

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

CHRISTIANY LOSS RIGO

**PROPOSTA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE
LOGÍSTICA REVERSA DO ÓLEO RESIDUAL DE
FRITURA**

VITÓRIA - ES

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CHRISTIANY LOSS RIGO

PROPOSTA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE
LOGÍSTICA REVERSA DO ÓLEO RESIDUAL DE
FRITURA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de Concentração em Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa

Co-Orientador: Prof. Dr. Gregório Coelho de Moraes Neto

VITÓRIA - ES

2009

R572p Rigo, Christiany Loss, 1981-
Proposta de resolução do problema de logística reversa do
óleo residual de fritura / Christiany Loss Rigo. – 2009.
147 f. : il.

Orientador: Rodrigo de Alvarenga Rosa.
Co-Orientador: Gregório Coelho de Moraes Neto.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito
Santo, Centro Tecnológico.

1. Logística. 2. Problema de Roteamento de Veículos. 3.
Sistemas de informação geográfica. 4. Logística reversa. 5.
Coleta e entrega simultânea de mercadorias. I. Rosa, Rodrigo de
Alvarenga. II. Moraes Neto, Gregório Coelho de. III. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

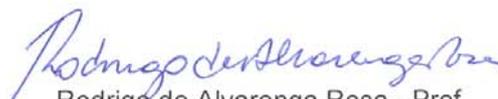
CDU: 624

PROPOSTA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOGÍSTICA
REVERSA DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA

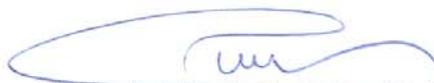
Christiany Loss Rigo

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em 15/09/2009 por:



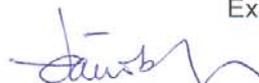
Rodrigo de Alvarenga Rosa.- Prof.
Doutor em Engenharia Elétrica
Deptº Eng. Produção / IFES
Orientador



Gregório Coelho de Moraes Neto – Prof.
Doutor em Engenharia de Transportes
Deptº Eng. Produção / UFES
Co-orientador



Marta Monteiro da Costa Cruz - Prof.
Doutora em Engenharia de Transportes
Deptº Eng. Produção / UFES
Examinadora Interna



Vânia Barcellos Gouvêa Campos – Prof.
Doutora em Ciências em Engenharia de Produção
Instituto Militar de Engenharia - IME/RJ
Examinadora Externa

Ao meu marido, Wanderson, por todo apoio, amor e carinho.
Aos meus pais, Antônio e Maria, e a minha irmã Ediene,
que sempre me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que, com sabedoria, me iluminou nos momentos mais difíceis, me proporcionou resistência para vencer mais esse desafio e me fez aprender com meus próprios erros.

Ao meu querido marido Wanderson Rigo por acreditar em mim, mesmo quando nem eu mesmo acreditava e por ter me escutado todas as vezes que algo dava errado. Não foram poucos esses momentos.

À minha família, aos meus pais Antônio e Maria e a minha irmã Ediene pela paciência, carinho e apoio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa, pessoa extraordinária, a quem devo muito pela orientação, paciência, confiança e amizade.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Gregório Coelho de Moraes Neto por suas contribuições.

Aos membros da banca, Prof^a. Dra. Vânia Barcellos Gouvêa Campos e Prof^a. Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz pelas contribuições.

À Marca Ambiental, em especial ao Humberto Ferreira Martins pela disponibilidade de informações para o estudo.

À Janine Pereira Jacinto pelos conselhos, companheirismo e amizade.

À Andrea Breciani, secretária do mestrado, pela disponibilidade e paciência.

Aos professores Eliana Zandonade e João Luiz Calmon Nogueira da Gama, que auxiliaram na formação de um pensamento científico.

Aos colegas Sidney, André e Arthur do Laboratório do Núcleo de Logística e Transporte da Universidade Federal do Espírito Santo pelo apoio, ajuda e paciência todas as vezes que eu me estressava com o software TransCAD.

Aos colegas de mestrado, Michel, Mardel, Rose, Paulo e Emanuella pela troca de conhecimentos e amizade.

À FAPES pelo apoio financeiro através da concessão de uma bolsa de mestrado.

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente impulsionaram a realização desse trabalho.

Obrigada a todos de coração!

RESUMO

Com a crescente preocupação com a proteção ambiental, houve significativas alterações nos processos logísticos. Além do processo de distribuição de mercadorias para os clientes, as embalagens reutilizáveis e os bens a serem reciclados ou remanufaturados precisam ser transportados na direção inversa. Esse tipo de processo recebe o nome de logística reversa. Na literatura especializada, problemas desse tipo podem ser resolvidos por meio do Problema de Coleta e Entrega Simultânea (*Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery – VRPSPD*), que é uma subclasse mais específica do problema de roteirização de veículos com coleta e entrega. Esta dissertação tem como objetivo desenvolver uma proposta de resolução do problema de logística reversa das embalagens utilizadas para recolher o óleo residual de fritura que será utilizado para produção de biodiesel, modelado como um problema de Coleta e Entrega Simultânea com Janela de Tempo, usando uma ferramenta SIG-T. O problema consiste na entrega de bombonas vazias e coleta de bombonas cheias com óleo residual de fritura para uma indústria de beneficiamento que utiliza este óleo como insumo para a produção de biodiesel. Foram criados dezoito cenários para testar alternativas de solução do problema, onde foram avaliados os parâmetros: alocação de diferentes tipos de veículos de coleta e entrega, utilização de frota heterogênea, alteração nos tempos de entrega e coleta, variações nas janelas de tempo de atendimento e restrição de duração máxima da rota. Por fim, foram feitas as análises de todos os resultados alcançados e é apresentada a conclusão da dissertação com propostas de trabalhos futuros.

Palavras-chave: Roteirização de Veículos. Coleta e Entrega Simultânea com Janela de Tempo. Sistema de Informação Geográfica. Logística Reversa.

ABSTRACT

Nowadays, environmental protection concern is growing and the logistics processes is changing to accomplish these changes. Besides of the goods distribution processes to the clients, the goods and its recycled packing need to be transported in the inverse direction. This kind of logistic is called reverse logistic. In specific literature, such problems can be solved through the Problem of Simultaneous Pickup and Delivery (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery), which is a more specific subclass of the vehicle routing with pickup and delivery problem. The objective of this dissertation is to develop a proposal to solve the problem of reverse logistic of the collecting of residual oil of frying, to produce biodiesel through the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery with Time Windows, using an SIG-T tool. The problem consists in delivery appropriate empty cans and collect them full of residual oil of frying to a recycling industry that uses it as a raw material to produce biodiesel. Eighteen scenarios were created in order to test alternatives for solving the problem, and the parameters were tested: allocation of different kinds of vehicles, heterogeneous fleet utilization, changes in hours of pickup and delivery, change in time windows of attendance and restriction of maximum time of the route. At last, the analyses of all results reached were done and conclusions with future works are proposed.

Key words: Vehicle Routing. Simultaneous Pickup and Delivery Problem with Time Windows. Geographic Information System. Reverse Logistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rede de Transporte Representada por um Grafo	38
Figura 2 - Grafo Orientado	38
Figura 3 - Grafo não Orientado	39
Figura 4 - Grafo Misto	39
Figura 5 - Grafo do problema hamiltoniano.....	41
Figura 6 -Problema de Coleta e Entrega	51
Figura 7 - Dial-a-ride Problem	54
Figura 8 - Problema de Roteirização de Veículos com Coleta e Entrega	56
Figura 9 - PRV com Backhauls	57
Figura 10 - Problema de Coleta e Entrega Particionada.....	58
Figura 11 - Problema de Coleta e Entrega Simultânea.....	59
Figura 12 - Representação da Coleta e Entrega de Mercadorias por meio de um Grafo Orientado	74
Figura 13 - Bombonas deixadas em estabelecimentos (Bares, Rest., etc.) utilizadas para coletar o óleo de cozinha.....	78
Figura 14 - Pickup com capacidade de 10 bombonas de 50L ou 60L.....	79
Figura 15 - Arquivo Geográfico com algumas ruas editadas	88
Figura 16 - Base de dados com os nomes das ruas	88
Figura 17 - Base de dados da camada de pontos	90
Figura 18 -Caixa de diálogo para a criação de rede de transportes	91
Figura 19 - Matriz de roteirização e caixa de diálogo do procedimento de criação da matriz de roteirização.....	91
Figura 20 -Modo de operação utilizado na Rotina Vehicle Routing	93
Figura 21 -Caixa de diálogo para preencher os dados referentes ao depósito	93
Figura 22-Caixa de diálogo para preencher os dados referentes as paradas de cada cliente.....	94
Figura 23 -Caixa de diálogo para preencher os dados referentes aos veículos.....	94
Figura 24 -Caixa de diálogo para preencher os dados referentes aos veículos.....	95
Figura 25 - Mapa das Rotas do Cenário 11, gerado pelo TransCAD	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Demanda dos Clientes.....	81
Tabela 2- Horário de Atendimento dos Clientes.....	81
Tabela 3 -Tipos e Características dos veículos.....	86
Tabela 4 - Campos da camada de pontos Clientes	89
Tabela 5 - Campos do depósito	89
Tabela 6 -Tabela de veículos.....	95
Tabela 7 - Itinerário gerado pelo TransCAD	96
Tabela 8 - Resumo do procedimento gerado pelo TransCAD	97
Tabela 9 - Lista de parada gerada pelo TransCAD	98
Tabela 10 - Descrição dos Cenários de Testes.....	101
Tabela 11 - Resultado das Roteirizações.....	109

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Impacto da Alteração nos tempos de Coleta e Entrega.....	111
Gráfico 2 - Impacto da alocação de um outro tipo de veículo na frota.	113
Gráfico 3 - Impacto da alocação de veículo com grande capacidade na solução do problema	117
Gráfico 4 - Impacto da alteração nos tempos de coleta e entrega para Cenários que utilizam veículos do tipo Mercedes Bens 709.....	118
Gráfico 5 - Impacto da alteração nos tempos de coleta e entrega e no número de veículos do tipo Mercedes Bens 709.....	119

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ACS – Sistema de Colônia de Formigas
- ARP – Problema de Roteirização em Arcos
- CARP – Problema de Roteirização de Veículos com Demanda em Arcos
- CFI – *Cheapest Feasible Insertion*
- CVRP – *Vehicle Routing Problem Capacitated*
- DARP – *Dial-a-ride Problem*
- DSS – Sistema de Apoio a Decisão
- GEOBASES – Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo
- GPDP – *General Pickup and Delivery Problem*
- GRASP – Greedy Randomized Adaptive Search Procedure
- ILS – *Iterated Local Search*
- PCC – Problema do Carteiro Chinês
- PCR – Problema do Carteiro Rural
- PCV – Problema do Caixeiro Viajante
- PCVM – Problema do Caixeiro Viajante Múltiplos
- PDP – *Pickup and Delivery Problem*
- PDPTW – *Pickup and Delivery Problem with Time Windows*
- PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
- PRV – Problema de Roteirização de Veículos
- PSO – *Particle Swarm Optimization*
- RC – *Residual Capacity*
- RS – *Radial Surcharge*
- SIG – Sistema de Informação Geográfica
- SIG-T – Sistema de Informação Geográfica para Transporte
- TD – *Travel Distance*
- TSPDP – *Traveling Salesman Problem with Pickup and Delivery*
- VND – Descida em Vizinhança Variável
- VRP – *Vehicle Routing Problem*
- VRPB - *Vehicle Routing Problem with Backhauling*
- VRPDPD - *Vehicle Routing Problem with Divisible Pickup and Delivery*
- VRPPD - *Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery*

VRPSPD – Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery

*VRPSPDTW – Vehicle Routing Problem Simultaneous Pickup and Delivery with Time
Windows*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	18
1.1 Problema a ser Tratado	20
1.2 Motivação.....	20
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Objetivo Geral.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos.....	22
1.4 Estrutura do Trabalho	22
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA	24
2.1 Coleta de Óleo de Fritura.....	24
2.1.1 Resíduos.....	24
2.1.2 A Produção do Óleo Residual de Fritura	27
2.1.3 Coleta de Óleo de Fritura.....	28
2.1.4 Biodiesel	29
2.2 Sistema de Informação Geográfica – SIG.....	30
2.2.1 Aplicações de SIG	31
2.2.2 SIG – T (Sistema de Informação Geográfica para Transporte)	33
2.3 Problemas de Roteirização de Veículos	36
2.3.1 Definição.....	36
2.3.2 Rede de Transportes	37
2.3.3 Tipos de Problemas de Roteirização de Veículos	39
2.3.4 Problemas Clássicos de Roteirização de Veículos.....	47
2.4 Problema Geral de Coleta e Entrega	49
2.4.1 Problema de Coleta e Entrega.....	50
2.4.2 <i>Dial-a-ride Problem</i>	54
2.4.3 Problema de Roteirização de Veículo com Coleta e Entrega	56
2.4.4 Problema de Roteirização de Veículos com Backhails.....	57

2.4.5 Problema de Roteirização com Coleta e Entrega Particionada	58
2.4.6 Problema de Coleta e Entrega Simultânea	58
2.5 Principais Métodos para Solução do Problema de Coleta e Entrega Simultânea	64
2.6 Revisão da Literatura do Problema de Coleta e Entrega Simultânea	66
2.7 Complexidade Computacional dos Problemas de Roteirização de Veículos ...	71
CAPÍTULO 3 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	73
3.1 Introdução	73
3.2 Descrição do Problema Real a ser Resolvido	76
3.2.1 Depósito.....	77
3.2.2 Tipos de Mercadorias	78
3.2.3 Tipos de Veículos Utilizados pela Empresa.....	78
3.2.4 Processamento de Pedidos	79
3.2.5 Velocidades e Tempos de Coleta e Entrega.....	79
3.2.6 Demanda dos Clientes.....	80
3.2.7 Horário de Atendimento de cada Cliente	81
CAPÍTULO 4 - PROPOSTA DE RESOLUÇÃO	82
4.1 Informações Necessárias para a Coleta e Entrega Diária de Mercadorias.....	83
4.1.1 Localização do Depósito.....	83
4.1.2 Clientes Atendidos.....	83
4.1.3 Restrição de Horário de Atendimento do Depósito e dos Clientes	84
4.1.4 Malha Viária Disponível, Velocidades e Tempos de Coleta e Entrega	84
4.1.5 Veículos Disponíveis.....	85
4.2 Utilização do Aplicativo Computacional de Roteirização.....	86
4.2.1 Coleta de Dados	86
4.2.2 Atualização do Sistema Viário, Preparação dos Dados de Entrada e Determinação do Sentido de Fluxo da Via.....	87
4.2.3 Preenchimento da base de dados	90

4.3 Cenários de Testes	100
CAPÍTULO 5 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	108
5.1 Apresentação dos Resultados	108
5.2 Análise dos Resultados.....	110
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO	126
REFERÊNCIAS.....	129
APÊNDICE A – Sorteio Aleatório para Selecionar os Clientes Atendidos no ..	140
Turno Matutino e Vespertino dos Cenários 13 e 14	140
ANEXO A – Demanda e Horário de Atendimento de Cada Cliente	142

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

No final da década de 1970 as sociedades comercialmente desenvolvidas e industrializadas sofreram significativas mudanças econômicas e estruturais. De um lado, observou-se um grande desenvolvimento da tecnologia da informação e da comunicação afetando a gestão empresarial e o mercado financeiro. De outro, se constata a crescente concorrência entre as empresas, que passou a se dar em nível global (NOVAES, 2004).

Como resultado dessas significativas mudanças, muitas empresas possuem recursos e clientes espalhados em uma grande área geográfica e como conseqüência, uma distância entre a produção da maioria dos bens e o momento em que eles são consumidos (BARBOSA, 2005).

Diminuir essa distância entre a produção e a demanda, de forma que os consumidores sejam atendidos quando e onde quiserem, e na condição física que desejarem, passou a ser um problema de extrema importância para as empresas. Na tentativa de resolver esse problema as empresas passam a dar maior ênfase ao chamado Sistema Logístico que é uma das mais importantes competências na gestão de negócios empresariais, capaz de agregar valor ao cliente, tornando-se fonte de vantagem competitiva. A satisfação do cliente passa a ser um elemento fundamental no mercado atual e engloba disponibilidade do produto, agilidade e eficiência na entrega, entre outros elementos (BARBOSA, 2005 e BELFIORE, 2006).

Segundo Ballou (2006) entre todas as atividades envolvidas na cadeia logística, o transporte representa normalmente entre um e dois terços dos custos logísticos totais, assim aumentar a eficiência por meio da máxima utilização dos equipamentos e do pessoal de transportes é uma das maiores preocupações do setor.

Para Belfiore (2006) um sistema de transporte eficiente e barato contribui para aumentar a concorrência no mercado, elevar as economias de escala de produção e reduzir os preços das mercadorias.

Nesse contexto, o presente trabalho busca contribuir para desenvolver e modelar uma proposta de resolução de um problema específico de roteirização de veículos, o Problema de Coleta e Entrega Simultânea de mercadorias com restrição de horário de atendimento ao cliente. Este problema tem uma grande aplicabilidade em logística reversa, o que justifica ainda mais a importância do tema, pois existe uma demanda cada vez maior da sociedade por serviços de qualidade, mais baratos, mais rápidos e uma crescente preocupação com a questão da degradação do meio ambiente.

Grande parte da degradação do meio ambiente ocorre em função do despejo de resíduos líquidos e sólidos na natureza. Como exemplo, pode-se citar o impacto gerado pelo descarte inadequado do óleo de fritura. Cada litro lançado no meio ambiente pode contaminar cerca de 1.000.000 litros de água limpa, o equivalente ao consumo de um ser humano por 14 anos (MARCA AMBIENTAL, 2009).

Quando despejado no ralo, o óleo forma crostas de gordura na tubulação residencial e nas redes de esgoto, causando entupimentos e poluindo córregos, riachos, rios e o solo. Quando atinge o solo, o óleo dificulta o escoamento da água das chuvas aumentando a ocorrência de enchentes, devido a sua capacidade de impermeabilização (MOGNATO; MARTNS, 2007).

Levando em consideração todos os estragos que o óleo de fritura causa ao meio ambiente, é essencial mobilizar a sociedade na reeducação dos seus hábitos e dar um destino alternativo para este resíduo. Uma forma de resolver este problema é coletar o óleo de fritura para posterior reaproveitamento.

O óleo coletado pode ser reutilizado para a produção de outros produtos como: sabão, detergente e biodiesel. Para tanto, faz-se necessário recolher este óleo usado nos estabelecimentos comerciais, sendo necessário buscar metodologias que auxiliem a logística da coleta deste óleo minimizando os custos logísticos e ajudando a viabilizar a produção do biodiesel.

Neste contexto, a presente dissertação consiste em desenvolver uma proposta de resolução do problema de logística reversa das embalagens utilizadas para recolher óleo residual de fritura que será utilizado para produção de biodiesel, modelado como um problema de Coleta e Entrega Simultânea com Janela de Tempo, usando uma ferramenta SIG-T.

1.1 Problema a ser Tratado

O problema consiste em entregar bombonas vazias e coletar bombonas cheias com óleo residual de fritura para uma indústria de beneficiamento, que utiliza este óleo como insumo para a produção de biodiesel.

Os estabelecimentos comerciais que utilizam óleo de fritura para preparar alimentos têm dificuldade em descartar o óleo utilizado. A empresa em estudo disponibiliza bombonas vazias de 50 litros no local do estabelecimento, para que o mesmo armazene o óleo usado. Quando a bombona enche, o estabelecimento solicita o recolhimento das cheias e a entrega de bombonas vazias.

Para este processo, visando reduzir custos logísticos, a empresa em estudo faz a entrega e coleta das bombonas simultaneamente, caracterizando assim, um Problema de Coleta e Entrega Simultânea.

Os Problemas de Coleta e Entrega Simultânea são problemas onde os clientes podem simultaneamente receber e entregar mercadorias. O problema é uma variação do problema de roteirização de veículos com coleta e entrega, tem grande importância nas atividades envolvendo logística reversa e têm recebido considerável atenção nas últimas décadas.

1.2 Motivação

Com a crescente preocupação com a proteção ambiental bem como com a redução dos custos, houve significativas alterações nos processos logísticos. Além do

processo de distribuição de mercadorias para os clientes, as embalagens reutilizáveis e os bens a serem reciclados ou remanufaturados precisam ser transportados na direção inversa, gerando custos adicionais. Esse tipo de processo recebe o nome de logística reversa. Se ambas as tarefas de coleta e entrega de mercadorias têm de ser realizadas simultaneamente, surge o problema de Coleta e Entrega Simultânea (DETHLOFF, 2001).

O problema de Coleta e Entrega Simultânea é frequentemente encontrado na realidade. Como exemplo, pode-se citar o caso da indústria de garrafas de vidro de refrigerantes vazias que devem ser devolvidas e o caso de lojas especializadas, onde paletes/containers reutilizáveis são utilizados no transporte de mercadorias (DETHLOFF, 2001).

O estudo abordará o problema de roteirização de uma empresa de reciclagem de óleo residual de fritura. O problema é semelhante aos exemplos citados por Dethloff (2001). Ele consiste na entrega de bombonas vazias (utilizadas para recolhimento de óleo residual de fritura) e na coleta das bombonas cheias dos estabelecimentos comerciais, seguindo uma restrição de horário de atendimento (janela de tempo) para cada cliente, priorizando a preservação do meio ambiente, bem como a otimização de custos logísticos.

O problema a ser estudado se refere à logística reversa das bombonas utilizadas para transportar o óleo residual de fritura, mas ele se aplicaria ao transporte de qualquer outro tipo de mercadoria, como por exemplo: transporte de galões de leite, de garrafas retornáveis, etc.

