B

Nas páginas seguintes são apresentadas as tabelas com os dados utilizados de entrada utilizados no problema real, assim como os principais resultados.

Tabela B.1. Informação de peso e volume expedidos por cada depósito em 2007

Origem	Peso total expedido em 2007 [ton]	Volume total expedido em 2007 [m³]
AJX	2.598,64	29.827,25
BAU	12.524,88	68.209,26
BGX	434,14	1.900,46
BHZ	28.384,69	146.909,42
BIR	3.304,70	30.084,66
BNU	5.794,16	29.605,29
BSB	6.560,97	35.522,97
CAC	1.947,38	9.506,87
CAD	543,86	2.616,52
CGO	2.929,21	11.973,05
CIT	1.576,90	11.425,82
COL	902,41	4.204,74
CPQ	57.084,36	291.894,63
CRI	4.565,34	24.737,92
CWB	39.900,27	205.759,16
CXJ	46.565,66	277.668,79
DIV	2.997,83	30.985,94
ERM	2.249,61	11.311,61
FBE	1.028,82	4.825,12
FLN	2.340,66	12.712,46
FOR	5.870,56	72.946,03
FRC	5.378,03	61.010,08
FSA	4.310,36	38.373,48
GPB	1.622,62	8.311,75
GVR	1.428,57	7.524,43
IGU	569,42	2.719,25
IJU	2.086,54	10.142,94
IPN	926,15	5.141,97
ITJ	3.261,90	18.110,07
ITN	2.957,53	24.263,69
JCB	624,46	3.337,45
JDF	3.494,28	17.870,86
JDO	4.202,95	58.725,79
JGS	13.791,90	61.532,23
JOI	6.521,79	33.751,57
JPA	843,03	4.292,23
LDB	4.324,65	25.127,70
LGS	1.595,81	8.324,47
LJD	4.198,95	21.537,44
LVB	7.357,68	29.072,20
MCZ	288,25	1.543,97
MII	3.144,01	17.584,55

MOC	2.687,32	12.936,32
MRG	6.641,79	33.059,74
NAT	134,22	656,29
NFR	5.357,16	27.290,10
NHA	28.191,70	313.614,27
NPR	3.053,02	16.950,35
PET	6.330,00	28.774,14
PFB	2.129,23	11.916,85
PGZ	1.750,49	9.155,76
PMI	289,58	1.790,94
PNZ	131,26	660,79
POA	33.363,16	176.301,16
POU	6.152,89	32.408,16
PPB	13.952,67	57.974,22
REC	2.128,03	12.816,24
RIB	10.854,56	56.316,60
RIG	1.292,59	7.176,44
RIO	18.034,39	97.641,45
SAO	79.849,83	421.823,99
SAX	379,93	2.817,25
SBT	3.971,41	20.646,13
SCA	4.955,31	24.896,94
SCS	6.534,25	34.162,70
SGA	63,28	334,20
SJK	11.111,94	56.470,79
SJP	4.623,26	24.846,67
SMA	820,60	4.222,77
SOB	32.287,91	454.887,81
SOD	16.060,74	79.768,69
SRA	398,46	1.908,87
SSA	3.119,07	20.539,57
STG	131,63	665,37
STO	1.207,64	6.443,83
TUB	2.908,10	14.444,33
UBA	3.330,21	19.306,01
UBL	3.627,20	18.511,68
URG	451,75	1.690,77
VDC	5.240,91	45.570,92
VIX	24.765,37	81.715,65
VRE	2.621,45	9.868,03
XAP	3.985,11	14.997,33
TOTAL	657.953,31	4.030.906,23