A relevância do problema se dá principalmente nos aspectos logístico e ambiental, já que o transporte de produtos reciclados é um elemento considerável de custo para as empresas. Deste modo, é de vital importância estruturar essa parte da logística, pois vantagens logísticas de uma empresa, no final, irão se reverter em vantagens de custos, os quais poderão ser repassados para o consumidor, tornando assim os produtos mais competitivos no mercado. Além disso, o descarte inadequado de resíduos, como o óleo de fritura, pode causar enormes danos ao meio ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma proposta de resolução do problema de logística reversa das embalagens utilizadas para recolher óleo residual de fritura que será utilizado para produção de biodiesel, modelado como um problema de Coleta e Entrega Simultânea com Janela de Tempo, usando uma ferramenta SIG-T.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar o problema de coleta e entrega e mais especificamente o caso de Coleta e Entrega Simultânea (*Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery*).
- Elaborar um estudo para auxiliar a empresa a dimensionar a frota dos veículos que realizam a coleta e entrega de bombonas para recolhimento de óleo residual de fritura.

1.4 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está organizada em seis capítulos, iniciando-se com a Introdução.

O Capítulo 2 apresenta como acontece a Coleta de Óleo Residual de Fritura e a definição de Sistema de Informação Geográfica – SIG. Este capítulo apresenta também uma revisão da literatura, onde é apresentado todo o referencial teórico dos problemas de Roteirização de Veículos, mais especificamente dos Problemas de Coleta e Entrega e do Problema de Coleta e Entrega Simultânea (*Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery Simultaneous*).

O Capítulo 3 expõe detalhadamente o problema a ser abordado nesta dissertação.

O Capítulo 4 descreve a proposta de resolução do problema a ser desenvolvida.

No Capítulo 5, os resultados obtidos na análise de diversos cenários, construídos para testar diferentes resoluções do problema, são apresentados. A análise desses resultados é feita na seqüência.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões, considerações finais e sugestão de futuras pesquisas.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA

Primeiramente são apresentados os conceitos básicos e algumas definições sobre coleta de óleo de fritura e sobre sistema de informação geográfica.

A seguir é apresentada a classificação dos problemas de roteirização de veículos e um estudo mais detalhado dos problemas de coleta e entrega e do Problema de Coleta e Entrega Simultânea (*Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery*) encontrados na literatura, pois é nesta classe que se encaixa o problema estudado.

Este capítulo também descreve a revisão de literatura do Problema de Coleta e Entrega Simultânea (*Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery*) e alguns trabalhos envolvendo coleta e entrega.

2.1 Coleta de Óleo de Fritura

2.1.1 Resíduos

Resíduo ou lixo, é qualquer material produzido pelo homem que perde a utilidade e precisa ser eliminado. Os resíduos apresentam-se nos estados sólido, gasoso e líquido.

- **Resíduos Sólidos**

Resíduos sólidos são materiais heterogêneos, (inertes, minerais e orgânicos) resultantes das atividades humanas (domésticas, comerciais, industriais, de serviços de saúde) ou aqueles gerados pela natureza, como folhas, galhos, terra, areia, que são retirados das ruas e levados para locais próprios. Os resíduos sólidos podem ser parcialmente utilizados, gerando, entre outros aspectos, proteção à saúde pública e economia de recursos naturais. Os resíduos sólidos constituem problemas sanitário, ambiental, econômico e estético (AMBIENTE BRASIL, 2008).

De acordo com a norma NBR 10004, resíduos sólidos podem ser definidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso solução técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, NBR 10004, 2004).

Ainda segundo a norma NBR 10004 os resíduos podem ser classificados em duas classes:

1) Resíduos Classe I - Perigosos

Resíduo Perigoso é aquele que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, possa apresentar risco à saúde pública, provocando ou acentuando um aumento de mortalidade ou incidência de doenças. Riscos ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada. São classificados como perigosos, os resíduos que apresentarem qualquer uma das características: corrosividade, inflamabilidade, patogenicidade, reatividade e toxicidade.

2) Resíduos Classe II – Não Perigosos

Os Resíduos não perigosos são aqueles compostos pelos resíduos classe II A – Não Inertes e pelos resíduos classe II B – Inertes. Resíduos Classe II ou Não-Inertes são aqueles que não se enquadram na Classe I (perigosos) ou na Classe II B (inertes). Estes resíduos podem ter propriedades tais como combustibilidade, biodegradabilidade, ou solubilidade em água. Os Resíduos classe II B ou inertes, são aqueles que, submetidos ao teste de solubilização (NBR 10006) não tenham nenhum dos seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

- **Resíduos Gasosos**

De acordo com Ambiente Brasil (2008) os resíduos gasosos resultam das reações de fermentação aeróbia (desenvolvidos na superfície) e anaeróbia (nas camadas

mais profundas); a fermentação anaeróbia dá origem a CO₂ e a CH₄ (metano), o qual pode ser aproveitado para a produção de biogás.

- **Resíduos Líquidos**

Os resíduos líquidos, também chamados leixivados, variam de local para local e dependem do teor em água dos resíduos, isolamentos dos sistemas de drenagem, clima, permeabilidade do substrato geológico, grau de compactação e idade dos resíduos (AMBIENTE BRASIL, 2008).

De acordo com a NORMA 9648, os resíduos líquidos ou esgotos sanitários são aqueles definidos como: “Despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição parasitária” (NORMA NBR 9648, ABNT 1986).

- i) Esgoto doméstico - é o esgoto gerado nas residências resultante do uso da água para higiene e necessidade fisiológicas humanas.
- ii) Esgoto industrial - é gerado nos processos de produção industrial.
- iii) Água de infiltração – é toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações.
- iv) Contribuição parasitária – é a parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário.

Como os resíduos líquidos possuem alta concentração de matéria orgânica, de azoto e de materiais tóxicos é importante que seu recolhimento e tratamento seja feito de modo a impedir sua infiltração no solo (AMBIENTE BRASIL, 2008).

O Problema apresentado neste trabalho refere-se à logística reversa da coleta e entrega de bombonas utilizadas para recolhimento de um resíduo líquido oleoso, o óleo de fritura.

2.1.2 A Produção do Óleo Residual de Fritura

Nos últimos anos, devido a inúmeros motivos, as pessoas estão com uma rotina de vida estressante e cada vez mais, dispõem de pouco tempo para cuidar e preparar seus alimentos. Uma alternativa de preparação rápida e que confere aos alimentos características sensoriais agradáveis é o processo de fritura.

De acordo com Gião *et al.* (1999) no processo de fritura o alimento é submerso em óleo quente que age como meio de transferência de calor. Esta forma de preparação do alimento é mais eficiente e rápida que a preparação feita por ar quente em fornos ou a preparação por meio de cozimento em água, já que as temperaturas alcançadas pelo óleo, em processo de fritura, são superiores às alcançadas pela água em ebulição. Durante o processo de fritura, o óleo é exposto a uma série de agentes (ar, água, alta temperatura e componentes dos alimentos que estão sendo fritos) que produzem degradações em sua estrutura, especialmente quando utilizados por um longo período, essas reações geram compostos responsáveis por odor e sabor desagradáveis e podem causar riscos à saúde, como, por exemplo, irritação do trato gastrointestinal e diarreia (ANVISA, 2004).

No Brasil, o consumo de óleo de cozinha chega aproximadamente a três bilhões de litros por ano, e no Espírito Santo este consumo alcança uma cifra de 150 milhões (CHAMON, 2007).

Com o crescimento do consumo de alimentos fritos e pré-fritos, houve a necessidade de desenvolvimento de novos equipamentos para fritura, tanto industriais como domésticos, onde grandes quantidades de óleo são aquecidas por longos períodos (DOBARGANES, 1991).

Segundo Mognato e Martins (2007), as formas para se determinar quando um óleo chegou ao ponto de descarte não são simples, são muitas as variáveis que determinam a taxa em que as reações de degradação ocorrem (alimentos diferentes são fritos em diversos tipos de óleo, em diversos tipos de fritadeiras e condições de operação), assim conseguir um método específico para avaliar a degradação do

óleo que pode ser aplicado a todos os sistemas é muito complicado, pois um método pode ser bom para avaliar um determinado sistema e não ser para outro.

De acordo com Gião et al. (1999), no Brasil não existem leis e regulamentações que estabeleçam um limite para as alterações que o óleo pode sofrer, ao contrário do que acontece em alguns países que possuem normas para o descarte de óleos utilizados para fritura. Para Mognato e Martins (2007), seria interessante que fosse dado um destino rentável para o óleo usado, assim, seria estimulada a minimização do reuso do óleo de fritura para produção de alimentos e este, poderia ser utilizado para a produção de outros produtos como: sabão, detergente e biodiesel.

2.1.3 Coleta de Óleo de Fritura

Jogar óleo de fritura pela pia da cozinha ou ralos provoca estragos no meio ambiente. Um litro de óleo doméstico jogado no ralo da pia pode contaminar cerca de 1.000.000 litros de água limpa, o equivalente ao consumo de um ser humano por 14 anos (MARCA AMBIENTAL, 2009).

Ao ser despejado no ralo, o óleo vai formando crostas de gordura na tubulação residencial e nas redes de esgoto, causando entupimentos e outros tipos de poluição, como poluição dos rios e dos solos. Segundo Mognato e Martins (2007) quando o óleo chega aos rios ele fica na superfície da água e dificulta a entrada da luz, a oxigenação das águas e altera o pH provocando mortes de animais, plânctons e vegetais, comprometendo toda a base da cadeia alimentar aquática. Quando atinge o solo, o óleo dificulta o escoamento da água das chuvas aumentando a ocorrência de enchentes, já que ele tem a capacidade de impermeabilizar o solo.

O óleo de cozinha é composto por substâncias muito agressivas e que oneram em quase 100% o tratamento do esgoto (RICCI; TEIXEIRA, 2007).

Levando em consideração todos os estragos que o óleo de fritura causa ao meio ambiente, é essencial mobilizar a sociedade na reeducação dos seus hábitos e dar um destino alternativo para este resíduo.

Uma forma de resolver este problema é fazer a coleta do óleo em locais de grande volume de descarte, como restaurantes, cozinhas industriais, redes de lanchonetes *fast food*, hotéis e hospitais. O óleo também pode ser coletado em grandes edifícios residenciais através da coleta seletiva. De acordo com Murta e Ribeiro (2007), na coleta seletiva um recipiente apropriado seria designado a receber o óleo utilizado na fritura e posteriormente seria coletado pelos catadores responsáveis. A coleta seletiva já é conhecida pela população, mas ainda é pouco incentivada.

O recolhimento do óleo de fritura deve ser efetuado com o equipamento necessário para que a coleta seja feita de forma segura e eficiente. Esta coleta pode ser feita por caminhões sugadores e coletores colocados em pontos estratégicos. O óleo coletado pode ser reutilizado de forma inteligente para a produção de Biodiesel.

2.1.4 Biodiesel

O Biodiesel é um biocombustível 100% renovável e alternativo ao diesel derivado do petróleo, capaz de fazer funcionar qualquer motor diesel, não havendo perda de potência e rendimento e sem a necessidade de se fazer qualquer alteração ou regulagem especial no equipamento (COELHO, 2007).

O processo mais utilizado para a produção do biodiesel é a transesterificação. Segundo Coelho (2007) e Martines *et al.* (2007), a transesterificação é feita a partir da reação química dos óleos vegetais (virgens ou de fritura) ou gorduras animais com o álcool comum (etanol) ou o metanol (álcool proveniente do gás natural ou do petróleo), estimulada por um catalisador.

A implantação do Biodiesel na matriz energética brasileira é de extrema importância para o país, principalmente em termos ambientais, pois além de dar um destino adequado ao óleo de fritura, sua utilização na frota veicular reduzirá drasticamente a emissão de gases poluentes (dióxido de carbono) contribuindo para a diminuição do efeito estufa e eliminando completamente o enxofre, que propicia a chuva ácida (MARTINES *et al.* 2007).

Em dezembro de 2004, foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), um programa que tem como objetivo implementar de forma sustentável, tanto técnica como economicamente, a produção e o uso do Biodiesel, dando ênfase a inclusão social e o desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda que ele proporciona. Num primeiro momento não ficou definido a obrigatoriedade da adição do biodiesel ao óleo diesel de petróleo vendido no Brasil, ficou apenas autorizado que as distribuidoras de combustíveis poderiam adicionar 2% do biocombustível em cada litro do diesel de petróleo vendido internamente (MELLO *et al.*, 2007).

Em 13 de janeiro de 2005, a lei nº 11.097, acabou estabelecendo a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor, em qualquer parte do território nacional. Esse percentual obrigatório é de 2% a partir deste ano, com elevação para 5% em 2013 (MARTINES *et al.*, 2007).

O biodiesel é biodegradável, contribui para a diminuição do aquecimento global além de não corrosivo, não polui e nem produz fuligem no meio ambiente. Além de ser ambientalmente correto, o biodiesel é um combustível sustentável, capaz de auxiliar efetivamente na obtenção de um transporte com qualidade e que diminua a poluição.

2.2 Sistema de Informação Geográfica – SIG

Os Sistemas de Informações Geográficas – SIG podem ser definidos como uma coleção organizada de *hardware*, *software*, dados geográficos e alfanuméricos, projetados para eficientemente, capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar informações referenciadas geograficamente. Constitui-se basicamente em um mapeador temático automatizado, onde as informações obtidas são organizadas em camadas (*layers*) e tais características se unem à potencialidade dos bancos de dados automatizados. Ainda, um SIG pode ser considerado como um tipo de sistema de informação que envolve de forma sistêmica e interativa bancos de dados, tecnologia e pessoal, sendo capaz de realizar análises espaciais, armazenar,

manipular, visualizar e operar dados georreferenciados para obtenção de novas informações (CÂMARA, 1994 apud FARKUH NETO, 2006).

Segundo Dantas *et al.* (1997), o SIG associa elementos de Tecnologia (equipamentos e programas), Banco de Dados (imagens, mapas, dados estatísticos, etc) e Pessoal (usuários treinados, manutenção e suporte técnico), que se interagem para a manipulação de dados através de procedimentos computacionais. Entretanto, o fator diferenciador em relação aos outros sistemas de informação, é a capacidade de processar análises espaciais.

De acordo com Nazário [s.d.], SIG é mais que uma ferramenta que associa banco de dados a mapas digitalizados, é necessário que exista pessoal qualificado, um objetivo no seu uso e integração com outras áreas dentro da organização. Portanto, SIG é uma coleção organizada de *software*, *hardware*, dados geográficos e pessoal qualificado, para facilitar o processo de tomada de decisão que envolve o uso de informações georreferenciadas na organização.

Um SIG pode conter informações sobre diversas áreas do conhecimento, assim é considerada uma valiosa ferramenta para ciências naturais, sociais, médicas e engenharia, assim como para planejamentos e empresas (CASTRO, 2006).

2.2.1 Aplicações de SIG

O SIG, baseado no seu aspecto de multidisciplinaridade, tem sua aplicação em diversas áreas, tais como: planejamento urbano, geografia, agronomia, ambiental, florestal, engenharia, processamento de dados, pesquisas operacionais, arquitetura e urbanismo, gerenciamento de serviços, engenharia de transportes e outros (ROSE, 2001).

Câmara *et al.* (1996) classificam as aplicações de Sistemas de Informações Geográficas em sócio-econômicas, ambientais e de gerenciamento.

- Sócio-econômicas

As aplicações sócio-econômicas são aquelas que envolvem o uso da terra, os seres humanos e a infra-estrutura existente. Podem ser realizadas com o objetivo de planejamento (análise preliminar) ou, avaliação de mudanças em uma região em resposta a uma determinada política (análise posterior). Dentre as aplicações sócio-econômicas, podem-se distinguir os seguintes grupos de origem:

- a) Uso da terra, que incluem cadastros rurais, agroindústria e irrigação;
- b) Ocupação humana, composta por cadastros urbanos e regionais, sistemas de serviço de utilidade pública;
- c) Atividades econômicas que envolvem marketing e indústrias.

- Ambientais

São as aplicações que visam o meio ambiente e o uso de recursos naturais. São divididas em dois grupos de origem:

- a) Meio ambiente, que trata da ecologia, clima, gerenciamento florestal e poluição;
- b) Uso dos recursos naturais, que trata do extrativismo vegetal e mineral, energia, recursos hídricos e oceânicos.

- Gerenciais

Aplicações gerenciais envolvem a realização de estudos e projeções que determinam onde e como alocar recursos para remediar problemas ou garantir a preservação de determinadas características. Cada vez mais administrações municipais, regionais e nacionais têm utilizado SIG como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisões, tanto para a definição de novas políticas de planejamento quanto para a avaliação de decisões tomadas. Exemplo desta classe de aplicação:

- a) Planejamento de tráfego urbano, incluindo roteamento de transporte coletivo, roteamento de coletas de lixo e outros.
- b) Planejamento e controle de obras públicas.
- c) Planejamento de defesa civil.

Segundo Castro (2006), no ano de 1990 o Sistema de Informação Geográfica começou a ser aplicado também na área de transporte, com a resolução de problemas de logística, como por exemplo, roteirização de veículos.

As aplicações do SIG na área de transporte são bastante comuns e alguns SIG's são desenvolvidos especificamente para esta área, são os denominados SIG -T.

2.2.2 SIG – T (Sistema de Informação Geográfica para Transporte)

Hoje em dia o mercado dispõe de um número razoável de aplicativos computacionais com aplicações em transportes, os chamados SIG – T. São aplicativos computacionais compostos por rotinas logísticas de localização de facilidades, roteirização e programação de veículos, aplicações em monitoramento e controle do tráfego, oferta e demanda de transportes, prevenção de acidentes, dentre outras (MAPA, 2005).

Um SIG-T pode ser considerado como um SIG melhorado, pois permite a utilização conjugada de ferramentas computacionais com informações geográficas que executam análise de sistemas automáticos de localização de veículos e sistemas inteligentes de serviços de transportes. A melhoria necessária ao SIG consiste na estruturação dos Bancos de Dados de atributos, de forma a fornecer dados de localização e referência consistentes e compatíveis (BRITO, 2006 e MILLER; SHAW, 2001).

Segundo Dantas *et al.* (1997) as primeiras aplicações do SIG-T aconteceram na década de 50, nas cidades americanas de Detroit e Chicago, cujo principal objetivo era representar fluxos de tráfego e armazenar dados de forma organizada. A partir da década de 80, o crescimento no setor industrial e comercial do SIG e a diminuição dos recursos disponíveis para pesquisas fizeram com que houvesse um desenvolvimento significativo nas aplicações que passaram a transformar dados numéricos em novas informações, possibilitando previsões de situações futuras.

Dentre as diversas utilizações de um SIG-T, pode-se destacar que ele é utilizado na criação e personalização de mapas, na construção e manutenção de banco de dados geográficos e em análises espaciais (BRITO, 2006).

De acordo com Brito (2006), um SIG-T pode proporcionar: um núcleo de SIG potente dispendo de extensões especiais para transportes (AutoCAD, MapInfo, ESRI, BTS NTAD, Tiger-line, etc.), recursos de mapeamento e visualização criados para aplicações de transportes e módulos de aplicativos de roteirização, previsão de demanda de viagens e modelo de localização.

Ainda segundo Brito (2006), um SIG-T pode proporcionar funções de mapeamento para aplicações em transportes, como:

- representação automática de sentido de tráfego de vias;
- rótulos dinâmicos de mapas ajustáveis aos mapas;
- símbolos de identificação de rodovias;
- mapas de sistemas de rotas, disponibilizando-as de maneira superposta ou lado a lado;
- mapas de linhas de desejo, representando fluxos de deslocamento origem destino entre as diversas regiões analisadas.

Muitos são os aplicativos computacionais desenvolvidos especificamente para a área de transporte, como por exemplo, o TransCAD, o Trucks, o Truckstops, o Roadshow, o ROTAcerta, o ArcLogistics Route, entre outros.

Dentre os aplicativos computacionais encontrados no mercado foi utilizado para a resolução do problema proposto o *software* TransCAD, que é um programa do tipo SIG-T criado pela Caliper Corporation.

O TransCAD é um Sistema de Informação Geográfica projetado especificamente para o planejamento, gerenciamento, operação e análise dos sistemas de transportes (CALIPER, 1996).

O aplicativo computacional TransCAD possui um módulo específico que resolve vários tipos de problemas de roteirização de veículos, atuando na fase preliminar de preparação dos dados, na resolução do problema e na elaboração das rotas. Os resultados são apresentados tanto na forma de relatório quanto na forma gráfica (FARKUH NETO, 2006).

De acordo com Pelizaro (2000), as características que podem ser levadas em consideração pelo TransCAD no procedimento de resolução dos problemas de roteirização de veículos são:

- i) Múltiplos depósitos – antes de iniciar a roteirização é possível determinar quais as paradas que serão atendidas por um determinado depósito; ou deixar que o próprio sistema se encarregue de alocar as paradas ao depósito mais adequado.
- ii) Janela de tempo rígida – são todas as paradas em função de restrições de horários de atendimento. Pode ser também atribuída ao depósito, em função do seu horário de funcionamento, ou em função da jornada de trabalho do motorista.
- iii) Tempo fixo de serviço – corresponde ao somatório de tempo utilizado em cada parada, independente da quantidade de produto (ou serviço) demandada. É considerado, por exemplo, como um tempo de espera em filas para descarregar o veículo, ou o tempo para colocar o veículo em uma doca de descarga e verificar a mercadoria.
- iv) Tempo por unidade – tempo utilizado para descarregar (ou carregar) cada unidade da mercadoria demandada.
- v) Restrição de comprimento total da rota – corresponde ao tempo máximo permitido para realizar uma rota.
- vi) Frota heterogênea de veículos – considera veículos de diferentes capacidades.
- vii) Coleta e Entrega Simultânea – realiza as coletas e entregas simultaneamente.