Tabela B.2. Informação de custo por rota⁸

Rota	Ida	Volta	Dist.	CF toco	CV toco	CF truck	CV truck	CF cavalo	CV cavalo	CF carreta	CV carreta	Frete cotado
1	AJXxMCZxREC	RECxMCZxAJX	1.120	11.511,19	1,17	11.887,53	1,00	13.603,70	1,33	714,38	0,14	1,29
2	BAUxBHZ	BHZxBAU	1.416	11.441,26	0,96	11.746,56	0,81	13.098,38	1,08	704,63	0,13	1,69
3	BAUxFRC	FRCxBAU	612	5.207,88	0,96	5.513,18	0,81	6.865,00	1,08	704,63	0,13	1,65
4	BAUxLDBxMRG	MRGxLDBxBAU	770	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,37
5	BAUxMII	MIIxBAU	208	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,45
6	BAUxPPB	PPBxBAU	614	5.207,88	0,96	5.513,18	0,81	6.865,00	1,08	704,63	0,13	1,55
7	BAUxSJKxRIO	RIOxCPQxBAU	1.524	11.441,26	0,96	11.746,56	0,81	13.098,38	1,08	704,63	0,13	1,70
8	BAUxSJP	SJPxBAU	468	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,60
9	BHZxBSB	BSBxBHZ	1.482	11.181,19	1,17	11.557,53	1,00	13.273,70	1,33	714,38	0,14	1,13
10	BHZxDIV	DIVxBHZ	250	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,49
11	BHZxDIVxSAXxSAO		664	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,50
12	BHZxGVR	GVRxBHZ	654	5.207,88	0,96	5.513,18	0,81	6.865,00	1,08	704,63	0,13	1,83
13	BHZxIPN	IPNxBHZ	448	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,15
14	BHZxMOC	MOCxBHZ	876	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,83
15	BHZxPMI	PMIxBHZ	800	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	2,06
16	BHZxPOU	POUxBHZ	808	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,27
17	BHZxUBA	UBAxBHZ	972	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,24
18	BHZxUBL	UBLxBHZ	1.094	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,80
19	BIRxBAU	BAUxBIR	368	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,75
20	CACxIGU	IGUxCAC	282	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,09
21	CPQxBAU	BAUxCPQ	526	5.207,88	0,96	5.513,18	0,81	6.865,00	1,08	704,63	0,13	1,63
22	CPQxBAUxCAC		920	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,59
23	CPQxBHZ	BHZxCPQ	1.188	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,53
24	CPQxBHZ	BHZxPOUxCPQ	1.199	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,56
25	CPQxFOR	FORxCPQ	6.270	40.716,39	1,17	41.092,74	1,00	42.808,90	1,33	714,38	0,14	1,79
26	CPQxPFB		1.045	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,53
27	CPQxRIB	RIBxCPQ	450	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,56
28	CPQxSAOxXAP		986	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,53
29	CPQxSJK	SJKxCPQ	314	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,73
30	CPQxUBL	UBLxCPQ	1.014	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,83

⁸ Os custos fixos estão expressos em custo fixo mensal para um veículo e os custos variáveis e o frete estão expressos em R\$/km

31	CPQxVIX		949	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	2,19
32	CWBxBNU	BNUxCWB	422	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,71
33	CWBxCAD	CADxCWB	622	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	0,98
34	CWBxCPQ	CPQxCWB	972	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,63
35	CWBxCRI	CRIxCWB	948	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,75
36	CWBxFBE	FBExCWB	970	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,83
37	CWBxFLN	FLNxJOIxCWB	597	5.207,88	0,96	5.513,18	0,81	6.865,00	1,08	704,63	0,13	1,63
38	CWBxGPB	GPBxCWB	554	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,15
39	CWBxJCB	JCBxCWB	782	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,06
40	CWBxJDFxRIO	RIOxCWB	1.968	14.392,95	0,96	14.698,25	0,81	16.050,07	1,08	704,63	0,13	1,55
41	CWBxJGS	JGSxCWB	320	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	2,34
42	CWBxJOI	JOIxCWB	232	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	2,26
43	CWBxLDB	LDBxCWB	806	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,82
44	CWBxLGS	LGSxCWB	726	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,04
45	CWBxPGZ	PGZxCWB	268	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,26
46	CWBxSAO	SAOxCWB	828	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,70
47	CWBxSJK	SJKxCWB	1.038	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,69
48	CWBxSODxCPQ	SODxCWB	831	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	2,25
49	CWBxVRExRIO	RIOxCPQxCWB	1.854	14.392,95	0,96	14.698,25	0,81	16.050,07	1,08	704,63	0,13	1,96
50	CWBxXAP	XAPxCWB	964	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,61
51	CXJxBNUxJGSxJOI	JOIxJGSxBNUxCXJ	1.118	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,27
52	CXJxNPR	NPRxCXJ	208	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,22
53	CXJxPFBxXAP	XAPxPFBxNPRxCXJ	799	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,28
54	ERMxPFB	PFBxERM	166	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,37
55	FRCxCPQ	CPQxFRC	620	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,50
56	FRCxPASxBHZ	BHZxPASxFRC	902	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,26
57	FSAxMCZxREC	RECxMCZxFSA	1.710	17.414,57	1,17	17.790,91	1,00	19.507,08	1,33	714,38	0,14	1,75
58	FSAxPNZxJDOxFOR	FORxJDOxPNZxFSA	2.788	21.026,25	1,17	21.402,60	1,00	23.118,77	1,33	714,38	0,14	1,75
59	ITNxFSAxSSA	SSAxFSAxITN	962	7.899,50	1,17	8.275,84	1,00	9.992,01	1,33	714,38	0,14	1,21
60	JGSxJOIxVIX	VIXxCWBxJOIxJGS	2.964	20.956,33	0,96	21.261,63	0,81	22.613,45	1,08	704,63	0,13	1,85
61	JGSxPOA	POAxITJxJGS	1.289	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,11
62	JOIxITJ	ITJxJOI	182	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,24
63	MIIxCPQ	CPQxMII	730	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,13
64	MIIxSAO	SAOxMII	862	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,09
65	PGZxSAO	SAOxPGZ	1.044	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,10

66	POAxBGX	BGXxPOA	784	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,03
67	POAxERM	ERMxPOA	786	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,65
68	POAxFLN	FLNxTUBxPOA	953	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,03
69	POAxIJU	IJUxPOA	882	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,49
70	POAxLJD	LJDxPOA	254	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,81
71	POAxNPR	NPRxPOA	394	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,26
72	POAxPET	PETxPOA	526	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,60
73	POAxPETxRIG	RIGxPETxPOA	636	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,01
74	POAxPFB	PFBxPOA	630	5.207,88	0,96	5.513,18	0,81	6.865,00	1,08	704,63	0,13	1,82
75	POAxPFBxFWE	FWExPFBxPOA	1.000	5.207,88	0,96	5.513,18	0,81	6.865,00	1,08	704,63	0,13	1,12
76	POAxSCS	SCSxPOA	308	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	2,09
77	POAxSGA	SGAxPOA	660	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,15
78	POAxSMA	SMAxPOA	600	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,85
79	POAxSRA	SRAxPOA	1.082	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,00
80	POAxTUBxCRI	CRIxPOA	684	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,81
81	REcxFOR	FORxREC	1.590	11.511,19	1,17	11.887,53	1,00	13.603,70	1,33	714,38	0,14	1,30
82	REcxJPA	JPAxREC	234	7.899,50	1,17	8.275,84	1,00	9.992,01	1,33	714,38	0,14	2,29
83	REcxNAT	NATxREC	576	7.899,50	1,17	8.275,84	1,00	9.992,01	1,33	714,38	0,14	1,56
84	RIBxBAU	BAUxRIB	432	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,87
85	RIOxCGOxCIT	CITxCGOxRIO	828	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,70
86	RIOxITNxFSAXSSA	FSAXITNxRIO	3.418	21.356,25	1,17	21.732,60	1,00	23.448,77	1,33	714,38	0,14	1,81
87	RIOxJDFxBHZ	BHZxRIO	910	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,87
88	RIOxNFR	NFRxRIO	276	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	2,09
89	RIOxVRE	VRExRIO	260	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	2,50
90	SAOxBHZ	BHZxPOUxSAO	1.209	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,47
91	SAOxBHZ	BHZxSAO	1.198	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,48
92	SAOxBIR	BIRxSAO	1.006	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,70
93	SAOxBNUxITJ	BNUxJGSxSAO	1.332	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,72
94	SAOxCAC		903	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,56
95	SAOxCGO	CGOxSAO	1.434	11.441,26	0,96	11.746,56	0,81	13.098,38	1,08	704,63	0,13	1,65
96	SAOxCIT	CITxSAO	1.582	11.441,26	0,96	11.746,56	0,81	13.098,38	1,08	704,63	0,13	1,78
97	SAOxCPQxBSB	BSBxCPQxSAO	2.048	14.792,88	1,17	15.169,22	1,00	16.885,39	1,33	714,38	0,14	1,74
98	SAOxFORxSOB	SOBxSAX	6.572	40.716,39	1,17	41.092,74	1,00	42.808,90	1,33	714,38	0,14	1,85
99	SAOxFSAX	FSAXITNxSAXxSAO	3.902	27.589,63	1,17	27.965,98	1,00	29.682,15	1,33	714,38	0,14	1,86
100	SAOxIPZ-SLZ-THE-SOB	SOBxSAX	7.177	40.716,39	1,17	41.092,74	1,00	42.808,90	1,33	714,38	0,14	1,82