Para a resolução do problema de Coleta e Entrega Simultânea com Janela de Tempo no aplicativo computacional TransCAD, três importantes passos precisam ser

seguidos: preparar a entrada dos dados, criar a matriz de roteirização e resolver o problema de roteirização de veículos.

Na etapa de preparação dos dados de entrada, são criados arquivos geográficos com a localização dos clientes e do depósito e a tabulação dos seus respectivos dados.

Depois de inseridos todos os dados nos arquivos geográficos, é utilizado o procedimento *Vehicle Routing Matrix* para criar a matriz de distâncias entre o depósito e os clientes e entre os clientes.

Na etapa de resolução do problema de roteirização de veículo é utilizada a rotina *Vehicle Routing with Time Windows*. Dentre os quatro modos de operação encontrados nesta rotina, é utilizado para a solução do problema o modo *Mixed Pickup and Delivery*, pois este modo realiza coletas e entregas simultaneamente, respeitando a restrição de janela de atendimento. Quando esta restrição é utilizada, o aplicativo computacional garante que as rotas geradas são realizadas apenas durante a janela de tempo disponível do depósito e dos clientes.

2.3 Problemas de Roteirização de Veículos

2.3.1 Definição

Roteirização de veículos é um processo para elaboração de rotas ou seqüências de paradas a serem cumpridas por veículos de uma frota, tendo como objetivo visitar vários clientes geograficamente dispersos, ao menor custo possível (RIGO; ROSA, 2008).

Segundo Laporte *et al.* (2000) o problema de roteirização de veículo (PRV) consiste em definir roteiros de veículos que minimizem o custo total de atendimento, cada um dos quais iniciando e terminando no depósito ou base dos veículos, assegurando que cada cliente seja visitado exatamente uma vez e a demanda total de qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que a atende.

Para Bodin *et al.* (1983) o problema básico de roteirização é fácil de explicar. Determina-se um conjunto de nós ou arcos para ser atendidos por uma frota de veículos. Não há nenhuma restrição de quando ou em que ordem estas entidades devem ser servidas. O problema é encontrar um custo mínimo para possíveis grupos, sendo que cada grupo terá uma única rota para cada veículo, onde rota é uma sucessão de locais que um veículo deve visitar junto com uma indicação do serviço previsto.

Segundo Arenales *et al.* (2007) problemas de roteirização de veículos têm um papel fundamental na área de gerenciamento da distribuição e logística. São projetos de rotas de entrega e/ou coleta de custo mínimo, partindo de um ou mais depósitos para um número de clientes, sujeito a restrições adicionais.

Grande parte dos PRV envolve situações reais que afetam principalmente a indústria, o comércio, a saúde pública, a segurança e o lazer.

Atualmente, com a evolução dos recursos computacionais para resolver problemas complexos, o PRV tem recebido uma maior atenção por parte de muitos autores da área de Pesquisa Operacional. Goldberg e Luna (2000) abordam as principais aplicações práticas do PRV, dentre elas, podem-se destacar: distribuição de jornais, de bebidas, de alimentos, de derivados do petróleo, de gás, de material fotográfico, de pão, de produtos químicos, de recolhimento de leite e de vagões ferroviários.

O PRV é o principal problema logístico associado às redes de transportes. Antes de abordar os principais tipos de PRV é necessário introduzir alguns conceitos ligados à rede de transportes.

2.3.2 Rede de Transportes

Uma rede de transportes pode ser definida matematicamente, como sendo um grafo $G(N, A)$ constituído por um conjunto finito N de vértices e um conjunto finito A de arestas que interligam pares de vértices, como mostra a Figura 1 (NOVAES, 1989 e BOAVENTURA; JURKIEWICZ, 2009).

A notação utilizada para representar uma aresta que liga os vértices i e j de uma rede é (i,j) .

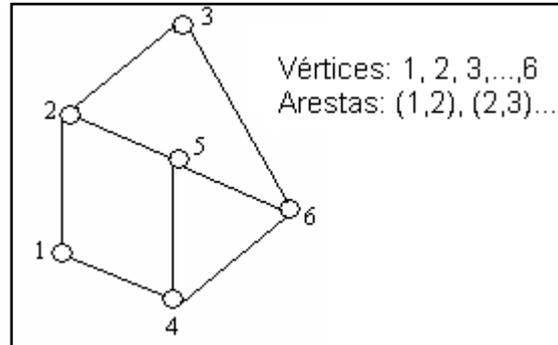


Figura 1 - Rede de Transporte Representada por um Grafo
Fonte: Novaes (1989).

Se a todas as arestas (linhas) de uma rede for associado um sentido, ou seja, para qual direção ela segue (que usualmente é mostrado por uma seta), o grafo resultante é denominado de **grafo orientado**, como mostra a Figura 2. Neste caso, essas linhas são chamadas de arcos (NOVAES, 1989 e BOAVENTURA; JURKIEWICZ, 2009).

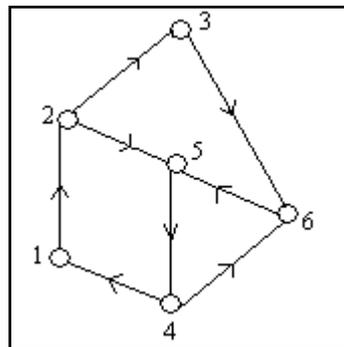


Figura 2 - Grafo Orientado
Fonte: Novaes (1989).

Observando o grafo orientado da Figura 2, percebe-se que a representação do arco que liga os vértices 5 e 6 é $(6,5)$. Não existe a representação $(5,6)$, pois está associada ao arco uma direção de fluxo definido.

Para Boaventura e Jurkiewicz (2009), se todas as linhas não possuem indicação de direção, então elas são chamadas de arestas e, o grafo é dito **não orientado** (Figura 3).

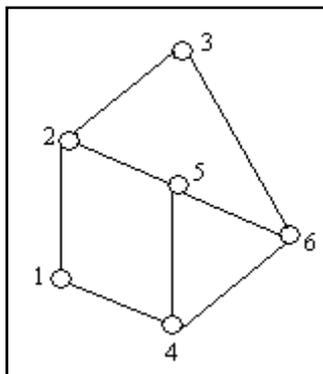


Figura 3 - Grafo não Orientado
Fonte: Novaes (1989).

Quando ocorrem linhas direcionadas e linhas sem indicação de direção, ou seja, se o grafo for composto tanto por arcos como por arestas, então o grafo é denominado de **grafo misto**, como mostra a Figura 4 (NOVAES, 1989).

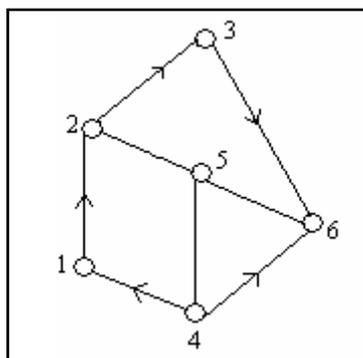


Figura 4 - Grafo Misto
Fonte: Novaes (1989).

2.3.3 Tipos de Problemas de Roteirização de Veículos

De acordo com Novaes (1989), a roteirização de veículos pode ser classificada em dois tipos de problemas: problemas envolvendo coberturas de vias (arcos) e problemas envolvendo cobertura de nós.

a) Problema Envolvendo Cobertura de Vias

Segundo Eiselt et al (1995), nos problemas de roteirização em arcos (ARPs), o objetivo é determinar o menor custo de travessia sobre um conjunto de arcos especificados de um grafo, com ou sem restrições.

O Problema de cobertura de vias ou arcos aparece em diversas aplicações práticas, tais como: entrega domiciliar de jornais, dimensionamento de serviços de coleta domiciliar de lixo, entrega domiciliar de jornais, dimensionamento de equipes para entrega postal (correio), etc.

Um problema que se destaca como clássico entre os problemas envolvendo coberturas de vias é o Problema do Carteiro Chinês.

O Problema do Carteiro Chinês (PCC)

O PCC é um problema de otimização, onde o veículo (ou o indivíduo) deve sair de um nó e voltar a ele passando por todos os arcos do grafo uma única vez, objetivando minimizar a extensão total percorrida.

O problema é baseado em um único depósito e o veículo deve sair e retornar a mesma base. No problema não há restrição de capacidade de veículo e a demanda é determinística.

b) Problema Envolvendo Cobertura de Nós

Os Problemas envolvendo coberturas de nós são aqueles em que o objetivo é combinar os nós em rotas, buscando o trajeto com o menor custo (minimizar percurso, custo total de viagem, tempo, etc.). É necessário observar as restrições de capacidade do veículo e a carga de trabalho dos funcionários (LACERDA, 2003).

Dois problemas se destacam como clássicos entre os problemas envolvendo coberturas de nós: o Problema do Caixeiro Viajante (Traveling Salesman Problem) e o Problema de Roteirização com um único depósito e vários veículos (PRV).

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV)

O PCV consiste em determinar uma única rota de custo mínimo que visite todos os nós uma única vez. “[...] Originalmente esse problema foi formulado da seguinte forma: existem N pontos (nós) numa rede; o caixeiro viajante deve partir de uma base e visitar os N pontos da rede pelo menos uma vez, retornando, ao fim para o ponto de partida” (NOVAES, 1989, p.256). O problema pode ser classificado como um problema de roteirização em nós, não há restrições de capacidade de veículos, e a demanda é determinística.

Segundo Goldberg e Luna (2000), o PCV é um problema de otimização associado à determinação dos caminhos denominados hamiltonianos. Sua origem advém de Willian Rowan Hamilton que propôs um jogo que era feito sobre um dodecaedro, onde cada vértice representava uma cidade importante da época. O desafio consistia em encontrar uma rota através dos vértices de um dodecaedro de tal modo que a rota iniciasse e terminasse no mesmo vértice, sem nunca repetir uma visita. O objetivo do PCV é encontrar, em um grafo $G = (N,A)$, o caminho hamiltoniano de menor custo.

O grafo do problema e uma das possíveis soluções do jogo são apresentados na Figura 5.

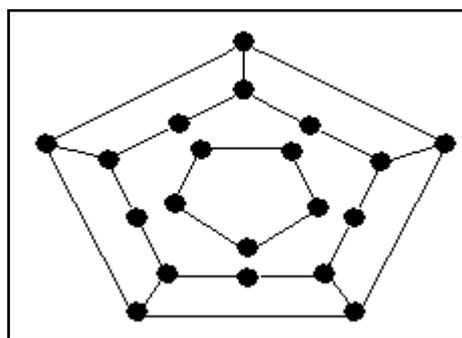


Figura 5 - Grafo do problema hamiltoniano
Fonte: Goldberg e Luna (2000).

Existem diversas formulações para este problema. A formulação apresentada por Goldberg e Luna (2000) é a formulação de Dantzig, Fulkerson e Johnson, onde o PCV é apresentado como um problema de programação binária sobre um grafo $G = (N,A)$ da seguinte forma:

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

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset N \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N \quad (4)$$

A variável binária x_{ij} assume valor igual a 1, se o arco $(i,j) \in A$ for escolhido para integrar a solução, e 0 em caso contrário. Já c_{ij} corresponde ao custo associado ao arco (i,j) , e S é um subgrafo de G em que $|S|$ representa o número de vértices desse subgrafo. As restrições (1) e (2) garantem que cada vértice seja visitado uma única vez. O conjunto de restrições (3) impede que haja formação de subtours.

Segundo Novaes (1989), muitos problemas práticos de Logística são resolvidos através do Problema do Caixeiro Viajante. Como exemplo, pode-se citar os sistemas de distribuição física de produtos, onde as zonas contêm um certo número de pontos para coleta e/ou entrega. Assim, é necessário que se faça um roteiro de visita desses pontos, seguindo uma ordem lógica, que minimize a quilometragem e o tempo de percurso do veículo. Do mesmo modo, em casos em que se programam o serviço (consertos, ligações de luz, etc.) é necessário definir um roteiro das visitas a serem realizadas num dia.

Roteirização com um Único Depósito e Vários Veículos (PRV)

Segundo Belfiore (2006), o clássico problema de Roteirização de veículos (PRV) tem como objetivo encontrar um conjunto de rotas com o menor custo possível (minimizar custo total de viagem, distância total percorrida, etc.) onde cada rota inicia e termina no depósito, cada cliente pertence somente a uma rota e a demanda de todos os nós deve ser atendida.

Uma formulação básica do problema de roteirização de veículos é apresentada por Arenales *et al.* (2007) e está detalhada a seguir:

Seja $G=(N,E)$ um grafo orientado completo em que $N=C \cup \{0, n+1\}$, $C = \{1, \dots, n\}$ é o conjunto de nós que representam os clientes, e $0, n+1$ são os nós que representam o depósito. O conjunto $E = \{(i, j) : i, j \in N, i \neq j, i \neq n+1, j \neq 0\}$ corresponde aos arcos associados às conexões entre nós. Todas as rotas começam em 0 e terminam em $n+1$ e nenhum arco termina no nó 0 e nenhum arco começa no nó $n+1$. A cada arco $(i, j) \in E$ está associado um custo c_{ij} e um tempo de viagem t_{ij} que inclui o tempo de serviço do cliente i . Cada cliente i tem uma demanda d_i . No depósito há um conjunto k de veículos idênticos, onde cada veículo $k \in K$ tem capacidade Q . O objetivo é minimizar o custo total das viagens, sujeito as seguintes restrições:

- a) Cada rota inicia e termina no depósito,
- b) Cada cliente pertence somente a uma rota,
- c) A demanda total de uma rota não pode exceder a capacidade Q do veículo,
- d) O tempo de viagem de uma rota não pode exceder o limite D .

Definição das variáveis

$$x_{ijk} = 1 \text{ se o veículo } k \text{ percorre o arco } (i, j), \forall k \in K, \forall (i, j) \in E$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ caso contrário}$$

Tem-se a seguinte formulação:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(ij) \in E} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1, \forall i \in C \quad (2)$$

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq Q, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} t_{ij} x_{ijk} \leq D \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0,jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ihk} - \sum_{j \in N} x_{hjk} = 0, \quad \forall h \in C, \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,n+1,k} = 1, \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad S \subset C, 2 \leq |S| \leq \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor, \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$x \in B^{K \setminus E} \quad (9)$$

A função objetivo (1) representa a minimização do custo total da rota.

A restrição (2) garante que cada cliente i seja visitado por apenas um veículo.

A restrição (3) impõe que a demanda total de cada rota do veículo k não excede a capacidade Q do veículo.

A restrição (4) garante que a duração de cada rota do veículo k não excede o limite D .

As restrições (5), (6) e (7) representam restrições de fluxo em redes, que exigem que cada veículo k parta do depósito (nó zero) somente uma vez, deixe o nó h se e somente se entrar neste nó, e retorne ao depósito (nó $n+1$) somente uma vez.

A restrição (7) é redundante, mas é mantida no modelo para enfatizar a estrutura de redes.

O conjunto de restrições (8) garante que não sejam formadas sub-rotas, e a restrição (9) indica que x é uma variável binária, B representa o espaço dos vetores com componentes binários.

Se o número de veículos no modelo for um parâmetro fixo ou um limitante superior igual a k , remova o arco $(0, n+1)$. Caso contrário, se o número de veículos é uma variável, atribua um custo c_v a cada veículo usado. Isto é feito impondo-se $c_{0,n+1} = -c_v$. Se c_v é grande, o modelo primeiramente minimiza o número de veículos e, em segundo lugar, minimiza o custo de viagem.

Para resolver problemas de roteirização com um único depósito e vários veículos, pode-se utilizar um método bastante eficaz, o método de Clarke e Wright (1964). Esse método se baseia no conceito de “ganho” e pode ser obtido ao se ligar dois nós de forma sucessiva num roteiro (NOVAES, 1989).

Método de Clarke e Wright

A heurística de economia de Clarke e Wright (1964) tem sido muito utilizada e tem apresentado bons resultados durante anos. O método tem a flexibilidade de resolver uma ampla coleção de restrições práticas e com a vantagem de ser rápido em termos computacionais (BALLOU, 2006).

O objetivo do método de economias é minimizar a distância total percorrida por todos os veículos e indiretamente minimizar o número de veículos necessário para servir a todas as paradas. O método gera roteiros que respeitam as restrições de tempo (duração máxima da jornada de trabalho) e de capacidade (BALLOU, 2006).

De acordo com Belfiore (2006), as restrições básicas do problema são:

- Cada rota inicia e termina no depósito;
- Cada cliente pertence somente a uma única rota;
- A demanda de cada cliente não pode exceder a capacidade do veículo.
- A demanda de todos os clientes de uma rota não pode exceder a capacidade do veículo;
- O tempo total de um roteiro não pode exceder a duração máxima da jornada de trabalho do motorista.

O algoritmo de Clarke e Wright constitui um modelo heurístico baseado na abordagem das economias (*saving*).

O método de Clarke e Wright inicia com a pior situação, ou seja, aquela em que o veículo sai e retorna ao depósito para atender um único cliente. Suponha que dois clientes y e z sejam atendidos, cada um por um único veículo e considere que as distâncias entre o depósito (0) e os clientes y e z seja representada por $d_{0,y}$ e $d_{0,z}$. Assim, a distância total percorrida pode ser definida como: $D = d_{0,y} + d_{y,0} + d_{0,z} + d_{z,0}$.

Uma forma de minimizar a distância total D seria juntar os dois clientes y e z em um único roteiro. A distância total percorrida passaria a ser: $D' = d_{0,y} + d_{y,z} + d_{0,z}$.

Logo, a economia gerada pela junção dos clientes em um único roteiro seria: $s_{y,z} = D - D' = d_{0,y} + d_{0,z} - d_{y,z}$. Esse cálculo é feito para todas as combinações de paradas.

Existem duas versões da heurística de Clarke e Wright, uma paralela e outra seqüencial. A seguir é descrito o algoritmo completo de Clarke e Wright.

Passo 1: Combinar todos os clientes dois a dois e utilizando a fórmula $s_{y,z} = d_{0,y} + d_{0,z} - d_{y,z}$, calcular a economia para cada combinação.

Passo 2: Listar as economias em ordem decrescente.

Passo 3: Começar do topo da lista, com a combinação que gerou maior ganho.

Os três primeiros passos são comuns para as duas versões, mas a partir deste momento, o modelo de Clarke e Wright pode seguir dois caminhos: versão paralela ou versão seqüencial.

Versão Paralela

Passo 4: Se, ao ligar os pares de nós y e z , o resultado for uma rota factível que atenda as restrições do problema, fazer a união; caso contrário, elimine-a.

Passo 5: Se ainda houver economia, tentar a união com o próximo par de nós da lista e voltar ao passo anterior. Se não houver mais economias, o algoritmo termina.

Versão Seqüencial

Passo 4: Se, ao ligar os pares de nós y e z , o resultado for uma rota factível que atenda as restrições do problema, fazer a união e ir para o passo 6. Senão vá para o passo 5.

Passo 5: Se a rota não puder mais ser estendida, resultando em uma rota inactível, terminar a rota e iniciar uma nova rota com o par de nós do passo 4.

Passo 6: Repetir os passos 4 e 5 enquanto houver alguma economia na lista.

Muitos dos principais problemas clássicos de roteirização de veículos são variações ou extensões dos problemas clássicos do Caixeiro Viajante, do Carteiro Chinês e do PRV e serão apresentados a seguir.

2.3.4 Problemas Clássicos de Roteirização de Veículos

Este item apresenta os principais problemas clássicos de roteirização de veículos com base nos trabalhos de Bodin et al. (1983), Goldberg e Luna (2000) e Belfiore (2006).

- **O Problema de Roteirização de Veículos com Demanda em Arcos (CARP)**

É uma generalização do Problema do Carteiro Chinês, onde há restrição de capacidade dos veículos, e é também uma variação do Problema de Roteirização de Veículos, no qual os clientes estão localizados em arcos em vez de nós.

- **O Problema do Caixeiro Viajante Múltiplo (PCVM)**

O PCVM é uma extensão do problema do caixeiro viajante, porém, ao invés de um único roteiro, determinam-se múltiplos roteiros. O problema consiste em obter r roteiros associados a r caixeiros, todos iniciando e terminando na mesma cidade, de tal forma que todas as cidades sejam visitadas uma única vez a um custo mínimo.

Neste problema não há restrição da capacidade de veículos e a demanda é determinística.

- **Roteirização com Vários Depósitos e Vários Veículos.**

O Problema de Roteirização de Veículos com Múltiplos Depósitos é uma generalização do problema clássico de roteirização, onde, ao invés de um único depósito e vários veículos, há múltiplos depósitos. Os veículos devem sair e retornar a um depósito entre os depósitos existentes.

- **Roteirização de Veículos com Depósito Único, Vários Veículos e Demanda Estocástica.**

Segundo Bodin et al. (1983), este problema é uma variação do problema clássico de roteirização de veículos, exceto pela demanda não ser conhecida com certeza, podendo ser originada de uma distribuição de probabilidades específicas.

- **Problema do Carteiro Rural (PCR).**

O Problema do Carteiro Rural é muito semelhante ao problema do Carteiro Chinês, a diferença está no fato de quem nem todos os segmentos da rede de atendimento têm demanda por serviço, o que não obriga seu percurso. A denominação do problema é derivada da semelhança existente com o tipo de percurso realizada por um carteiro em uma zona rural.