101	SAOxITJxFLN	FLNxITJxSAO	1.422	11.441,26	0,96	11.746,56	0,81	13.098,38	1,08	704,63	0,13	1,65
102	SAOxJDF	JDFxSAO	1.022	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,71
103	SAOxJOIxJGS	JGSxJOIxCPQxSAO	1.318	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,91
104	SAOxMRG	MRGxLDBxSAO	1.256	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,71
105	SAOxPFB		971	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,53
106	SAOxPOU	POUxSAO	412	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	2,44
107	SAOxREC	RECxJDOxSAXxSAO	5.955	40.716,39	1,17	41.092,74	1,00	42.808,90	1,33	714,38	0,14	1,86
108	SAOxRIB	RIBxSAO	622	5.207,88	0,96	5.513,18	0,81	6.865,00	1,08	704,63	0,13	1,70
109	SAOxSSA	SSAxSAO	3.970	27.589,63	1,17	27.965,98	1,00	29.682,15	1,33	714,38	0,14	1,85
110	SAOxUBA	UBAxFRCxSAXxSAO	1.030	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,73
111	SAOxUBL	UBLxSAO	1.186	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,84
112	SAOxVIX	VIXxSAO	1.808	15.052,95	0,96	15.358,25	0,81	16.710,07	1,08	704,63	0,13	1,80
113	SAOxVIXxITNxVDC	VDCxSAX	3.384	21.356,25	1,17	21.732,60	1,00	23.448,77	1,33	714,38	0,14	1,84
114	SAOxVRE	VRExSJKxSAO	668	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,16
115	SBTxCWB	CWBxSBT	212	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,40
116	SBTxJOI	JOIxSBT	156	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,75
117	SCAxBAU	BAUxSCA	346	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,10
118	SCAxCPQ	CPQxSCA	280	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,31
119	SCAxSAO	SAOxSCA	476	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,30
120	SJPxCPQ	CPQxSJP	696	5.207,88	0,96	5.513,18	0,81	6.865,00	1,08	704,63	0,13	1,28
121	SJPxCPQxSAO	SAOxCPQxSJP	884	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,54
122	SRAxIJUxPFB	PFBxIJUxSRA	570	5.207,88	0,96	5.513,18	0,81	6.865,00	1,08	704,63	0,13	1,03
123	VIXxBHZ	BHZxVIX	1.048	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	2,36
124	VIXxCIT	CITxVIX	252	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	2,04
125	VIXxCOL	COLxVIX	300	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	2,11
126	VIXxITNxFSAxSSA	SSAxFSAxITNxVIX	2.496	20.696,25	1,17	21.072,60	1,00	22.788,77	1,33	714,38	0,14	2,05
127	BAUxSAO	SAOxBAU	648	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,76
128	BHZxJDF	JDFxBHZ	558	5.207,88	0,96	5.513,18	0,81	6.865,00	1,08	704,63	0,13	1,71
129	BHZxPOA	POAxNHAXBHZ	3.480	27.189,71	0,96	27.495,01	0,81	28.846,83	1,08	704,63	0,13	1,76
130	BNUxJGSxJOIxBAUxCPQ	CPQxJOIxJGSxBNU	1.763	14.392,95	0,96	14.698,25	0,81	16.050,07	1,08	704,63	0,13	1,76
131	BNUxJOIxBHZ	BHZxCWBxJOIxBNU	2.451	20.626,33	0,96	20.931,63	0,81	22.283,45	1,08	704,63	0,13	1,76
132	CPQxLDBxMRG	MRGxLDBxCPQ	1.252	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,71
133	CPQxNHA	NHAxCPQ	2.310	14.722,95	0,96	15.028,25	0,81	16.380,07	1,08	704,63	0,13	1,76
134	CPQxRIB	RIBxCPQ	450	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,76

135	CPQxRIO	RIOxCPQ	982	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,76
136	CWBxBAU	BAUxCWB	1.074	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,71
137	CWBxBAU	BAUxCWB	1.074	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,37
138	CWBxCPQ	CPQxCWB	972	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,76
139	CWBxIGU	IGUxCWB	1.296	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,83
140	CWBxITJ	ITJxCWB	404	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,37
141	CWBxMRG	MRGxCWB	896	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,76
142	CWBxPOUxBHZ	BHZxCWB	2.034	14.722,95	0,96	15.028,25	0,81	16.380,07	1,08	704,63	0,13	1,76
143	CWBxSAO	SAOxCWB	828	13.732,95	0,96	14.038,25	0,81	15.390,07	1,08	704,63	0,13	1,76
144	CWBxSTOxSAO	SAOxCWB	909	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,76
145	CWBxTUB	TUBxCWB	818	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,37
146	CWBxVIX	VIXxCWB	2.638	19.649,53	0,96	19.954,83	0,81	21.306,65	1,08	704,63	0,13	1,76
147	CXJxBAU	BAUxCPQxPOAxCXJ	2.671	19.649,53	0,96	19.954,83	0,81	21.306,65	1,08	704,63	0,13	1,76
148	CXJxCPQ	CPQxCXJ	2.126	14.722,95	0,96	15.028,25	0,81	16.380,07	1,08	704,63	0,13	1,76
149	CXJxCWB	CWBxCXJ	1.160	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,76
150	CXJxCWB	CWBxPOAxCXJ	1.473	11.441,26	0,96	11.746,56	0,81	13.098,38	1,08	704,63	0,13	1,76
151	CXJxRIO	RIOxSAOxPOAxCXJ	3.173	21.286,33	0,96	21.591,63	0,81	22.943,45	1,08	704,63	0,13	1,76
152	CXJxSAO	SAOxLGSxCXJ	1.982	14.392,95	0,96	14.698,25	0,81	16.050,07	1,08	704,63	0,13	1,76
153	CXJxSAO	SAOxPOAxCXJ	2.278	14.722,95	0,96	15.028,25	0,81	16.380,07	1,08	704,63	0,13	1,76
154	CXJxSAX	SAOxCXJ	1.978	14.392,95	0,96	14.698,25	0,81	16.050,07	1,08	704,63	0,13	1,94
155	FSAxAJX	AJXxFSA	626	5.277,81	1,17	5.654,15	1,00	7.370,32	1,33	714,38	0,14	2,05
156	NHxAxBAUxCPQ	CPQxPOAxNHA	2.674	20.956,33	0,96	21.261,63	0,81	22.613,45	1,08	704,63	0,13	1,76
157	NHxAxCWB	CWBxPOAxNHA	1.476	11.441,26	0,96	11.746,56	0,81	13.098,38	1,08	704,63	0,13	1,76
158	NHxAxCXJ	CXJxNHA	186	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,76
159	NHxAxCXJ	CXJxNHA	186	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,69
160	NHxAxPOUxBHZ	BHZxPOAxNHA	3.491	21.286,33	0,96	21.591,63	0,81	22.943,45	1,08	704,63	0,13	1,76
161	NHxAxSAXxSAO	SAOxPOA	2.245	14.722,95	0,96	15.028,25	0,81	16.380,07	1,08	704,63	0,13	1,76
162	NHxAxSAXxSAO	SAOxNHxAxSMAxSCSxPOA	2.785	20.956,33	0,96	21.261,63	0,81	22.613,45	1,08	704,63	0,13	1,76
163	POAxBAU	BAUxPOA	2.358	14.722,95	0,96	15.028,25	0,81	16.380,07	1,08	704,63	0,13	1,76
164	POAxCPQ	CPQxSODxPOA	2.428	14.722,95	0,96	15.028,25	0,81	16.380,07	1,08	704,63	0,13	1,76
165	POAxCWB	CWBxJOIxPOA	1.507	11.441,26	0,96	11.746,56	0,81	13.098,38	1,08	704,63	0,13	1,76
166	POAxCWB	CWBxPOA	1.516	11.441,26	0,96	11.746,56	0,81	13.098,38	1,08	704,63	0,13	1,76
167	POAxCXJ	CXJxPOA	270	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,71
168	POAxCXJxLGSxJCB	JCBxLGSxPOA	1.127	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,37