Além desses problemas clássicos de roteirização de veículos baseados no trabalho de Bodin *et al.* (1983) e Goldberg e Luna (2000), para Belfiore (2006) outros problemas clássicos de roteirização de veículos são encontrados na literatura.

- ❖ Problema de Roteirização de Veículos com Entregas Fracionadas.
- ❖ Problema de Dimensionamento e Roteirização de uma Frota Homogênea de Veículos.
- ❖ Problema de Roteirização de Veículos com Frota Heterogênea Fixa.
- ❖ Problema de Dimensionamento e Roteirização de uma Frota de Veículos Heterogênea.
- ❖ Problema de Roteirização de Veículos Multi-Período ou Periódico.
- ❖ Problema de Roteirização de Veículo com Tempo Dependente.

- ❖ Problema de Roteirização (e Programação) de Veículos com janelas de tempo.
- ❖ Problema de Roteirização (e Programação) de Veículos com Janela de Tempo Flexível.
- ❖ Problema de Coleta e entrega.

O problema apresentado neste trabalho é denominado como um problema de coleta e entrega, que é um problema de roteirização envolvendo cobertura de nós.

2.4 Problema Geral de Coleta e Entrega

Segundo Savelsbergh e Sol (1995), o Problema Geral de Coleta e Entrega (*General Pickup and Delivery Problem - GPDP*) consiste em construir um conjunto de rotas de forma a satisfazer um conjunto de demandas de transporte. Existe uma frota de veículos disponíveis para atender estas rotas. Cada veículo tem uma determinada capacidade e a posição final e inicial dos veículos é informada.

Ainda segundo Savelsbergh e Sol (1995), cada pedido de transporte especifica o tamanho da carga a ser transportada, os locais onde se farão os carregamentos (origem) e os locais onde se farão os descarregamentos (destinos). Cada carga tem que ser transportada por um veículo da origem até o seu destino, sem nenhum carregamento e/ou descarregamento em outros locais.

Para Assis (2007), no Problema Geral de Coleta e Entrega cada consumidor possui demandas de coleta e entrega. As demandas de coleta especificam a carga total a ser coletada pelo veículo e informam em quais consumidores essa carga deve ser entregue posteriormente. As demandas de entrega especificam a carga total a ser entregue e informam em quais consumidores ela deve ter sido coletada anteriormente. Assim, existe uma regra de precedência entre consumidores, pois para satisfazer uma demanda de entrega o veículo deverá satisfazer anteriormente a respectiva demanda de coleta.

São encontradas na literatura classificações distintas, porém similares, para o problema de coleta e entrega. Dentre elas pode-se citar: Savelsbergh e Sol (1995), Nagy e Salhi (2005), Montané e Galvão (2006), Berbeglia et al. (2007), Parraght et al. (2008) e Subramanian (2008).

Esta dissertação adota uma classificação mista baseada na classificação utilizada pelos autores Savelsbergh e Sol (1995), Parraght et al. (2008) e Subramanian (2008). Assim, têm-se os seguintes problemas:

2.4.1 Problema de Coleta e Entrega (*Pickup and Delivery Problem – PDP*)

Para Savelsbergh e Sol (1995), no PDP cada pedido de transporte especifica apenas uma origem e um respectivo destino e todos os veículos partem e retornam de um depósito central, após cumprir um roteiro atendendo um ou mais pedidos. Neste caso, podem ser realizados vários carregamentos ou descarregamentos consecutivos, apenas respeitando a restrição de que, para se fazer um descarregamento, em um ponto de destino, tem que ter havido o carregamento no respectivo ponto de origem (SOUZA, 1999).

Segundo Parraght et al. (2008), no Problema de Coleta e Entrega qualquer requisição de transporte é associada com um único ponto de coleta e/ou entrega.

A Figura 6 demonstra uma situação em que quatro mercadorias são recolhidas em localidades distintas e entregues em diferentes destinos.

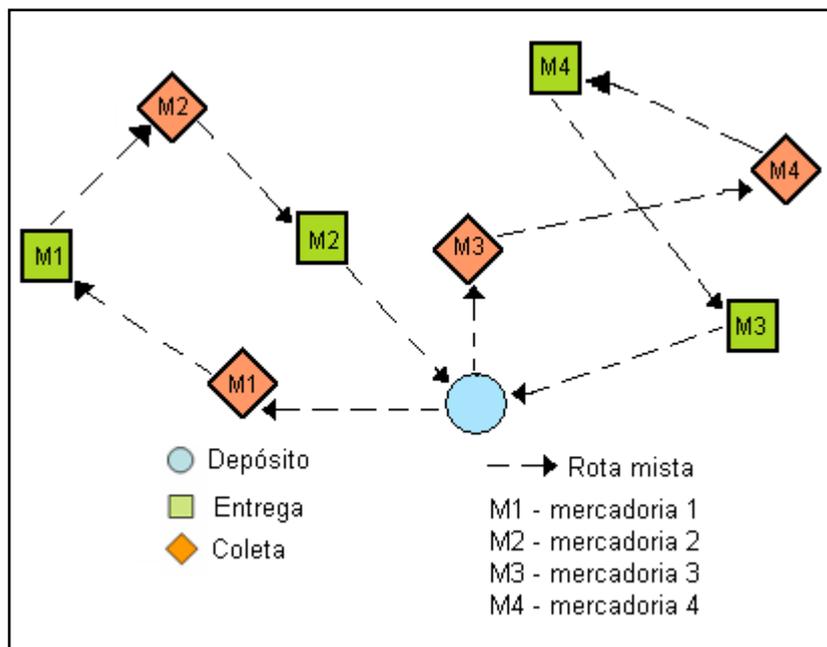


Figura 6 -Problema de Coleta e Entrega
 Fonte: Adaptado Subramanian (2008).

Uma variação do PDP muito utilizada é o Problema de Coleta e Entrega com Restrição de Janela de Tempo (*Pickup and Delivery Problem with Time Windows – PDPTW*). O PDPTW é um problema onde os veículos que realizam a coleta e a entrega têm restrições de horário para poder realizar o serviço. O atendimento ao cliente só pode acontecer dentro de um determinado intervalo de tempo, ou seja, uma determinada janela de atendimento ou janela de tempo.

Segundo Ropke e Pisinger (2006), o PDPTW é um problema de transporte onde é usada uma quantidade limitada de veículos e cada pedido tem um ponto de coleta e um ponto de entrega. O objetivo do problema é construir uma única rota que visite todos os locais de coleta e entrega e que satisfaçam restrições de janela de tempo e de capacidade.

Para o PDPTW para um único veículo, Van der Bruggen et al. (1993) desenvolveu um algoritmo heurístico de pesquisa local de duas fases. A fase de construção começa com uma rota inicial obtida visitando os locais em ordem crescente de centros da janela de tempo, enquanto leva em conta, a restrição de capacidade. A

rota inicial pode ser em um tempo inviável e é feita possivelmente por interatividade, onde aplica uma função objetiva que penaliza a violação de janelas de tempo. As possíveis rotas obtidas são melhoradas na fase de construção e continuamente na fase de melhoria.

Landrieu *et al.* (2001) tratam o mesmo problema com busca tabu probabilística. O algoritmo foi testado em uma classe de casos gerados aleatoriamente. Resultados obtidos para o problema clássico do Caixeiro Viajante e para outros exemplos indicam que o algoritmo de aproximação apresentado pelos autores produz ótimas soluções em tempo de execução relativamente curto.

Joachim *et al.* (1995) propõem um algoritmo de aproximação para resolver PDPTW e múltiplos veículos. O algoritmo cria primeiro um conjunto de agrupamentos que reduz e resolve o PDPTW para múltiplos veículos usando geração de coluna. O problema do Caixeiro Viajante Múltiplo resolve os agrupamentos nas rotas finais. A aproximação proposta é testada em um conjunto de problema com até 250 clientes.

Li e Lim (2001) propõem uma metaheurística para resolver o PDPTW com múltiplos veículos. Primeiro, um ótimo local é encontrado baseado em três vizinhanças (*neighborhoods*), então, é aplicada a estratégia *Simulated Annealing* para fugir de ótimos locais e um procedimento *tabu* é usado para evitar ciclismo no processo de pesquisa. Os resultados experimentais de seis diferentes conjuntos de dados mostraram que a metaheurística é uma aproximação eficiente para resolver problemas de tamanho prático envolvendo múltiplos veículos, coleta e entrega e janela de tempo. Além disso, o algoritmo pode ser adaptado para resolver generalizações adicionais de PDPTW facilmente.

Lao e Liang (2002) apresentam um método de duas fases para o PDPTW e múltiplos veículos. Na primeira fase, uma nova heurística de construção moderna baseada em um processo de inserção padrão e um procedimento de varredura é aplicada para construir a solução inicial. Na segunda fase, é proposto um método de busca tabu para melhorar a solução. Os resultados experimentais mostram que o

método proposto produz boas soluções quando comparadas com as soluções encontradas na literatura.

Lu e Dessouki (2006) descrevem uma nova heurística de construção baseada em inserção para resolver o problema PDPTW e múltiplos veículos. A nova heurística não considera somente o custo de inserção, mas também o custo da redução da folga de janela de tempo devido às inserções. A heurística criada foi comparada com uma heurística de inserção e uma heurística paralela em problemas de diferentes níveis.

Ropke e Pisinger (2006) propõem uma heurística para resolver o PDPTW baseada em uma extensão da heurística de *Large Neighborhood*, chamada de *Adaptive Large Neighborhood Search*. A heurística é testada em mais de 350 exemplos com até 500 pedidos. O método, em 50% dos problemas, obteve melhores soluções quando comparado aos melhores resultados conhecidos na literatura. Os autores indicam que é vantajoso usar várias sub-heurísticas, ao invés de apenas uma.

Bent e Hentenryck (2006) apresentam um algoritmo híbrido de duas fases para resolver o PDPTW. A primeira fase utiliza um simples algoritmo *Simulated Annealing* para diminuir o número de rotas, enquanto a segunda fase usa *Large Neighborhood Search* para diminuir custo total de viagens. Resultados experimentais demonstraram a eficiência do algoritmo, que produziu novas e melhores soluções nos problemas com 100, 200, e 600 clientes. De um modo mais geral, os resultados indicaram que uma abordagem em duas fases, combinando *Simulated Annealing* e *Large Neighborhood Search*, produziu resultados de alta qualidade para o problema de roteirização de veículo.

Outros trabalhos da literatura que utilizam o Problema de Coleta e Entrega com Janela de Tempo são encontrados em: Minitrovic-Minic et al. (2004), Lu e Dessouki (2004), Yang et al. (2004), Kammarti et al. (2005), Tam e Tseng (2003), Hosny e Mumford (2007), Pisinger e Ropke (2007) e Gribkovskaia et al. (2007).

2.4.2 Dial-a-ride Problem (DARP)

O *Dial-a-ride Problem* é um PDP onde ao invés de cargas, há o transporte de pessoas, normalmente chamadas clientes. Neste tipo de transporte podem ser feitos vários carregamentos ou descarregamentos sucessivos e, normalmente, os veículos partem de um ponto central (SAVELSBERGH; SOL, 1995).

Segundo Subramanian (2008), no *Dial-a-ride Problem* o objetivo é a elaboração de rotas, a um custo mínimo, capazes de acomodar o maior número de passageiros sob certas condições restritivas. A Figura 7 demonstra uma situação em que quatro clientes são recolhidos em localidades distintas e entregues em diferentes destinos. Observa-se que os veículos partem e retornam ao depósito sem passageiros.

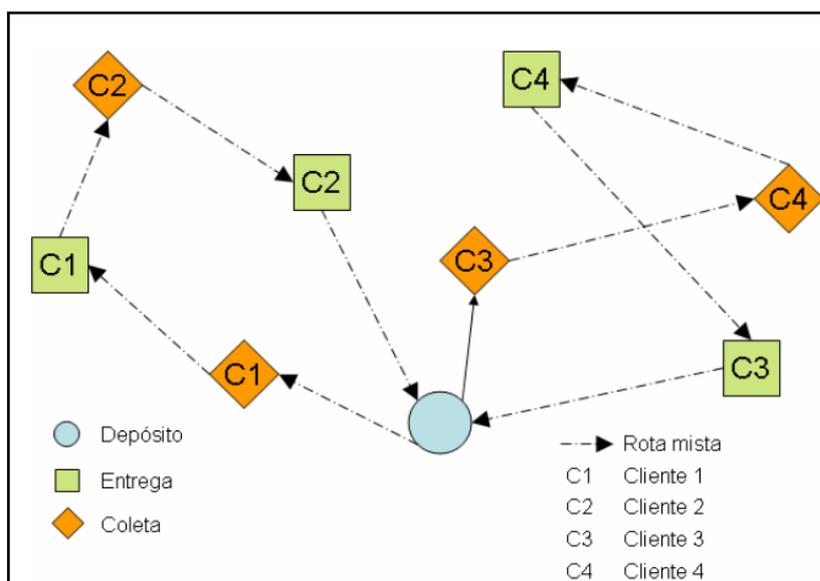


Figura 7 - Dial-a-ride Problem
Fonte: Subramanian (2008).

O *Dial-a-ride Problem* com um único veículo foi introduzido na literatura por Psaraftis (1980), ele desenvolveu um procedimento de otimização exato, baseado em Programação Dinâmica, para problemas envolvendo único-veículo, *many-to-many* e solicitações de problemas *dial-a-ride*. O procedimento foi dividido em duas partes: a primeira parte foca o caso dos problemas estáticos e a segunda parte, os problemas dinâmicos. No primeiro caso, as solicitações dos clientes que por ventura aparecem durante a execução da rota não serão consideradas. No segundo caso, as

solicitações são automaticamente consideradas em qualquer tempo que elas aparecem.

Psaraftis (1983) modificou o algoritmo de programação dinâmica exata desenvolvido para problemas envolvendo único veículo, *many-to-many* e problema *dial-a-ride*, onde cada consumidor tem suas características específicas. O objetivo é minimizar o tempo necessário para atender todos os clientes. A maior diferença entre os dois algoritmos é a adição da restrição de janela de tempo.

Jaw *et. al* (1986) adaptou o algoritmo de inserção tradicional ao problema de transportar pessoas (*dial-a-ride*) com múltiplos veículos e janelas de tempo. A heurística seleciona os clientes na ordem crescente do horário de início da coleta, insere o cliente selecionado em uma possível posição mais viável nas rotas existentes, ou acrescenta um veículo novo ao problema se nenhuma possível posição é achada.

Toth e Vigo (1997) descrevem uma rápida e eficaz heurística de inserção paralela para determinar o cronograma de transporte de deficientes utilizando uma frota de veículos heterogêneos. O problema pode ser considerado como um problema de coleta e entrega com janela de tempo, múltiplos veículos e com restrições operacionais adicionais da vida real. Os autores também apresentam um procedimento de busca tabu para melhorar a solução obtida pelo algoritmo de inserção. A abordagem proposta foi aplicada em um DSS (sistema de apoio à decisão) para planejar o cronograma de serviço de veículos para a cidade de Bolonha, na Itália.

Cordeau e Laporte (2003) descrevem uma heurística de procura tabu para o Problema *Dial-a-ride* com janela de tempo e múltiplos veículos. Usuários especificam os requisitos de transporte entre origem e destino, eles também podem manter uma janela de tempo no horário de partida ou de chegada. O transporte é suprido por uma frota de veículo baseada num depósito comum. O objetivo da heurística é minimizar o número de rotas e veículos a um custo capaz de acomodar todos os pedidos. As restrições encontradas são: capacidade de veículo, duração de rota e

tempo máximo de atendimento de cada usuário. Os autores propõem um procedimento novo de avaliação de critério de vizinhança e dão um extenso resultado computacional baseado na geração de conjunto de dados aleatórios.

Diana e Dessouky (2004) apresentaram uma heurística de inserção paralela para resolver o problema de larga escala *dial-a-ride* com janelas de tempo. Um procedimento novo de inicialização de rotas é implementado, onde os aspectos temporal e espacial do problema são observados para servir os pedidos dos clientes. O algoritmo proposto é testado em conjuntos de dados de 500 e 1000 pedidos, construído a partir de dados de um programa *dial-a-ride* de Los Angeles.

2.4.3 Problema de Roteirização de Veículo com Coleta e Entrega (*Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery – VRPPD*)

Para Savelsbergh e Sol (1995), o Problema de Roteirização de Veículo com Coleta e Entrega é uma extensão do PDP, em que todas as origens ou todos os destinos correspondem ao depósito. Não tem coletas e entregas entre os clientes.

A Figura 8 apresenta uma situação em que todas as origens ou todos os destinos correspondem ao depósito. Observe que não tem coletas e entregas entre os clientes.

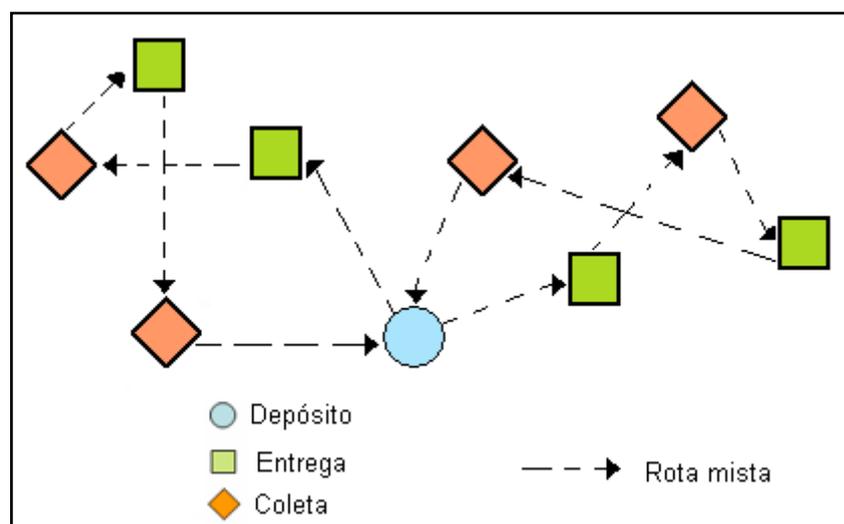


Figura 8 - Problema de Roteirização de Veículos com Coleta e Entrega
Fonte: Adaptado Subramanian (2008).

2.4.4 Problema de Roteirização de Veículos com Backhauls (*Vehicle Routing Problem with Backhauls – VRPB*)

Neste problema, os clientes são divididos em *linehauls* (clientes que recebem mercadorias) e *backhauls* (clientes que enviam mercadorias) e os veículos só podem pegar as mercadorias após terem acabado de entregar toda a sua carga, conforme mostra Figura 9.

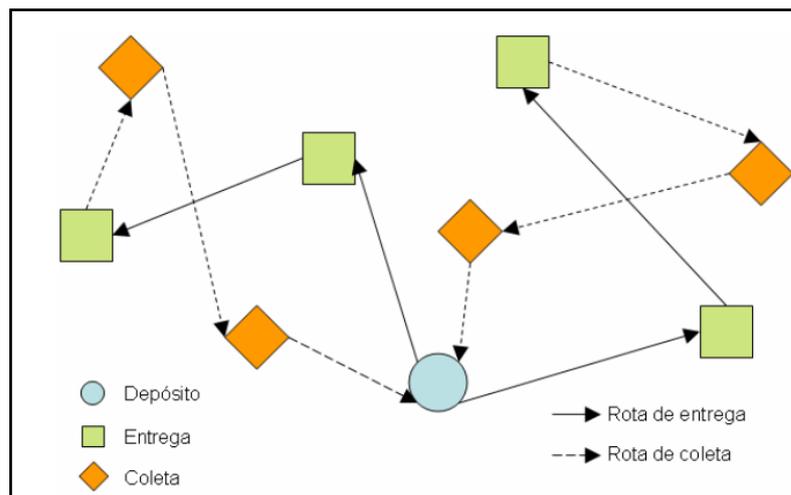


Figura 9 - PRV com Backhauls
Fonte: Subramanian (2008).

Toth e Vigo (2002) apresentaram uma ampla revisão sobre o Problema de Roteirização de Veículos com *Backhauls*.

Para o caso em que se considera um único veículo, Gendreau *et al.* (1996) propuseram seis procedimentos heurísticos de duas fases para solucionar o VRPB.

Para o caso de múltiplos veículos, Goetschalckx e Jacobs-Blecha (1989) desenvolveram uma heurística de duas fases. Outros algoritmos heurísticos foram desenvolvidos por Anily (1996), Toth e Vigo (1999), Thangiah *et al.* (1996).

2.4.5 Problema de Roteirização com Coleta e Entrega Particionada (*Vehicle Routing Problem with Divisible Pickup and Delivery – VRPDPD*)

Neste tipo de problema, os clientes demandam serviços de coleta e entrega e não apresentam restrições em serem visitados mais de uma vez.

Na Figura 10, cinco clientes apresentam demandas de coleta e entrega de mercadorias e aceitam ser visitados por veículos diferentes.

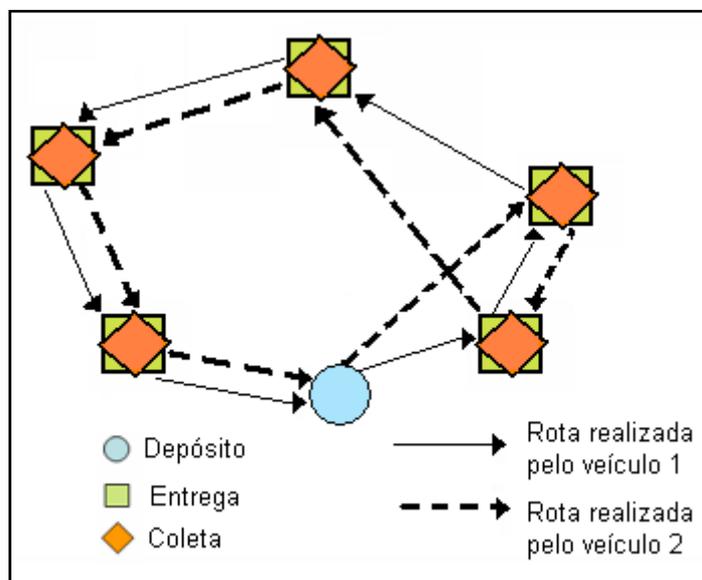


Figura 10 - Problema de Coleta e Entrega Particionada
 Fonte: Adaptado Subramanian (2008).

2.4.6 Problema de Coleta e Entrega Simultânea (*Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery - VRPSPD*)

Neste modelo os clientes podem simultaneamente receber e enviar mercadorias. O VRPSPD é uma extensão do Problema de Roteirização de Veículos (PRV), e tem uma grande aplicação em logística reversa (CHEN *et al.*, 2007).

Ainda segundo Chen *et al.* (2007), no VRPSPD existe uma frota de veículos para atender um determinado número de clientes cujas posições e demandas são conhecidas com antecedência. Cada cliente exige ser visitado uma única vez, por

um único veículo e que ambas as demandas de coleta e entrega sejam satisfeitas. O objetivo é minimizar o comprimento total de todas as rotas do veículo, sem violar a capacidade de cada veículo.

Para Subramanian (2008) no VRPSPD, assim como no Problema de Roteirização de Veículos com Coleta e Entrega, no Problema de Roteirização de Veículos com *Backhauls* e no Problema de Roteirização com Coleta e Entrega Particionada, os veículos partem do depósito com os itens a serem entregues e retornam ao depósito com itens coletados ao longo da rota. O que difere o VRPSPD das demais situações é o fato de os serviços de coleta e entrega serem efetuados numa única visita ao cliente, como ilustra a Figura 11.

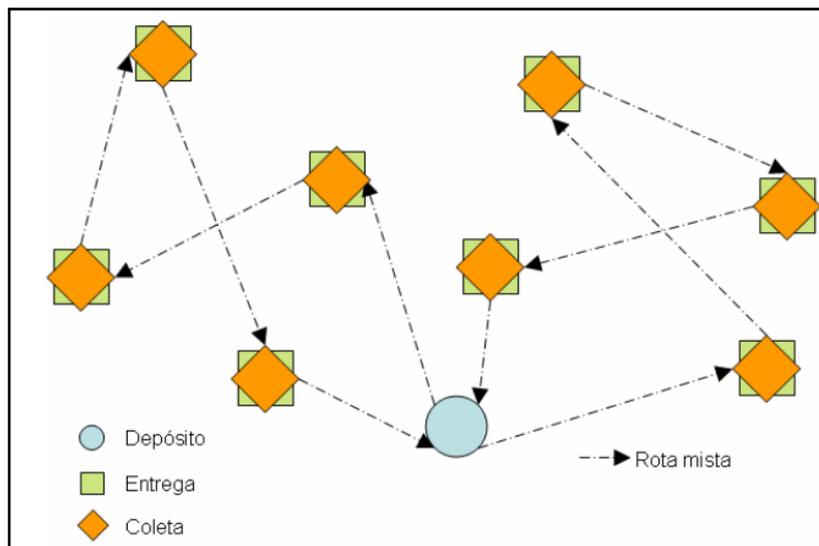


Figura 11 - Problema de Coleta e Entrega Simultânea
Fonte: Subramanian (2008).

Uma variação do VRPSPD encontrada na literatura é o Problema de Coleta e Entrega Simultânea com Restrição de Janela de Tempo (*Vehicle Routing Problem Simultaneous Pickup and Delivery with Time Windows – VRPSPDTW*). No VRPSPDTW, os veículos que realizam simultaneamente a coleta e a entrega de mercadorias têm restrições de horário para poder realizar o serviço. O atendimento ao cliente só pode acontecer dentro de um determinado intervalo de tempo, ou seja, uma determinada janela de atendimento.

Pelos primeiros estudos elaborados, detectou-se que o problema que mais se aproxima da realidade do problema prático a ser tratado é Problema de Coleta e Entrega Simultânea com restrição de Janela de Tempo.

Uma formulação matemática do problema VRPSPDTW é apresentada por Angelelli e Mansini (2002) e está detalhada a seguir.

Descrição do Problema e Notação

Considere uma frota com K veículos homogêneos com capacidade Q saindo e retornando a um único depósito, servindo a um número n de clientes, $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$. O depósito é dividido em dois nós idênticos, definido por 0 (nó zero) e $n+1$, onde os dois índices são utilizados para enfatizar o papel diferente do depósito. Cada cliente é caracterizado pela sua localização geográfica. A entrega e a coleta são identificados por d_i (entrega) e p_i (coleta). A janela de tempo na qual cada cliente precisar ser atendido é identificada por $[a_i, b_i]$. Como cada cliente precisa ser visitado apenas uma vez, segue que $0 \leq d_i, p_i \leq Q, \forall i$.

Seja $G = (V, A)$ um grafo onde $V = N \cup \{0, n+1\}$ é o conjunto de nós e A é o conjunto de arcos ligando todos os pares de nós. Seja c_{ij} e t_{ij} o custo (distância) e a duração (tempo requerido para cobrir a distância) associado a cada arco $(i, j) \in A$.

Sem perder a generalização foi acrescentado o tempo de serviço ao cliente i dentro do tempo requerido para cobrir a distância do arco (i, j) . Foi assumido que a_i, b_i, d_i, p_i, q e c_{ij} são inteiros não negativos enquanto t_{ij} são inteiros positivos.

Seja P um caminho elementar em G , $P = \{0 = i_0, i_1, \dots, i_p, i_{p+1} = n+1\}$, começando no vértice 0 e terminando no vértice $n+1$.

O caminho P é possível se para cada $s = 1, \dots, p$ seguir as seguintes condições

$$a_{i_s} \leq T_{i_s} \leq b_{i_s} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^s P_{i_k} + \sum_{k=s+1}^p d_{i_k} \leq Q \quad (2)$$

Onde $T_{i_s} = \max\{a_{i_s}, T_{i_{s-1}} + t_{i_{s-1}}, i_s\}$ indicam o tempo em que cada serviço é indicado no nó i_s .

Notação utilizada para Variáveis de Decisão

Para cada arco (i, j) onde $i \neq j$, $i \neq n+1$ e $j \neq 0$ e cada veículo k foi definido

$$X_{i,j}^k = \begin{cases} 1 & \text{se o veículo } k \text{ viaja diretamente de } i \text{ até } j \\ 0 & \text{se for diferente disso} \end{cases}$$

D_i^k = o montante das entregas restantes transportados pelo veículo k partindo do cliente i

P_i^k = o total de quantidades coletadas carregado pelo veículo k quando parte do cliente i .

T_i^k = o tempo inicial do serviço do veículo k no cliente i .

Modelo

A formulação é definida no grafo $G(V, A)$ como segue:

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} X_{ij}^k \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} X_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in N \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} X_{ip}^k = \sum_{j \in V} X_{pj}^k \quad \forall p \in N, \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N} X_{0j}^k \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} X_{i,n+1}^k = \sum_{j \in N} X_{0j}^k \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$D_i^k + P_i^k \leq Q \quad \forall i \in V, \forall k \in K \quad (8)$$

$$D_{n+1}^k = 0 \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$D_0^k = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} X_{ij}^k d_i \quad \forall k \in K \quad (10)$$

$$P_{n+1}^k = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} X_{ij}^k p_i \quad \forall k \in K \quad (11)$$

$$P_0^k = 0 \quad \forall k \in K \quad (12)$$

$$X_{ij}^k (P_i^k + p_j - P_j^k) = 0 \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (13)$$

$$X_{ij}^k (D_i^k + d_j - D_j^k) = 0 \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (14)$$

$$X_{ij}^k (T_i^k + t_{ij} - T_j^k) \leq 0 \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (15)$$

$$a_i \leq T_i \leq b_i \quad \forall i \in V, \forall k \in K \quad (16)$$

$$D_i^k \geq 0 \quad \forall i \in V, \forall k \in K \quad (17)$$

$$P_i^k \geq 0 \quad \forall i \in V, \forall k \in K \quad (18)$$

$$X_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (19)$$

A função objetivo (3) minimiza o custo total das rotas.

A restrição (4) garante que cada cliente só pode ser servido por exatamente um veículo.

A restrição (5) garante que o veículo que entra e sai de cada nó é o mesmo.

Note que a restrição (20) $\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} X_{ij}^k = 1, \forall j \in N$ junto com a restrição (4) do problema são redundantes e foram excluídas.

As restrições (6) e (7) asseguram que cada veículo é usado pelo menos uma vez.

O grupo de restrições (5), (6) e (7) são então chamados restrições de fluxo, requerendo que cada veículo parta do depósito (nó 0) pelo menos uma vez, deixa o nó p somente se ele tiver sido visitado e retorna para o depósito (nó $n+1$) pelo menos uma vez.

A restrição (8) garante que o carregamento do veículo k quando ele parte do nó i é menor que a capacidade do veículo.

As restrições (10) e (12) estabelecem que cada veículo deixa o depósito totalmente carregado com os produtos para serem distribuídos, enquanto o carregamento da coleta é nulo.

As restrições (9) e (11) garantem que quando os veículos retornam para o depósito eles distribuíram todas as entregas e estão lotados com as coletas.

As equações não lineares (13) e (14) estabelecem que se o arco (i, j) é visitado pelo veículo k então a quantidade para ser entregue pelo veículo precisa decrescer por d_j enquanto a quantidade a ser coletada é acrescida por p_j .

A equação não linear (15) estabelece que se o veículo k se dirige através do arco (i, j) , então o tempo do serviço começará no nó j e será maior ou igual ao tempo do serviço começado no nó i mais o tempo de viagem do nó i para o nó j , isto é, $T_j^k \geq T_i^k + t_{ij}$. Note que este tipo de restrição permite um tempo de espera em cada nó se o serviço de janela de tempo não estiver aberto.

A restrição (16) estabelece a janela de tempo para cada cliente $i \in N$.

As restrições (17) e (18) são condições não negativas.

A restrição (19) é restrição binária.

Para manter a propriedade binária das variáveis $X_{i,j}^k$ a restrição (13) pode ser linearizada como segue:

$$P_j^k \geq P_i^k + p_j + Q(X_{ij}^k - 1) \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (21)$$

$$P_j^k \leq P_i^k + p_j + Q(X_{ij}^k - 1) \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (22)$$

Similarmente para o conjunto de restrições (14).

A restrição (15) pode ser linearizada como segue:

$$T_j^k \geq T_i^k + t_{ij} - (1 - X_{ij}^k)T \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (23)$$

Onde T é arbitrariamente um valor constante e Q é a capacidade do veículo.

Observe que as restrições generalizam a restrição de eliminação de sub-rotas.

2.5 Principais Métodos para Solução do Problema de Coleta e Entrega Simultânea

De acordo com Parragh *et al.* (2008) os principais métodos de resolução de um problema de coleta e entrega simultânea se dividem em métodos exatos, métodos heurísticos e metaheurísticas.

- **Métodos Exatos**

Métodos exatos, ou algoritmos de otimização, são aqueles que buscam a solução ótima do problema e eles só são encerrados quando essa solução ótima for encontrada (ROSA, 1996).

Parragh *et al.* (2008) destaca três métodos que são mais empregados nos algoritmos exatos: programação dinâmica, *Branch and price* e *Branch and Bound*.

Como exemplos de trabalhos que foram desenvolvidos utilizando algoritmos exatos, pode-se citar: Angelelli e Mansini (2002) que desenvolveram o único algoritmo exato para solucionar o problema de Coleta e Entrega Simultânea com restrição de janela de tempo, utilizando um método *Branch-and-Price* e Dell' Amico et al. (2006) que apresentou uma abordagem do método *Branch-and-Price* ao Problema de Coleta e Entrega Simultânea .

- **Métodos Heurísticos**

Algoritmos heurísticos, também chamados de algoritmos de aproximação, são aqueles que procuram boas soluções (próximas da otimalidade) a um custo computacional razoável, sem, no entanto, estar obrigada a garantir a solução ótima (ROSA, 1996).

O desenvolvimento de algoritmos heurísticos surgiu em resposta à dificuldade encontrada para resolução de muitos dos problemas de otimização, uma vez que o tempo computacional exigido era impraticável. Nessa situação, é razoável sacrificar a otimalidade em troca de uma aproximação de boa qualidade que possa ser eficientemente calculada. Esse compromisso entre perda de otimalidade e ganho em eficiência é o paradigma dos algoritmos heurísticos (CARVALHO *et al.*, 2001).

Como exemplos de trabalhos que foram desenvolvidos utilizando algoritmos heurísticos, pode-se citar: Min (1989) que propôs um modelo e um procedimento heurístico para solução de VRPSPD. Mosheiov (1994) que introduziu um método de solução alternativo que é uma extensão do conhecido *Cheapest Insertion heuristic*. Gendreau *et. al* (1999) que descreveram novas heurísticas baseadas na solução exata de um caso especial e em *busca tabu*. Dethloff (2001 e 2002) que apresentou heurísticas construtivas de inserção. Nagy e Salhi (2005) apresentaram várias heurísticas para o PDP com único depósito e múltiplos depósitos.

- **Metaheurísticas**

As metaheurísticas são procedimentos destinados a encontrar uma boa solução, eventualmente a ótima, consistindo na aplicação, em cada passo, de uma heurística subordinada, a qual tem que ser modelada para cada problema específico. Contrariamente às heurísticas convencionais, as metaheurísticas são de caráter geral e têm condições de escapar de ótimos locais (ROSA, 1996).

Recentemente, Chen *et al.* (2007) e Gajpal and Abad (2009) apresentaram um algoritmo metaheurístico baseado em um Sistema de Colônia de Formigas. Montané e Galvão (2006), Meng and Guo (2008) e Zachariadis (2009) apresentaram algoritmos utilizando Busca Tabu. Subramanian (2008) apresentou uma

metaheurística *Iterated Local Search*. Bianchessi e Righini (2007) comparam um algoritmo de busca tabu para diferentes construções e Assis (2007) propôs uma metaheurística GRASP para resolução do VRPSPD.

2.6 Revisão da Literatura do Problema de Coleta e Entrega Simultânea

A definição do VRPSPD foi primeiramente estudada por Min (1989), onde o autor reconhece a possibilidade de coletas e entregas simultâneas em um mesmo nó. O objetivo é desenvolver um modelo e um procedimento de solução eficiente o suficiente para lidar com essas variantes do mundo real. Para ilustrar e demonstrar a aplicabilidade do problema foi realizado um estudo de caso que trata do problema de uma biblioteca pública, com um depósito, dois veículos e 22 clientes. Os clientes foram primeiramente divididos em grupos e cada grupo foi resolvido através do Caixeiro Viajante. O resultado final deste estudo de caso indicou que a redução de tempo/distância pode ser conseguida através da utilização do modelo proposto e do procedimento de solução.

Depois de mais de 10 anos, Dethloff (2001 e 2002) investigou a relação entre VRPSPD e outros VRPs apresentando quatro heurísticas construtivas de inserção usando critérios diferentes. O autor mostrou que o simples critério distância de viagem (*travel distance* – TD) é “míope” e propôs um critério de inserção novo que combina ambos os conceitos, capacidade residual (*Residual Capacity* – RC) e Sobretaxa Radial (*Radial Surcharge* – RS) com TD.

Angelelli e Mansini (2002) desenvolveram o único algoritmo exato para solucionar o problema de Coleta e Entrega Simultânea com Restrição de Janela de Tempo, utilizando o método *Branch-and-Price*. Os autores implementaram tal método baseando-se na formulação de *set covering* para o problema mestre. A relaxação do problema de caminho mínimo com janela de tempo e das restrições de capacidade foram utilizadas como *pricing problem*.

Nagy e Salhi (2005) introduzem a definição de viabilidade fraca e de viabilidade forte de uma solução, que é muito útil quando se está lidando com o VRPSDP e apresentam várias heurísticas para o problema de coleta e entrega para um único depósito e múltiplos depósitos. Esse método acha a solução do problema de roteirização e faz uma modificação para tornar viável o problema de coleta e entrega. As heurísticas propostas são capazes de resolver problemas de coleta e entrega simultânea, além de resolver problemas com depósitos múltiplos. Puderam proporcionar soluções de boa qualidade a problemas de roteirização de veículos envolvendo coleta e entrega com 1 e 5 depósitos e variando entre 50 e 249 clientes dentro de alguns segundos.

O Problema do Caixeiro Viajante com Coleta e Entrega (*Traveling Salesman Problem with Pickup e Delivery* - TSPPD) é um caso especial do VRPSDP com um único veículo. O primeiro trabalho em TSPPD com heurísticas foi desenvolvido por Mosheiov (1994). O autor desenvolveu duas aproximações heurísticas simples de coleta e entrega baseada em métodos do Problema do Caixeiro Viajante. A pessoa tem no pior caso garantia de desempenho, enquanto o outro não faz. Porém, o último, chamado “possível inserção mais barata (*cheapest feasible insertion* - CFI)”, frequentemente produz melhores soluções que as produzidas pelo anterior.

Gendreau *et al.* (1999) também propuseram duas heurísticas para TSPPD. Uma das heurísticas foi baseada na solução exata de um caso especial e a outra heurística foi baseada em busca tabu. A performance média das duas heurísticas foi analisada utilizando métodos computacionais.

Montané e Galvão (2006) propuseram um algoritmo de Busca Tabu para solucionar o VRPSDP. Este algoritmo usa três tipos de movimentos para obter solução entre rotas: realocação, troca e *crosser*. Para obter soluções alternativas dentro das rotas, os autores utilizaram o procedimento *2-opt*. Duas estratégias diferentes foram utilizadas, a primeira delas considera o primeiro movimento admissível enquanto a outra considera o melhor movimento admissível.

Dell'Amico *et al.* (2006) estudaram a forma como o método branch-and-price pode ser aplicado para a solução do problema de coleta e entrega simultânea e, em particular, compararam duas formas diferentes de resolver o *pricing subproblem*: programação dinâmica exata e *state space relaxation*.

Chen *et al.* (2007) apresentam um algoritmo heurístico baseado em um Sistema de Colonia de Formigas para resolver o problema de roteirização de veículos com coleta e entrega simultânea (VRPSDP). O autor discute o VRPSDP fazendo uma comparação com dois outros problemas relacionados, o PRV com *Backhauls* (VRPB) e o Problema de Roteirização de Veículos Capacitados (*Vehicle Routing Problem Capacitated* - CVRP). O CVRP é um problema onde os clientes têm apenas um tipo de demanda: entrega ou coleta. No VRPB os clientes são divididos em dois grupos: clientes que recebem mercadorias e clientes que enviam mercadorias. No VRPSDP os clientes recebem e enviam mercadorias simultaneamente. Uma diferença óbvia entre CVRP, VRPB e VRPSDP é a variação da carga do veículo durante todo o percurso. No algoritmo apresentado por Chen *et al.* (2007), a fase de construção clássica do Sistema de Colônia de Formigas é substituída por um procedimento alternativo de inserção. Resultados computacionais mostram que a heurística é eficiente para resolver (VRPSDP).

Bianchessi e Righini (2007) apresentaram vários algoritmos heurísticos para resolver o VRPSDP cujo objetivo é a diminuição do tempo computacional utilizado para solucionar este tipo de problema. Foram apresentados e comparados alguns algoritmos construtivos, heurísticas de busca local e um procedimento Busca Tabu associado a uma estrutura de vizinhança variável. Os autores combinaram os movimentos de permutação de nós (*node-exchangebased*), permutação de arcos (*arc-exchange-based*) e variação do tamanho da lista tabu.

Assis (2007) apresentou um conjunto de heurísticas construtivas conhecidas da literatura e propôs uma metaheurística GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) para resolução do VRPSDP. O processo de implementação dessas heurísticas foi iniciado por heurísticas mais simples (Rotear e Dividir) e finalizado com heurísticas mais elaboradas como heurísticas de inserção e

heurísticas GRASP. As melhores heurísticas apresentadas foram utilizadas na fase de construção da heurística GRASP. As heurísticas propostas apresentaram bons resultados.

Meng e Guo (2008) utilizaram o procedimento *revised tour partitioning* como solução inicial para resolução do VRPSPD. Os autores propuseram um algoritmo utilizando procura de vizinhança variável e mecanismo de busca tabu reativo, além de alguns procedimentos de melhorias, para melhorar a solução inicial utilizada. Os resultados computacionais mostraram que o algoritmo proposto apresenta bons resultados.

Subramanian (2008) propôs um algoritmo baseado na metaheurística *Iterated Local Search* (ILS) que utiliza o método de descida em vizinhança variável (VND) na fase de busca local e aplicou a metaheurística proposta na resolução do VRPSPD. O algoritmo desenvolvido foi testado em problemas encontrados na literatura relativos ao VRPSPD, apresentando um melhor resultado quando comparado com as soluções conhecidas.