169	POAxITJxBNU	BNUxITJxPOA	1.242	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,76
170	POAxLVB	LVBxPOA	994	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,69
171	POAxNHA	NHAxPOA	92	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,76
172	POAxNHAXCXJxMRG	MRGxLDBxPOA	2.203	14.722,95	0,96	15.028,25	0,81	16.380,07	1,08	704,63	0,13	1,76
173	POAxPET	PETxPOA	526	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,37
174	POAxRIG	RIGxPOA	642	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,37
175	POAxRIO	RIOxPOA	3.204	21.286,33	0,96	21.591,63	0,81	22.943,45	1,08	704,63	0,13	1,76
176	POAxSAO	SAOxPOA	2.308	40.316,46	0,96	40.621,77	0,81	41.973,58	1,08	704,63	0,13	1,76
177	POAxSAOxSJK	SJKxPOA	2.518	15.052,95	0,96	15.358,25	0,81	16.710,07	1,08	704,63	0,13	1,76
178	POAxSTG	STGxPOA	926	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,17
179	POAxSTGxSBO	STGxSCSxPOA	1.079	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,37
180	POAxURG	URGxPOA	1.270	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,87
181	POAxXAPxFBExCAC	CACxFBExXAPxPOA	1.636	11.441,26	0,96	11.746,56	0,81	13.098,38	1,08	704,63	0,13	1,76
182	PPBxSAX	SAXxPPB	1.112	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,69
183	RIOxCGO	CGOxRIO	562	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	2,77
184	RIOxVIX	VIXxRIO	1.054	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,76
185	SAOxBHZ	BHZxSAO	1.198	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,76
186	SAOxCPQ	CPQxSAO	188	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	2,00
187	SAOxLDB	LDBxSAO	1.060	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,76
188	SAOxPPB	PPBxSAO	1.112	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,76
189	SAOxRIO	RIOxSAO	894	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,76
190	SAOxRIOxNFR	NFRxSAO	1.151	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,76
191	SAOxSAX	SAXxSAO	20	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,17
192	SAOxSAX	SAXxSAO	20	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,37
193	SAOxSAX	SAXxSAO	20	7.829,57	0,96	8.134,87	0,81	9.486,69	1,08	704,63	0,13	1,69
194	SAOxSTO	STOxSAO	160	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,17
195	SAOxTUBxCRI	CRIxTUBxSAO	1.766	14.392,95	0,96	14.698,25	0,81	16.050,07	1,08	704,63	0,13	1,76
196	SAOxURG	URGxSAO	3.074	21.286,33	0,96	21.591,63	0,81	22.943,45	1,08	704,63	0,13	1,76
197	SBTxJGSxBHZ	BHZxCPQxCWB	2.303	19.636,33	0,96	19.941,63	0,81	21.293,45	1,08	704,63	0,13	1,76
198	SJKxSAO	SAOxSJK	210	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,37
199	SODxBAU	BAUxSOD	490	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,37