Parraght *et al.* (2008) desenvolveram um detalhado estudo sobre Problemas de Coleta e Entrega. Os autores subdividem o trabalho em duas partes, a parte I trata dos problemas de transportar mercadorias do depósito para os clientes e dos clientes para o depósito e a parte II, dos problemas que transportam mercadorias entre clientes. Na primeira parte são detalhados quatro problemas: *Vehicle Routing Problem with Clustered Backhauls* (todas as entregas precisam acontecer antes das coletas), *Vehicle Routing Problem with Mixed Linehauls and Backhauls* (qualquer seqüência de coleta e entrega é permitida), *Vehicle Routing Problem with Divisible Delivery and Pickup* (o cliente aceita ser visitado duas vezes) e *Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup* (o cliente exige que a visita seja única). Na segunda parte são detalhados três problemas: *Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem*, o clássico *Pickup and Delivery Problem* e o *Dial-a-Ride Problem*.

Outra pesquisa que também desenvolveu um detalhado estudo sobre problemas de Coleta e Entrega é encontrada em Berbeglia *et al.* (2007), que introduziram uma

estrutura geral para modelar uma extensa classificação do problema, tão bom quanto o esquema de classificação de três campos (Estrutura, Visitas e Veículos).

Rigo e Rosa (2008 e 2009) desenvolveram uma proposta de resolução do problema de logística reversa da coleta de óleo residual de fritura para produção de biodiesel modelado como um problema de Coleta e Entrega Simultânea com Janela de Tempo. O problema consiste na entrega de bombonas vazias e coleta de bombonas cheias de óleo residual de fritura dos restaurantes e bares para industrialização do biodiesel. Foram criados sete cenários para testar alternativas de solução do problema, onde foram avaliados três parâmetros: alocação de diferentes veículos, variação do horário de atendimento e alteração no tempo de coleta e entrega. Os resultados alcançados foram promissores e de qualidade igual e, em alguns casos, superior ao encontrado na prática.

Zachariadis *et al.* (2009) propuseram uma solução híbrida de aproximação que absorve a abordagem lógica de duas metaheurísticas (busca tabu e busca local guiada) que provaram ser eficientes para solução de vários problemas de roteirização de veículos, entre eles o VRPSPD. O algoritmo proposto foi testado em problemas envolvendo um número de 50 a 400 clientes, produzindo resultados eficientes.

Gajpal e Abad (2009) propuseram um algoritmo utilizando Sistema de Colônia de Formigas (ACS) para solucionar o VRPSPD. Experimentos computacionais mostraram que o método proposto apresenta melhores resultados quando comparado com os métodos existentes para solucionar VRPSPD em dois aspectos: na qualidade da solução e no tempo computacional.

Ai e Kachitvichyanukul (2009) propuseram uma representação de solução randômica baseado em chave e um método de decodificação para implementar o PSO (*Particle Swarm Optimization*) para solucionar o VRPSPD. Para solucionar o problema são construídas rotas baseada na lista de prioridade dos clientes e na matriz de prioridade dos veículos. Resultados computacionais mostraram que o método é eficiente.

2.7 Complexidade Computacional dos Problemas de Roteirização de Veículos

O termo complexidade computacional está associado com o estudo dos problemas e dos algoritmos capazes de resolvê-los (GANHOTO, 2004). Um algoritmo pode ser definido como uma seqüência de operações necessárias para obter a solução de um dado problema. Quando, para um problema, existe um algoritmo polinomial para sua solução, o problema é chamado tratável ou de classe P (polinomial). Por outro lado, muitos problemas só podem ser resolvidos em tempos exponenciais e são ditos como “intratáveis” ou NP-completos (BODIN *et al.*, 1983).

Segundo Ganhoto (2004) e Loreto et al. (2006), grande parte dos problemas de decisão associados á problemas de interesse prático, pertence às seguintes classes:

a) Classe P (*Polynomial time*). Um problema pertence à classe P se ele pode ser resolvido por um algoritmo determinístico com complexidade de tempo polinomial.

b) Classe NP. Para um problema pertencer à classe NP significa que existe pelo menos um algoritmo não-determinístico que o resolva com complexidade de tempo polinomial.

c) Classe NP-Completo. Um problema Y pertence à classe NP-Completo se ele for pertencente à classe NP e se para qualquer outro problema V também pertencente à classe NP, houver um algoritmo para resolver Y que pode ser adaptado em tempo polinomial para resolver V.

d) Classe NP-Difícil (NP-Árduo ou NP-*Hard*). Um problema (não necessariamente da classe NP) pertence à classe NP-Difícil se qualquer outro problema pertencente à classe NP puder ser reduzido polinomialmente a este. Um problema NP-Difícil é pelo menos tão difícil quanto qualquer problema em NP.

De acordo com Ganhoto (2004), a classe P está contida em NP. Entretanto, existem muitos problemas em NP para os quais não são conhecidos algoritmos que os resolvam em tempo polinomial. Por isso não se tem certeza se $P = NP$; existe uma forte conjectura de que $P \neq NP$, embora isso não tenha ainda sido provado.

Segundo Goldberg e Luna (2000), os problemas de roteirização de veículos são problemas de características combinatórias e de grande dificuldade de solução, eles variam quanto a sua complexidade, dependendo do número de variáveis e restrições que os problemas consideram em sua formulação. Mesmo com o avanço computacional dos últimos anos e com o aumento da capacidade das máquinas, os problemas de roteirização de veículos ainda são considerados problemas de difícil solução, pois a dificuldade reside na natureza combinatória desse tipo de problema que, até hoje, tem impedido a concepção de algoritmos eficientes de solução. Os principais casos dos problemas de roteirização de veículos são classificados quanto a sua dificuldade como sendo do tipo NP-completo.

De acordo com Nagy e Salhi (2005) e Dethloff (2001), o Problema de Coleta e Entrega Simultânea é classificado quanto a sua dificuldade como sendo do tipo NP-Hard.

CAPÍTULO 3 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo é apresentada e descrita uma aplicação prática do problema estudado.

3.1 Introdução

No problema estudado, coleta de bombonas cheias de óleo residual de fritura e entrega de bombonas vazias para atender à logística reversa de uma empresa de biodiesel, existe uma frota de veículos limitada, que pode ser homogênea ou heterogênea. Esta frota de veículos inicia a rota a partir de um depósito central para atender vários clientes a cada dia. Cada veículo tem uma capacidade e as posições e demandas de cada cliente são conhecidas com antecedência.

Para um determinado dia, cada cliente solicita ser visitado por um único veículo que atende a demanda de entrega de mercadorias e a demanda de coleta de mercadorias. Os clientes possuem restrição de horário de atendimento, ou seja, janela de tempo.

Os veículos saem do depósito carregados com as bombonas vazias que serão entregues e retornam ao depósito carregados com as bombonas cheias de óleo residual de fritura que recolheram. A coleta e a entrega das bombonas acontecem simultaneamente.

A Figura 12 a seguir mostra como acontece a coleta e a entrega das bombonas.

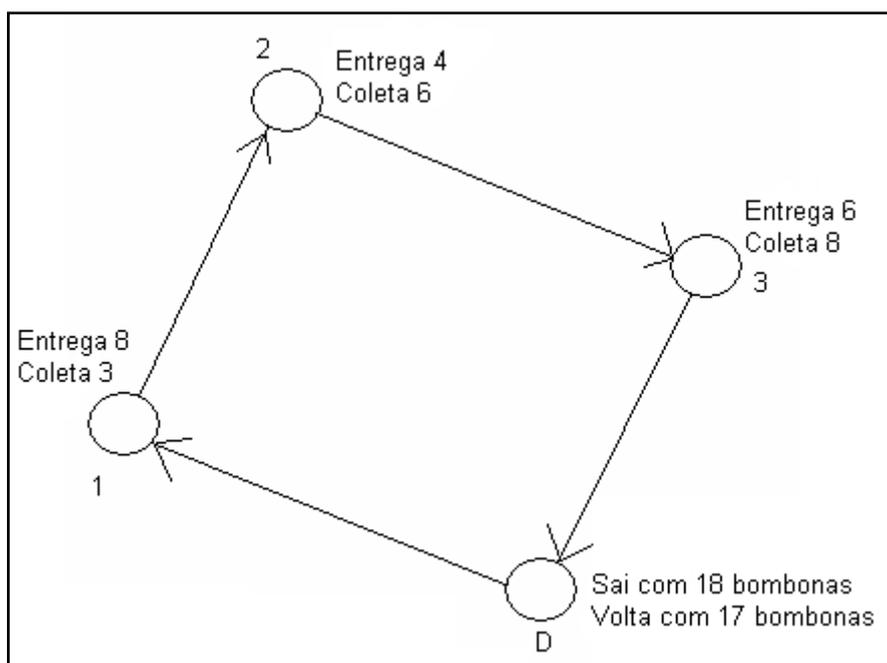


Figura 12 - Representação da Coleta e Entrega de Mercadorias por meio de um Grafo Orientado
 Fonte: Adaptado Novaes (1989).

De acordo com a Figura 12, o veículo Ford F-250 inicia a rota a partir do depósito carregado com a mercadoria que será entregue (bombonas vazias), por exemplo, 18 bombonas (capacidade máxima de um veículo). Cada cliente especifica uma janela de tempo para ser atendido. No cliente número 1, são entregues 8 bombonas e coletadas 3, o veículo continua o percurso para atender o segundo cliente carregado com 10 bombonas vazias e 3 bombonas cheias.

No segundo cliente, são entregues 4 bombonas vazias e coletadas 6 bombonas cheias, o veículo continua a rota para atender o próximo cliente carregado com 6 bombonas vazias e 9 bombonas cheias.

No terceiro cliente, são entregues 6 bombonas vazias e coletadas 8 bombonas cheias. Agora o veículo não possui mais nenhuma bombona vazia para entregar e já está com 17 bombonas cheias, ou seja, com a capacidade quase total utilizada. Dessa forma o veículo retorna ao depósito com 17 bombonas cheias de óleo de fritura.

Dada a demanda dos clientes em um determinado dia, o objetivo é elaborar rotas e dimensionar o número de veículos necessários, de forma a minimizar o custo total e reduzir as distâncias dos percursos de coleta e entrega, respeitando todas as restrições do problema. As restrições do problema são:

- Atender a demanda de todos os clientes;
- Respeitar as restrições de janela de tempo de atendimento de cada cliente;
- Não ultrapassar a capacidade dos veículos.

As principais premissas do problema são:

- Depósito único;
- Demanda localizada em nós;
- Rede não direcionada;
- A roteirização envolve coleta e entrega simultânea;
- A demanda dos clientes é pré-estabelecida;
- O tipo de mercadoria coletada e entregue é a mesma;
- Cada cliente solicita ser visitado uma única vez, por um único veículo e que ambas as demandas de coleta e entrega sejam satisfeitas;
- Todas as coletas e entregas são consideradas únicas e não periódicas, de modo que, a cada dia, os pedidos devem ser reformulados (horizonte de planejamento de um dia);
- A frota de veículos é homogênea e limitada;
- Todos os veículos iniciam e terminam seu trajeto no depósito.

Para melhor exemplificar o problema abordado, é apresentada a seguir uma aplicação prática do problema de coleta e entrega simultânea de mercadorias.

3.2 Descrição do Problema Real a ser Resolvido

Esta aplicação busca reproduzir a realidade de uma empresa responsável pelo serviço de logística reversa da coleta de óleo residual de fritura para a produção de biodiesel, por meio de bombonas plásticas.

O estudo é efetuado a partir da análise de uma situação real onde existe um depósito central (Unidade de Reciclagem de Óleo Residual de Fritura) que está localizado no município de Cariacica, Espírito Santo. A coleta e entrega do óleo residual de fritura é realizada nos municípios de Vitória, Serra, Vila Velha, Cariacica e Viana.

Os estabelecimentos comerciais que utilizam óleo de fritura para preparar alimentos têm dificuldade de descartar este óleo usado, em função da agressão que o descarte inadequado pode causar ao meio ambiente. Assim, a empresa em estudo disponibiliza bombonas vazias de 50 litros ou 60 litros no local do estabelecimento para que o mesmo armazene o óleo usado. Quando a bombona estiver cheia, o estabelecimento solicita o recolhimento das mesmas e a entrega de outras vazias. Para este processo, visando reduzir custos logísticos, a empresa em estudo faz a entrega e coleta das bombonas simultaneamente.

O veículo que entrega as bombonas vazias e recolhe as bombonas cheias inicia a rota a partir de um depósito central, a fábrica de biodiesel, carregado das bombonas vazias a entregar. As seguintes situações podem ocorrer:

- Em alguns pontos da rota, a empresa pode entregar mais bombonas vazias e recolher menos bombonas cheias. Por exemplo: sexta-feira, o cliente sabe que vai necessitar de bombonas vazias, pois a demanda do final de semana aumenta, aumentando também o descarte de óleo usado;
- Em algumas situações pode acontecer o contrário, a empresa pode deixar menos bombonas vazias e recolher mais bombonas cheias. Por exemplo: segunda-feira ou depois de um dia específico de festa;
- Os clientes recebem e entregam o mesmo número de bombonas;

Apesar de não ser uma caracterização do problema de coleta e entrega simultânea, pode ocorrer no estudo de caso a situação onde os clientes não recebem bombonas vazias e entregam bombonas cheias ou, recebem bombonas vazias e não entregam bombonas cheias, portanto esta situação também é tratada neste trabalho.

Em função do problema apresentado anteriormente, percebe-se a necessidade de se fazer a coleta de bombonas cheias e entrega de bombonas vazias, caracterizando o problema de coleta e entrega de mercadorias. No entanto, os clientes solicitam que a coleta e a entrega sejam realizadas de maneira simultânea com uma única parada do veículo e que a restrição de horário de atendimento imposta por eles seja atendida.

No sistema atual, a roteirização é realizada por meio do método empírico, que consiste na determinação da rota pelo próprio motorista do veículo. A empresa trabalha com o disque-coleta, onde o cliente liga avisando que as bombonas já podem ser recolhidas.

Se a empresa em estudo não atender aos clientes dentro da janela de atendimento solicitada, ela corre o risco de perdê-los para outras empresas concorrentes. Assim sendo, é fundamental que o atendimento ao cliente seja o melhor possível, atendendo a todas as solicitações.

As principais características do problema são: depósito, tipos de mercadorias, tipos de veículos, processamentos de pedidos, velocidades e tempos de coleta e entrega, demanda dos clientes e horário de atendimento dos clientes.

3.2.1 Depósito

O estudo é efetuado a partir de um depósito central, a Unidade de Reciclagem de Óleo Residual de Fritura. No depósito encontram-se as bombonas vazias que deverão ser entregues aos clientes. O depósito funciona de segunda-feira a sexta-feira de 08h30 às 17h30.

3.2.2 Tipos de Mercadorias

A empresa em estudo dispõe de dois tipos de bombonas para realizar a coleta do óleo: bombona com capacidade de 50 litros ou 60 litros, conforme Figura 13.



Figura 13 - Bombonas deixadas em estabelecimentos (Bares, Rest., etc.) utilizadas para coletar o óleo de cozinha

Fonte: Marca Ambiental (2009).

Para efetuar os testes, só serão utilizadas as bombonas de boca larga com capacidade de 50 litros, ou seja, a mercadoria transportada será do tipo carga-única.

3.2.3 Tipos de Veículos Utilizados pela Empresa

A frota é composta por um tipo de veículo, pickup da Marca Fiat Strada, conforme Figura 14.



Figura 14 - Pickup com capacidade de 10 bombonas de 50L ou 60L
Fonte: Marca Ambiental (2009).

Os veículos da frota se encontram em bom estado de conservação e possuem uma rotina específica de revisão e manutenção. Cada veículo é operado por um motorista e um ajudante e não existe restrição de ruas a serem percorridas.

3.2.4 Processamento de Pedidos

Todos os dias os pedidos dos clientes são listados para serem atendidos no dia seguinte. Os clientes transmitem os pedidos por telefone e informam a demanda de mercadorias (bombonas) que serão entregues e coletadas. Após o recebimento do pedido a empresa organiza as bombonas que serão entregues. Não é permitida a inclusão de novos pedidos na listagem que está sendo atendida.

3.2.5 Velocidades e Tempos de Coleta e Entrega

Foram utilizados os dados da empresa e dos municípios para o cálculo de velocidade média na via. Como a velocidade das vias intermunicipais é a mesma das vias municipais (cidades bem próximas), foi adotada uma velocidade média fixa de 40 km/h para todas as cidades.

Os tempos de coleta e entrega utilizados foram cedidos pela empresa em estudo. Foram utilizados como parâmetros o tempo fixo de parada, que independe da demanda, e o tempo por unidade, que é o tempo variável, ou seja, que depende da demanda de mercadorias coletadas e entregues.

O tempo fixo de coleta e entrega é o tempo mínimo requerido para servir o cliente, por exemplo tempo de se estacionar o veículo, abordar o cliente e começar o trabalho de coleta e entrega das bombonas.

O tempo variável de coleta e entrega, também chamado de tempo por unidade, é o tempo de serviço requerido para carregar e descarregar cada unidade de mercadoria demandada, por exemplo é o tempo gasto para se coletar cada bombona cheia de óleo residual de fritura e entregar cada bombona vazia no estabelecimento.

Os tempos foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por unidade.

3.2.6 Demanda dos Clientes

A empresa possui 360 clientes. A demanda dos clientes é dada em números de bombonas para serem entregues e recolhidas. A capacidade do veículo tem que ser igual ou superior a essa medida. A Tabela 1 a seguir apresenta a demanda de coleta e entrega de alguns clientes em um determinado dia. No ANEXO A encontra-se a tabela completa de demanda dos clientes.

Tabela 1 - Demanda dos Clientes

Clientes	Demanda de Coleta (bombonas 50 litros)	Demanda de Entrega (bombonas 50 litros)
2	1	2
18	0	1
35	3	2
60	1	2
75	3	0
120	1	1
139	10	8
167	2	1
180	2	2
210	1	2
240	2	2
270	4	4
287	5	4
300	1	2
330	1	1
360	1	1

3.2.7 Horário de Atendimento de cada Cliente

Cada cliente possui um horário de atendimento e solicita que a coleta e a entrega sejam realizadas de maneira simultânea com uma única parada do veículo. A Tabela 2 a seguir apresenta o horário de atendimento de alguns clientes em um determinado dia. No ANEXO A encontra-se a tabela completa de horário de atendimento dos clientes.

Tabela 2- Horário de Atendimento dos Clientes

Clientes	Início do Atendimento	Término do Atendimento
2	10:00	14:00
18	12:00	17:00
35	14:00	17:00
60	09:00	17:00
75	09:00	17:00
120	10:00	17:00
139	09:00	17:00
167	09:00	17:00
180	09:00	17:00
210	11:00	15:00
240	08:30	11:30
270	09:00	12:00
287	09:00	15:00
300	09:00	16:00
330	09:00	16:00
360	09:00	16:00

CAPÍTULO 4 - PROPOSTA DE RESOLUÇÃO

Neste capítulo é apresentada uma proposta de resolução do problema de logística reversa das embalagens utilizadas para recolher o óleo residual de fritura que será utilizado para produção de biodiesel, modelado como um problema de Coleta e Entrega Simultânea com Janela de Tempo, usando uma ferramenta SIG-T.

O objetivo desta proposta é auxiliar a logística reversa da coleta e entrega das bombonas utilizadas para armazenar o óleo, minimizando os custos logísticos e ajudando assim a viabilizar a produção do biodiesel. Para tanto, deve-se dimensionar a frota e escolher a melhor rota que os veículos devem percorrer, buscando minimizar o custo total de viagem, a distância total percorrida, bem como o atendimento a todos os clientes.

Alguns testes de cenários, variando parâmetros como: alocação de diferentes tipos de veículos para realizar a coleta e a entrega das mercadorias, utilização de frota heterogênea, alteração nos tempos de entrega e coleta, variações nas janelas de atendimento e na restrição de duração máxima da rota, foram utilizados para testar diferentes alternativas de solução do problema. Um aplicativo computacional possibilitou a modelação e a simulação de cada cenário testado.

Este aplicativo computacional, o TransCAD, é baseado em um ambiente SIG e é denominado de SIG-T, Sistema de Informação Geográfica para Transporte, porque além de possuir as funções básicas de uma ferramenta SIG, também possui rotinas específicas para solucionar problemas de roteirização, como o Problema de Coleta e Entrega Simultânea de mercadorias com Janela de Tempo.

Para alcançar o objetivo proposto, a metodologia foi dividida em três etapas:

- Definição das informações necessárias para a coleta e entrega diária de mercadorias;
- Obtenção da base de dados e simulação do sistema utilizando o SIG-T TransCAD;

- Definição dos cenários de simulação para diversas alternativas de solução do problema.

4.1 Informações Necessárias para a Coleta e Entrega Diária de Mercadorias

As informações necessárias para o processo de coleta e entrega das bombonas utilizadas para o recolhimento do óleo residual de fritura que será reutilizado para a produção do biodiesel foram: localização do depósito, definição dos clientes atendidos pela empresa, restrição de horário de atendimento do depósito e dos clientes, malha viária disponível e veículos disponíveis.

4.1.1 Localização do Depósito

O depósito é o ponto de origem de onde partem os veículos para levar as bombonas vazias com o intuito de coletar o produto que será utilizado para a fabricação do biodiesel. É também o ponto de disposição final das bombonas cheias com o óleo recolhido.

O depósito da indústria em estudo está localizado no município de Cariacica, Espírito Santo, próximo a importantes vias de acesso.

4.1.2 Clientes Atendidos

Os clientes atendidos pela empresa em estudo são aqueles que produzem óleo residual de fritura e encontram dificuldade de descartar adequadamente esse resíduo. São clientes atendidos pela empresa: bares, restaurantes, cozinhas industriais, hotéis, hospitais, escolas e condomínios.

Os clientes estão localizados nos municípios de Vitória, Serra, Vila Velha e Cariacica. A demanda dos clientes é conhecida com antecedência.

A demanda de cada cliente é dada em números de bombonas para serem recolhidas cheias de óleo de fritura e em bombonas solicitadas para serem entregues vazias.

4.1.3 Restrição de Horário de Atendimento do Depósito e dos Clientes

Tanto o depósito como os clientes possuem restrição de horário de atendimento, ou seja, um intervalo de tempo que o veículo tem para sair e retornar ao depósito e para atender aos clientes.

O horário de atendimento do depósito é de 08h30 às 17h30. Para efetuar os testes propostos, o horário de atendimento do depósito será alterado para verificar a utilização de restrição máxima da rota de 4 horas, podendo assim dividir o atendimento em dois turnos, matutino e vespertino. O horário de atendimento do depósito será de 8h às 12h e de 14h às 18h.

O horário de atendimento dos clientes é de 9h às 17h. Para efetuar os testes propostos, o horário de atendimento dos clientes pode variar em atendimento no turno matutino (08h às 12h), atendimento no turno vespertino (14h às 18h) e atendimento restrito a cada cliente, ou seja, o cliente solicita qual o melhor horário para que seja realizada a coleta e a entrega das bombonas.

4.1.4 Malha Viária Disponível, Velocidades e Tempos de Coleta e Entrega

A malha viária disponível georreferenciada do estado do Espírito Santo foi cedida pelo Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo - GEOBASES, contendo os municípios, bairros e ruas urbanas e interurbanas, entre outros.

Para se determinar a velocidade e os tempos fixos e variáveis de coleta e entrega, deve ser realizado um estudo prévio do local onde será feito o transporte. Isso é essencial para que se tenha conhecimento das distâncias e restrições do local

atendido, tais como velocidade máxima das vias, horários em que não é possível o tráfego de caminhões de grande porte, restrições de ruas, etc.

Os tempos de coleta e entrega utilizados foram cedidos pela empresa em estudo. Foram utilizados como tempo fixo de parada (que independe da demanda) 17 minutos, e 3 minutos para o tempo por unidade, que é o tempo requerido para carregar e descarregar cada unidade de mercadoria demandada.

Com o intuito de testar o efeito da utilização de diferentes tempos de coleta e entrega, esses parâmetros foram alterados para 10 minutos, para o tempo fixo de parada e 2 minutos para o tempo por unidade.

4.1.5 Veículos Disponíveis

Os principais tipos de veículos utilizados para coletar e entregar mercadorias encontrados no mercado são os veículos com carrocerias que possuem tanque para armazenagem de óleo de fritura e bomba de sucção e os veículos com carrocerias para cargas.

O veículo disponível na frota da empresa em estudo para realizar a coleta e a entrega das bombonas é a Pickup Fiat Strada.

Com o intuito de testar o efeito da utilização de diferentes veículos na frota, foi incluído na frota um veículo do tipo Ford F-250 e um caminhão Mercedes Bens 709, pois a empresa possui estes veículos, porém sem utilizar para este serviço.

A Tabela 3 apresenta os veículos utilizados no cálculo das rotas e suas características.

Tabela 3 -Tipos e Características dos veículos

Tipo	Modelo	Capacidade Util (litros)	Cap. Util bombonas (50 litros)
1	Pickup Fiat Strada	500	10
2	Ford F-250	950	18
3	Mercedes Bens 709	3000	60

No início do dia, todos os veículos estão no depósito aguardando os pedidos. Com a chegada deste pedido cada motorista organiza sua rota através do método empírico, ou seja, a rota é criada pelo próprio motorista. Com o objetivo de definir melhor as rotas que serão criadas será utilizado um aplicativo computacional de roteirização, o TransCAD.

4.2 Utilização do Aplicativo Computacional de Roteirização

O material utilizado para a resolução do problema proposto é o aplicativo computacional TransCAD 4.8 – versão acadêmica, que é um programa do tipo SIG-T criado pela *Caliper Corporation*. No TransCAD existe um módulo específico que resolve vários tipos de problemas de roteirização de veículos, entre eles o problema de coleta e entrega.

4.2.1 Coleta de Dados

As informações necessárias para solucionar o problema de coleta e entrega em estudo são originadas de dados geográficos, dados de demanda, de tempo e sobre a operação do serviço.

Como já foi dito, a base de dados geográficos georreferenciados do estado do Espírito Santo foi cedida pelo Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo – GEOBASES (2008), contendo os municípios, bairros e ruas urbanas e interurbanas, entre outros.

As outras informações referentes à localização dos clientes e do depósito, dos dados de demanda e de tempos de coleta e entrega para cada cliente, da capacidade do veículo, do tipo de veículo utilizado e dos tempos limites para realizar a coleta e a entrega foram cedidas pela Empresa Biomarca.

4.2.2 Atualização do Sistema Viário, Preparação dos Dados de Entrada e Determinação do Sentido de Fluxo da Via

Os dados fornecidos pelo GEOBASES já se encontravam na extensão utilizada pelo aplicativo computacional TransCAD, o formato *shape*. Após a importação desses dados para o TransCAD e reconhecimento do mapa pelo programa foram criados as *layers* municípios, logradouros, bairros e clientes.

No sistema viário utilizado algumas ruas estavam desatualizadas. Foram usadas as ferramentas de edição de desenhos (*Map Editing*) para que fossem adicionados os *links* que faltavam por digitalização direta na tela do computador. Após terem sido adicionados os novos links, seus nomes foram adicionados manualmente, um a um, no arquivo **.dbd* (extensão do arquivo gerado pelo TransCAD, para o armazenamento de dados sobre os elementos geográficos).

As Figuras 15 e 16 mostram o arquivo geográfico com algumas ruas que foram desenhadas e a base de dados com os nomes das ruas.

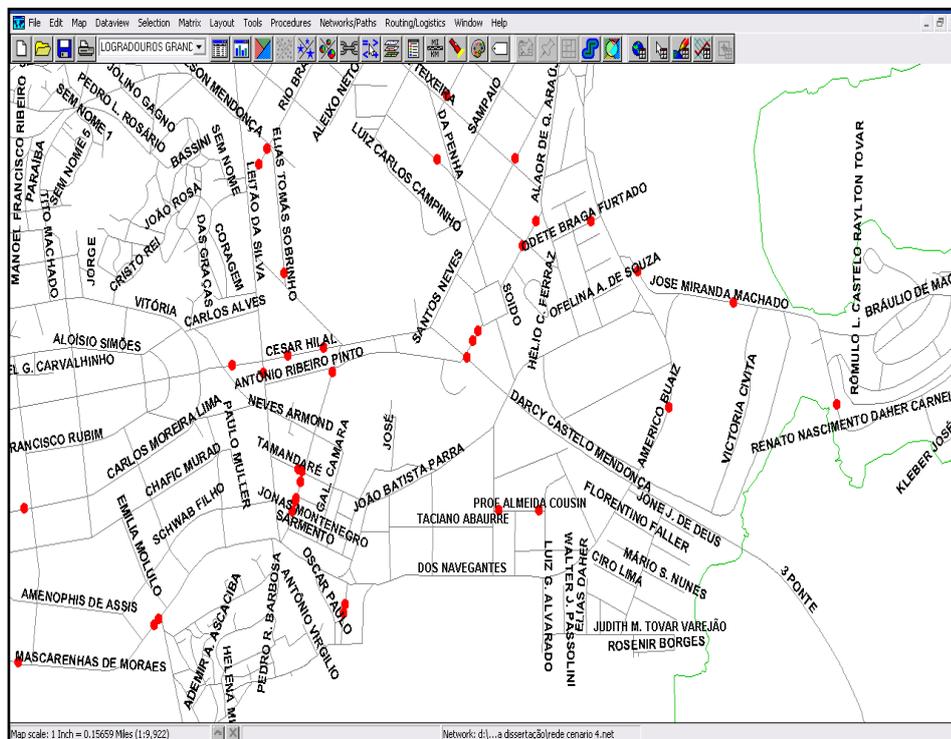


Figura 15 - Arquivo Geográfico com algumas ruas editadas

CTRL_IBGE	Shape_Leng	Shape_Area	FID_ruas	NOME_1	TIPO	TITULO
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	51654	JÓÃO BATISTA PARRA	AVENIDA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	51656	JÓÃO BATISTA PARRA	AVENIDA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	51662	GAL. CAMARA	RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59115	VITÓRIO NUNES DA MOTTA	RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59121	BARROSO	RUA	ALMIRANTE
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59763	SEBASTIÃO	RUA	SÃO
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59791	CAETANO TUNHOLI	RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	60240	TAMANDARÉ	RUA	ALMIRANTE
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	60298	DOS NAVEGANTES	AVENIDA	NOSSA SENHORA
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59765	SEBASTIÃO	RUA	SÃO
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59767		RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59771	BARROSO	RUA	ALMIRANTE
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59777	BARROSO	RUA	ALMIRANTE
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59785		RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59825		RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59827		RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	60296	DOS NAVEGANTES	AVENIDA	NOSSA SENHORA
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59817	SARMENTO	RUA	PROFESSOR
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59829		RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59831		RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	60294	DOS NAVEGANTES	AVENIDA	NOSSA SENHORA
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59815	SARMENTO	RUA	PROFESSOR
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59761		RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59769		RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59773	BARROSO	RUA	ALMIRANTE
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59775	BARROSO	RUA	ALMIRANTE
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59823		RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	60236	TAMANDARÉ	RUA	ALMIRANTE
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	60238	TAMANDARÉ	RUA	ALMIRANTE
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	51664	GAL. CAMARA	RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	60242	TAMANDARÉ	RUA	ALMIRANTE
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59117	VITÓRIO NUNES DA MOTTA	RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59789	TACIANO ABAURRE	RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59793		RUA	
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	60300	DOS NAVEGANTES	AVENIDA	NOSSA SENHORA
3205309	63914.76751400000	9714339.07999998000	59797		RUA	

Figura 16 - Base de dados com os nomes das ruas

Na etapa de preparação dos dados de entrada foram criados arquivos geográficos com a localização dos clientes e do depósito, e a tabulação dos seus respectivos dados.

Primeiramente, foi construída uma camada contendo as localizações dos 360 clientes e do depósito, junto com as informações necessárias de cada ponto. A Tabela 4 seguinte representa os campos a serem preenchidos da camada clientes e a Tabela 5 seguinte representa os campos utilizados para o depósito. A Figura 17 representa a base de dados da camada de pontos (clientes).

Tabela 4 - Campos da camada de pontos Clientes

Campo	Tipo	Conteúdo
ID	inteiro	Número que identifica o cliente
Name	caractere ou inteiro	Nome de cada cliente
Pickup	real	Quantidades de bombonas coletadas
Delivery	real	Quantidade de bombonas entregues
Node_ID	inteiro	Representa o número do ID mais próximo do cliente
Open Time	real	Tempo que os veículos podem começar a servir os clientes
Close Time	real	Último tempo que o cliente pode ser servido
Fixed Time	real	Tempo mínimo requerido para servir o cliente
Time Unit	real	Tempo de serviço requerido para cada unidade de demanda

Fonte: Adaptado de Caliper (1996)

Tabela 5 - Campos do depósito

Campo	Tipo	Conteúdo
ID	inteiro	Número que identifica o depósito
Name	caractere ou inteiro	Nome do depósito
Node_ID	inteiro	Representa o número do ID mais próximo do depósito
Vehicle Capacity	real	Capacidade do veículo operando no depósito
Open Time	real	Tempo que o veículo deve deixar o depósito para iniciar a coleta e entrega
Close Time	real	Tempo que o veículo deve terminar a coleta e entrega

Fonte: Adaptado de Caliper (1996)

ID	Longitude	Latitude	Nome	Node_ID	[Open Time]	[Close Time]	[Fixed Time]	[Unit Time]	[Fixed Service Time]	Pickup	Delivery
1	-40368645	-20245970	Depósito	33542	830	1730	--	--	--	--	--
2	-40347910	-20346881	Padaria Turay	10688	1000	1400	10	2	26	1	2
3	-40344894	-20342998	Lanch Show de Bola	21295	900	1700	10	2	26	1	2
4	-40348165	-20346087	Frizera Marins	30655	900	1700	10	2	26	2	1
5	-40326950	-20385661	Padaria Araças	32042	1100	1500	10	2	32	3	2
6	-40348321	-20330657	Lanchonete Museu	10129	900	1700	10	2	26	2	1
7	-40326479	-20419908	Estudio Bar	10748	900	1700	10	2	29	2	2
8	-40296176	-20353392	Degust	18144	1400	1700	10	2	26	1	2
9	-40284308	-20336440	Carone Matriz	16382	900	1700	10	2	26	2	1
10	-40296631	-20333848	Roda Pizza	30632	900	1700	10	2	29	2	2
11	-40302582	-20364227	Carone Coqueiral	9943	900	1700	10	2	32	3	2
12	-40306410	-20338973	Chur Tonini	17655	1400	1700	10	2	32	3	2
13	-40301397	-20362079	14 Bis	9940	900	1700	10	2	29	2	2
14	-40305412	-20335587	Mister Kim	17910	900	1700	10	2	32	3	2
15	-40314068	-20371667	Pad e Conf Maripan	32798	1200	1700	10	2	32	3	2
16	-40296843	-20360279	Casa da Alegria	18082	900	1700	10	2	26	2	1
17	-40306636	-20371329	Pad Manos Itaparica	18020	1200	1700	10	2	26	1	2
18	-40288767	-20348626	Pad Manos Itapoã	17977	1200	1700	10	2	20	0	1
19	-40285437	-20351268	Pastelaria da Praia	7854	900	1600	10	2	26	2	1
20	-40292171	-20357605	Quiosque Amigos	17560	900	1700	10	2	26	1	2
21	-40286385	-20346324	Carone Itapoã	18032	900	1700	10	2	38	4	3
22	-40314720	-20372507	American Bar Grill	32532	1400	1700	10	2	23	1	1
23	-40311578	-20376177	It Comemora	17446	900	1700	10	2	26	2	1
24	-40337164	-20331270	Cant Forno de Lenha	21972	1000	1600	10	2	32	2	3
25	-40283055	-20329874	KIJMON Inst de Educação	19029	900	1700	10	2	26	1	2
26	-40284044	-20342672	Portilho	10454	900	1700	10	2	32	2	3
27	-40275166	-20331064	Quiosque Tropical	17491	900	1700	10	2	29	2	2
28	-40284129	-20343507	Bristol	10455	900	1700	10	2	23	1	1
29	-40284546	-20336398	Carone Praia Costa	16382	900	1700	10	2	32	2	3
30	-40279314	-20330936	Pad Monte Libano	30749	1200	1700	10	2	26	1	2
31	-40274938	-20331097	Arrebentação	17491	900	1700	10	2	23	1	1
32	-40300079	-20333319	Cerimonial Atrium	30633	900	1700	10	2	26	1	2
33	-40286946	-20335170	Cabana da Praia	23195	900	1700	10	2	26	2	1
34	-40284792	-20342803	Rest Divina Carne	18284	1400	1700	10	2	35	3	3
35	-40284191	-20339174	Churrasc CostaBrasil	19438	1400	1700	10	2	32	3	2
36	-40274969	-20330492	Rest Timoneiro	10447	1400	1700	10	2	32	2	3

Figura 17 - Base de dados da camada de pontos

A definição da direção de cada rua não foi possível, pois a base de dados georreferenciada cedida pelo Geobases não possuía essa informação, sendo assim, foi considerado que todas as ruas possuíam direção dupla.

4.2.3 Preenchimento da base de dados

Para a execução da rotina específica de coleta e entrega do TransCAD (*mixed Pickup and Delivery*) foi necessária a construção da rede de transporte, a criação da matriz de roteirização, a resolução do problema de roteirização de veículos e a apresentação dos resultados.

Para a criação da rede de transportes é necessário selecionar a camada de linhas e nós que representa as ruas da área a ser estudada. Os campos de atributos também devem ser selecionados conforme a Figura 18.

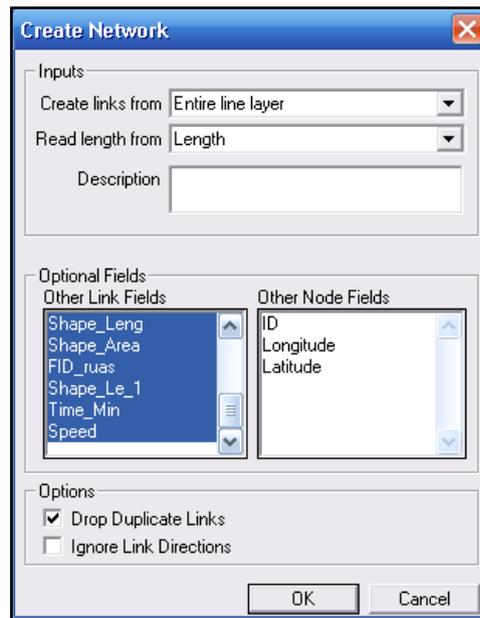


Figura 18 -Caixa de diálogo para a criação de rede de transportes

A matriz de roteirização é elaborada após a criação da rede de transportes. Foi utilizado o procedimento *Vehicle Routing Matrix* para criar a matriz de distâncias para a roteirização. Esta matriz contém as distâncias entre o depósito e os clientes, e entre todos os clientes relacionados por seus respectivos ID's. A Figura 19 mostra a matriz de roteirização e a caixa de diálogo usada para a criação da matriz.

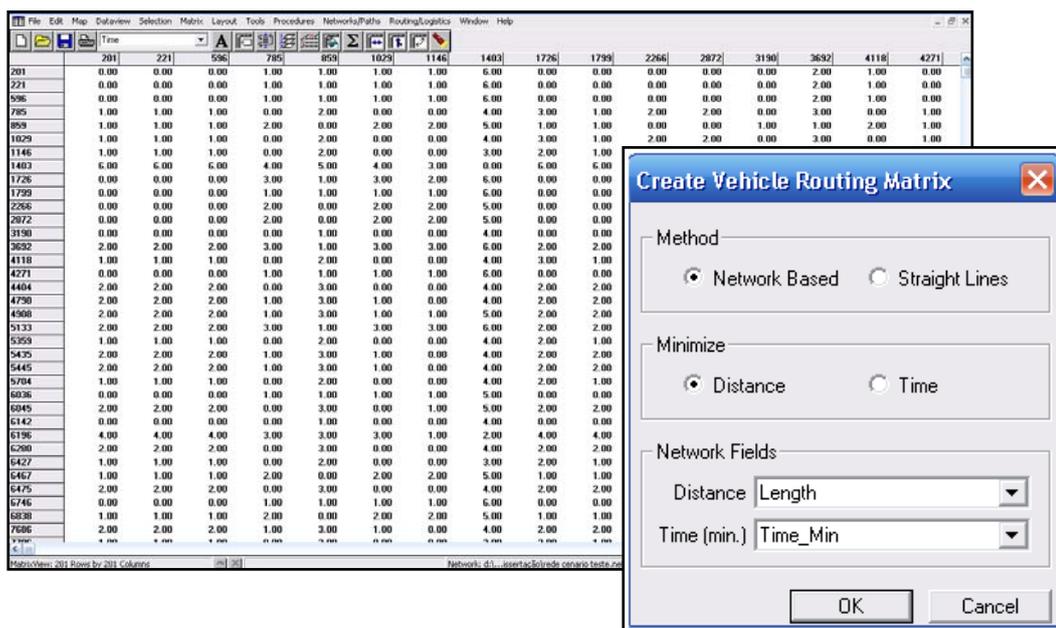


Figura 19 - Matriz de roteirização e caixa de diálogo do procedimento de criação da matriz de roteirização

Na etapa de resolução do problema de roteirização de veículo, foi utilizada a rotina *Vehicle Routing* para criar rotas otimizadas de viagem para os veículos e relatórios contendo os itinerários de cada rota. Nesta rotina foram utilizadas janelas de tempo para considerar as restrições de tempo no depósito e de tempo de serviço no cliente. Quando é utilizada esta restrição, as rotas que são geradas asseguram que as paradas acontecem apenas durante a janela de tempo disponível e que os itinerários gerados incluam informações sobre os tempos de paradas.

Para a roteirização de veículos, o aplicativo computacional utiliza uma heurística que tem como objetivo minimizar a distância total percorrida por todos os veículos e indiretamente minimizar o número de veículos necessários para servir todas as paradas. O TransCAD utiliza para solucionar o problema a abordagem de agrupar demandas primeiro e criar rotas depois (*“cluster first route second”*).

Segundo Rosa (1996), a abordagem “agrupar demandas primeiro e criar rotas depois” cria inicialmente agrupamentos de nós, com o objetivo de respeitar o carregamento máximo do veículo padrão da frota. O número de agrupamentos é igual ao número de veículos que a frota tem. Uma vez criados os agrupamentos, usa-se uma heurística para resolver o Problema de Coleta e Entrega Simultânea de mercadorias, a fim de encontrar a melhor rota entre os nós de cada agrupamento.

Dentre os quatro modos de operação encontrados na rotina *Vehicle Routing with Time Windows* foi utilizado na solução do problema o modo *Mixed Pickup and Delivery*, conforme Figura 20.