200	SODxCPQ	CPQxSOD	178	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	2,16
201	SODxCPQxBHZ	BHZxSOD	1.370	8.489,57	0,96	8.794,87	0,81	10.146,69	1,08	704,63	0,13	1,76
202	SODxSAO	SAOxSOD	182	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	1,69
203	SSAxFSAxVDC	VDCxFSAxSSA	1.048	8.559,50	1,17	8.935,84	1,00	10.652,01	1,33	714,38	0,14	1,17
204	STOxCPQ	CPQxSTO	334	4.877,88	0,96	5.183,18	0,81	6.535,00	1,08	704,63	0,13	2,46
205	VDCxITN	ITNxVDC	504	5.277,81	1,17	5.654,15	1,00	7.370,32	1,33	714,38	0,14	1,46

Tabela B.3. Configuração final de veículos próprios por rota

Rota	Sistema recomendado	Tipo de veículo	# de veículos de tração	# de carretas	Rota	Sistema recomendado	Tipo de veículo	# de veículos de tração	# de carretas
1	P	CC	1	2	53	P	CC	1	2
2	M	CC	1	1	54	T	To	0	-
3	M	CC	1	2	55	T	CC	0	0
4	M	CC	1	2	56	P	CC	1	2
5	T	CC	0	0	57	M	CC	1	2
6	M	CC	1	2	58	M	CC	1	2
7	M	CC	1	2	59	M	CC	1	2
8	T	CC	0	0	60	P	CC	1	2
9	M	CC	1	1	61	P	CC	1	2
10	T	CC	0	0	62	T	To	0	-
11	M	CC	1	1	63	T	Tr	0	-
12	M	CC	1	2	64	T	CC	0	0
13	T	CC	0	0	65	M	CC	1	1
14	M	CC	1	2	66	T	CC	0	0
15	P	CC	1	2	67	M	CC	1	2
16	T	CC	0	0	68	M	CC	1	2
17	T	CC	0	0	69	M	CC	1	2
18	P	CC	1	2	70	T	CC	0	0
19	T	CC	0	0	71	T	CC	0	0
20	T	To	0	-	72	T	CC	0	0
21	T	CC	0	0	73	T	CC	0	0
22	M	CC	1	1	74	M	CC	1	2
23	M	CC	1	1	75	D	-	-	-
24	T	CC	0	0	76	M	CC	1	1
25	M	CC	1	2	77	T	CC	0	0
26	P	CC	1	2	78	M	CC	1	2
27	T	CC	0	0	79	M	CC	1	1
28	M	CC	1	1	80	M	CC	1	2
29	T	CC	0	0	81	T	To	0	-
30	M	CC	1	2	82	T	To	0	-
31	M	CC	1	2	83	T	To	0	-
32	T	CC	0	0	84	M	CC	1	1
33	T	Tr	0	-	85	P	CC	1	2
34	M	CC	1	1	86	P	CC	1	2
35	M	CC	1	2	87	M	CC	1	2
36	P	CC	1	2	88	T	CC	0	0
37	M	CC	1	2	89	T	Tr	0	-
38	T	CC	0	0	90	T	CC	0	0
39	P	CC	1	1	91	T	CC	0	0
40	M	CC	1	2	92	P	CC	1	2
41	M	CC	1	1	93	M	CC	1	2
42	T	CC	0	0	94	T	To	0	-
43	M	CC	1	1	95	P	CC	1	1
44	T	CC	0	0	96	M	CC	1	2
45	T	CC	0	0	97	M	CC	1	2
46	M	CC	4	8	98	M	CC	1	2
47	M	CC	1	2	99	M	CC	1	2
48	M	CC	1	2	100	D	-	-	-
49	M	CC	1	2	101	M	CC	1	2
50	M	CC	1	1	102	M	CC	1	1
51	P	CC	1	2	103	P	CC	1	2
52	T	To	0	-	104	M	CC	1	2

P = Própria, T = Terceirizada, M = Mista, CC = Cavalo-Carreta, To = Toco e Tr = *Truck*
 (continuação) Tabela B.3. Configuração final de veículos próprios por rota

Rota	Sistema recomendado	Tipo de veículo	# de veículos de tração	# de carretas	Rota	Sistema recomendado	Tipo de veículo	# de veículos de tração	# de carretas
105	M	CC	1	2	156	M	CC	1	2
106	T	CC	0	0	157	M	CC	1	1
107	M	CC	1	2	158	T	CC	0	-
108	M	CC	1	2	159	D	-	-	-
109	M	CC	1	2	160	P	CC	1	2
110	M	CC	1	2	161	M	CC	1	2
111	M	CC	1	1	162	M	CC	1	2
112	M	CC	1	2	163	M	CC	1	3
113	M	CC	1	1	164	M	CC	1	2
114	M	CC	1	2	165	M	CC	1	1
115	T	CC	0	0	166	D	-	-	-
116	T	To	0	-	167	T	CC	0	0
117	T	CC	0	0	168	P	CC	1	3
118	T	CC	0	0	169	P	CC	1	1
119	T	Tr	0	-	170	M	CC	1	4
120	P	Tr	1	-	171	T	CC	0	0
121	P	CC	1	1	172	M	CC	1	2
122	P	To	1	-	173	D	-	-	-
123	M	CC	1	1	174	T	CC	0	0
124	P	To	1	-	175	D	-	-	-
125	M	CC	1	2	176	T	CC	0	0
126	M	CC	1	2	177	M	CC	1	2
127	M	CC	1	2	178	T	CC	0	0
128	T	CC	0	0	179	P	CC	1	3
129	M	CC	1	2	180	M	CC	1	2
130	D	-	-	-	181	M	CC	1	3
131	M	CC	1	2	182	T	CC	0	0
132	M	CC	1	2	183	D	-	-	-
133	P	CC	1	2	184	M	CC	1	4
134	D	-	-	-	185	D	-	-	-
135	M	CC	1	1	186	D	-	-	-
136	M	CC	1	1	187	M	CC	1	1
137	D	-	-	-	188	M	CC	1	1
138	D	-	-	-	189	T	CC	0	0
139	M	Tr	1	-	190	M	CC	1	3
140	T	CC	0	0	191	T	CC	0	0
141	M	CC	1	2	192	D	-	-	-
142	T	CC	0	0	193	D	-	-	-
143	D	-	-	-	194	T	CC	0	0
144	P	CC	1	2	195	M	CC	1	2
145	T	CC	0	0	196	P	CC	1	1
146	D	-	-	-	197	P	CC	1	2
147	M	CC	1	2	198	D	-	-	-
148	M	CC	1	2	199	T	CC	0	0
149	M	CC	1	1	200	D	-	-	-
150	M	CC	1	1	201	D	-	-	-
151	M	CC	1	2	202	T	CC	0	0
152	M	CC	1	1	203	T	CC	0	0
153	M	CC	1	2	204	P	Tr	1	-
154	M	CC	1	2	205	T	To	0	-
155	M	CC	1	3					

P = Própria, T = Terceirizada, M = Mista, CC = Cavalo-Carreta, To = Toco e Tr = *Truck*