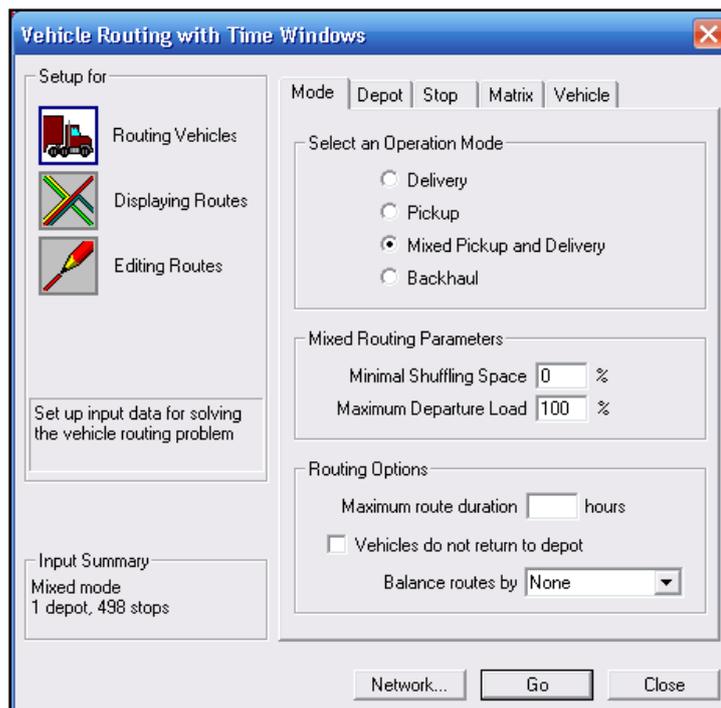


Figura 20 -Modo de operação utilizado na Rotina Vehicle Routing

Para a execução da rotina, na aba *Depot* da caixa de diálogo foi escolhida a camada de pontos (clientes), onde se encontra o depósito. Todas as informações referentes a essa aba se encontram na caixa de diálogo representado pela Figura 21.

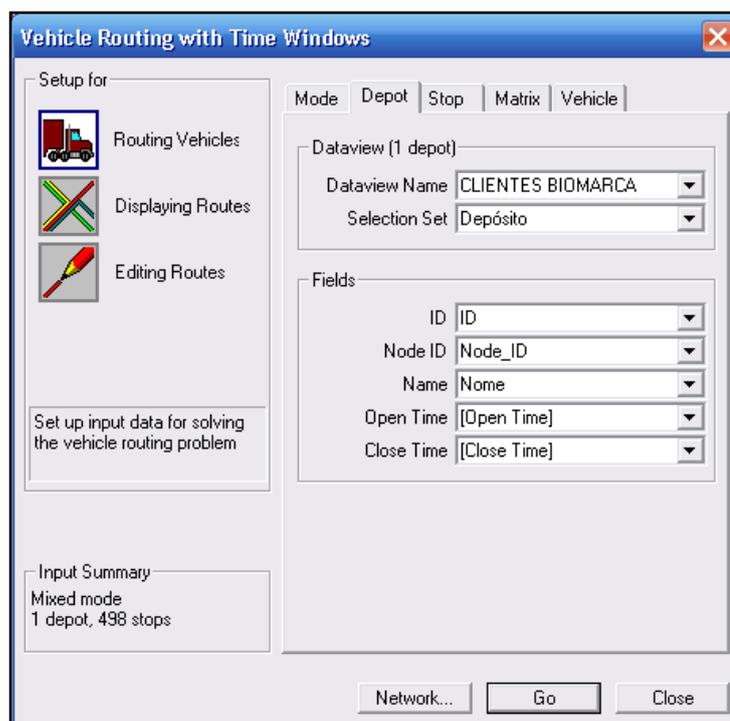


Figura 21 -Caixa de diálogo para preencher os dados referentes ao depósito

Na aba *Stop* da caixa de diálogo foi escolhida a camada pontos (clientes) e todas as paradas que foram selecionadas, conforme Figura 22.

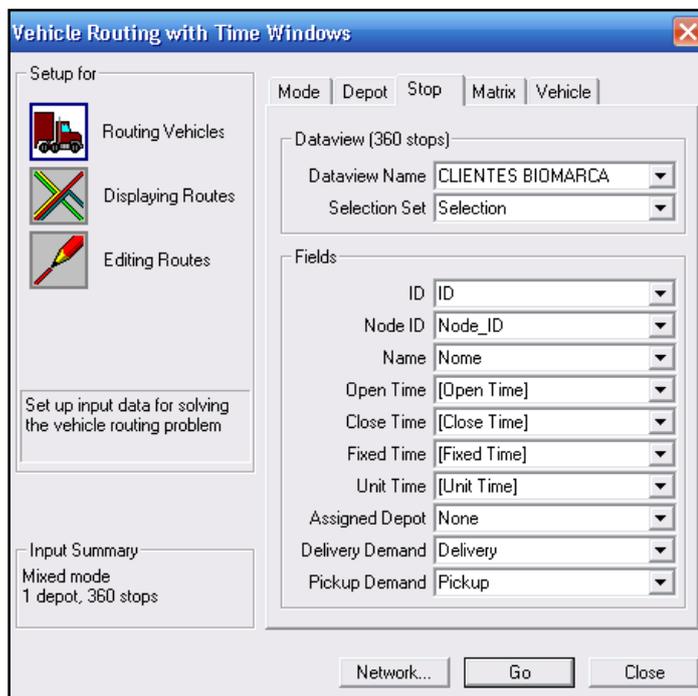


Figura 22-Caixa de diálogo para preencher os dados referentes as paradas de cada cliente

Na aba *Vehicle* deve ser inserida uma tabela de veículos, com a descrição dos veículos e a qual depósito serve (ver Figuras 23 e 24 e Tabela 6).

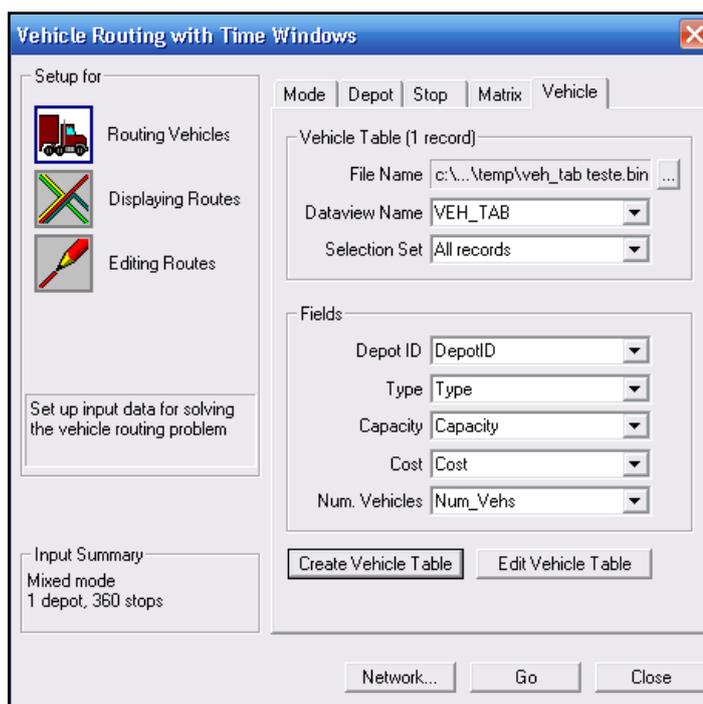


Figura 23 -Caixa de diálogo para preencher os dados referentes aos veículos

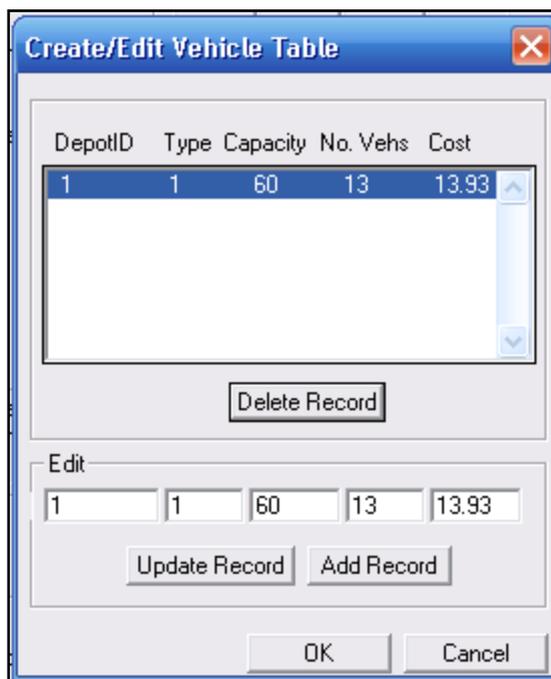


Figura 24 -Caixa de diálogo para preencher os dados referentes aos veículos

Tabela 6 -Tabela de veículos

Campo	Tipo	Conteúdo
Depot ID	inteiro	É o ID que representa o depósito
Type	inteiro	Código do tipo do veículo, deve ser único dentro de cada depósito
Capacity	real	Capacidade de cada veículo
Num_Vehs	inteiro	Quantidade de veículos
Cost	real	Custo de compra/operação/aluguel de cada tipo de veículo

Fonte: Adaptado de Caliper (1996)

Para apresentar os resultados, o TransCAD produz três tabelas: uma tabela contendo a lista de paradas em cada rota, um resumo de informação sobre o procedimento e um texto contendo o itinerário de cada veículo. A título de exemplo, a Tabela 7, a Tabela 8 e a Tabela 9 apresentam o itinerário, o resumo do procedimento e a lista de parada da Rota 1 do Cenário 11 e a Figura 25 o mapa das rotas do Cenário 11.

Tabela 7 - Itinerário gerado pelo TransCAD

Itinerary Report					
Route # : 1		Tot Time:	08:26	Capacity :	60.0
Veh. Type: 3		Tot Dist:	58.3	Depart Load:	50.0
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery	Pickup
	Depósito	8:53am			
1	Robs Lanche	9:00am- 9:20am	19.5	3.0	2.0
2	Rancho Serra Azul	9:20am- 9:46am	1.1	3.0	5.0
3	Bar Areia Mar	9:46am-10:04am	2.1	2.0	2.0
4	Tulipas Bar	10:04am-10:24am	1.5	3.0	2.0
5	Kiosque Farol	10:24am-10:40am	0.4	2.0	1.0
6	Rest Nutriserv	10:40am-11:00am	0.3	3.0	2.0
7	Kiosque Estrela do Mar	11:00am-11:16am	1.0	2.0	1.0
8	Kiosque Gonzagas	11:16am-11:30am		1.0	1.0
9	Kiosque Kyukei	11:30am-11:42am	0.0	--	1.0
10	Kiosque Mineirinho	11:42am-11:54am	0.0	1.0	--
11	Kiosque Mirante	11:54am-12:08pm	0.0	1.0	1.0
12	Kiosque Oasis	12:08pm-12:24pm		1.0	2.0
13	Kiosque Pontode Encontro1	12:24pm-12:40pm		2.0	1.0
14	Kiosque Pontode Encontro2	12:40pm-12:54pm		1.0	1.0
15	Kiosque Vania	12:54pm- 1:10pm		1.0	2.0
16	Kiosque Tia Maria	1:10pm- 1:26pm		2.0	1.0
17	Kiosque SKY	1:26pm- 1:40pm		1.0	1.0
18	Kiosque 7 Ondas	1:40pm- 1:56pm		1.0	2.0
19	Kiosque do Alemão	1:56pm- 2:08pm	0.0	1.0	--
20	Birité Rei do Kibe	2:08pm- 2:30pm	0.0	4.0	2.0
21	Kiosque do Mauro	2:30pm- 2:44pm		1.0	1.0
22	Kiosque Bola Cheia	2:44pm- 3:00pm		1.0	2.0
23	Kiosque Descontração	3:00pm- 3:12pm	0.0	--	1.0
24	Kiosque Galápagos	3:12pm- 3:28pm	0.0	1.0	2.0
25	Rest Estação 1 Manguinhos	3:28pm- 3:46pm	0.0	2.0	2.0
26	Cond Jacaraípe QD6	3:46pm- 4:00pm	0.8	1.0	1.0
27	Cond Jacaraípe QD7	4:00pm- 4:16pm	0.2	2.0	1.0
28	Cond Jacaraípe QD8	4:16pm- 4:28pm	0.2	1.0	--
29	Carbo Industrial	4:31pm- 4:51pm	5.6	3.0	2.0
30	Vanú	4:53pm- 5:11pm	7.1	3.0	1.0
END	Depósito	5:19pm	18.0		
Total			58.3	50.0	43.0

Tabela 8 - Resumo do procedimento gerado pelo TransCAD

Route	Veh. Type	Stop	Name	Node	Sequence	Open Time	Due Time	Arrival	Wait	Service Time	Departure	Travel Time	Distance	Tot. Dist.	Delivery	Pickup	Tot. Load	Stop Type	Stop Lay ID
1	3	1	Depósito	33542	0	830	1730				853			0.00			50.00	Depot	1
1	3	72	Robs Lanche	3692	1	900	1700	900	0.0	20.0	920	7.0	19.59	19.59	3.000	2.000	49.00	Delivery/Pickup	2
1	3	71	Rancho Serra Azul	5133	2	900	1700	920	0.0	26.0	946	0.0	1.11	20.71	3.000	5.000	51.00	Delivery/Pickup	3
1	3	130	Bar Areia Mar	34088	3	900	1700	946	0.0	18.0	1004	0.0	2.11	22.82	2.000	2.000	51.00	Delivery/Pickup	4
1	3	119	Tulipas Bar	33865	4	900	1700	1004	0.0	20.0	1024	0.0	1.52	24.34	3.000	2.000	50.00	Delivery/Pickup	5
1	3	88	Kiosque Farol	33874	5	900	1700	1024	0.0	16.0	1040	0.0	0.44	24.78	2.000	1.000	49.00	Delivery/Pickup	6
1	3	129	Rest Nutriserv	33722	6	900	1700	1040	0.0	20.0	1100	0.0	0.39	25.17	3.000	2.000	48.00	Delivery/Pickup	7
1	3	106	Kiosque Estrela do Mar	2872	7	900	1700	1100	0.0	16.0	1116	0.0	1.06	26.23	2.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup	8
1	3	108	Kiosque Gonzagas	2872	8	900	1700	1116	0.0	14.0	1130	0.0	0.00	26.23	1.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup	9
1	3	109	Kiosque Kyukei	2872	9	900	1700	1130	0.0	12.0	1142	0.0	0.00	26.23		1.000	48.00	Pickup	10
1	3	110	Kiosque Mineirinho	2872	10	900	1700	1142	0.0	12.0	1154	0.0	0.00	26.23	1.000		47.00	Delivery	11
1	3	111	Kiosque Mirante	2872	11	900	1700	1154	0.0	14.0	1208	0.0	0.00	26.23	1.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup	12
1	3	112	Kiosque Oasis	2872	12	900	1700	1208	0.0	16.0	1224	0.0	0.00	26.23	1.000	2.000	48.00	Delivery/Pickup	13
1	3	113	Kiosque Pontode Encontro1	2872	13	900	1700	1224	0.0	16.0	1240	0.0	0.00	26.23	2.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup	14
1	3	114	Kiosque Pontode Encontro2	2872	14	900	1700	1240	0.0	14.0	1254	0.0	0.00	26.23	1.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup	15
1	3	115	Kiosque Vania	2872	15	900	1700	1254	0.0	16.0	1310	0.0	0.00	26.23	1.000	2.000	48.00	Delivery/Pickup	16
1	3	116	Kiosque Tia Maria	2872	16	900	1700	1310	0.0	16.0	1326	0.0	0.00	26.23	2.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup	17
1	3	117	Kiosque SKY	2872	17	900	1700	1326	0.0	14.0	1340	0.0	0.00	26.23	1.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup	18
1	3	89	Kiosque 7 Ondas	2872	18	900	1700	1340	0.0	16.0	1356	0.0	0.00	26.23	1.000	2.000	48.00	Delivery/Pickup	19
1	3	104	Kiosque do Alemão	2872	19	900	1700	1356	0.0	12.0	1408	0.0	0.00	26.23	1.000		47.00	Delivery	20
1	3	86	Birté Rei do Kibe	2872	20	900	1700	1408	0.0	22.0	1430	0.0	0.00	26.23	4.000	2.000	45.00	Delivery/Pickup	21
1	3	105	Kiosque do Mauro	2872	21	900	1700	1430	0.0	14.0	1444	0.0	0.00	26.23	1.000	1.000	45.00	Delivery/Pickup	22
1	3	102	Kiosque Bola Cheia	2872	22	900	1700	1444	0.0	16.0	1500	0.0	0.00	26.23	1.000	2.000	46.00	Delivery/Pickup	23
1	3	103	Kiosque Descontração	2872	23	900	1700	1500	0.0	12.0	1512	0.0	0.00	26.23		1.000	47.00	Pickup	24
1	3	107	Kiosque Galápagos	2872	24	900	1700	1512	0.0	16.0	1528	0.0	0.00	26.23	1.000	2.000	48.00	Delivery/Pickup	25
1	3	118	Rest Estação 1 Manguinhos	2266	25	900	1700	1528	0.0	18.0	1546	0.0	0.04	26.28	2.000	2.000	48.00	Delivery/Pickup	26
1	3	134	Cond Jacaraípe QD6	859	26	900	1700	1546	0.0	14.0	1600	0.0	0.81	27.08	1.000	1.000	48.00	Delivery/Pickup	27
1	3	135	Cond Jacaraípe QD7	6467	27	900	1700	1600	0.0	16.0	1616	0.0	0.23	27.32	2.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup	28
1	3	136	Cond Jacaraípe QD8	6838	28	900	1700	1616	0.0	12.0	1628	0.0	0.22	27.54	1.000		46.00	Delivery	29
1	3	66	Carbo Industrial	6196	29	900	1700	1631	0.0	20.0	1651	3.0	5.61	33.14	3.000	2.000	45.00	Delivery/Pickup	30
1	3	84	Vanú	1403	30	900	1700	1653	0.0	18.0	1711	2.0	7.10	40.24	3.000	1.000	43.00	Delivery/Pickup	31
1	3	1	Depósito	33542	31	830	1730	1719				8.0	18.04	58.28			43.00	Depot	32

Tabela 9 - Lista de parada gerada pelo TransCAD

ID	Route_ID	Milepost	Stop_ID	Route	Veh. Type	Stop	Name	Node	Sequence	Open Time	Due Time	Arrival	Wait	Service Time	Departure	Travel Time	Distance	Tot. Dist.	Delivery	Pickup	Tot. Load	Stop Type
1	1	0.000000	1	1	3	1	Depósito	33542	0	830	1730				853			0.00			50.00	Depot
2	1	19.591.690	2	1	3	72	Robs Lanche	3692	1	900	1700	900	0.0	20.0	920	7.0	19.59	19.59	3.000	2.000	49.00	Delivery/Pickup
3	1	20.705.128	3	1	3	71	Rancho Serra Azul	5133	2	900	1700	920	0.0	26.0	946	0.0	1.11	20.71	3.000	5.000	51.00	Delivery/Pickup
4	1	22.819.138	4	1	3	130	Bar Areia Mar	34088	3	900	1700	946	0.0	18.0	1004	0.0	2.11	22.82	2.000	2.000	51.00	Delivery/Pickup
5	1	24.336.926	5	1	3	119	Tulipas Bar	33865	4	900	1700	1004	0.0	20.0	1024	0.0	1.52	24.34	3.000	2.000	50.00	Delivery/Pickup
6	1	24.775.108	6	1	3	88	Kiosque Farol	33874	5	900	1700	1024	0.0	16.0	1040	0.0	0.44	24.78	2.000	1.000	49.00	Delivery/Pickup
7	1	25.169.838	7	1	3	129	Rest Nutriserv	33722	6	900	1700	1040	0.0	20.0	1100	0.0	0.39	25.17	3.000	2.000	48.00	Delivery/Pickup
8	1	26.233.604	8	1	3	106	Kiosque Estrela do Mar	2872	7	900	1700	1100	0.0	16.0	1116	0.0	1.06	26.23	2.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup
9	1	26.233.604	9	1	3	108	Kiosque Gonzagas	2872	8	900	1700	1116	0.0	14.0	1130	0.0	0.00	26.23	1.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup
10	1	26.233.604	10	1	3	109	Kiosque Kyukei	2872	9	900	1700	1130	0.0	12.0	1142	0.0	0.00	26.23		1.000	48.00	Pickup
11	1	26.233.604	11	1	3	110	Kiosque Mineirinho	2872	10	900	1700	1142	0.0	12.0	1154	0.0	0.00	26.23	1.000		47.00	Delivery
12	1	26.233.604	12	1	3	111	Kiosque Mirante	2872	11	900	1700	1154	0.0	14.0	1208	0.0	0.00	26.23	1.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup
13	1	26.233.604	13	1	3	112	Kiosque Oasis	2872	12	900	1700	1208	0.0	16.0	1224	0.0	0.00	26.23	1.000	2.000	48.00	Delivery/Pickup
14	1	26.233.604	14	1	3	113	Kiosque Pontode Encontro1	2872	13	900	1700	1224	0.0	16.0	1240	0.0	0.00	26.23	2.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup
15	1	26.233.604	15	1	3	114	Kiosque Pontode Encontro2	2872	14	900	1700	1240	0.0	14.0	1254	0.0	0.00	26.23	1.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup
16	1	26.233.604	16	1	3	115	Kiosque Vania	2872	15	900	1700	1254	0.0	16.0	1310	0.0	0.00	26.23	1.000	2.000	48.00	Delivery/Pickup
17	1	26.233.604	17	1	3	116	Kiosque Tia Maria	2872	16	900	1700	1310	0.0	16.0	1326	0.0	0.00	26.23	2.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup
18	1	26.233.604	18	1	3	117	Kiosque SKY	2872	17	900	1700	1326	0.0	14.0	1340	0.0	0.00	26.23	1.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup
19	1	26.233.604	19	1	3	89	Kiosque 7 Ondas	2872	18	900	1700	1340	0.0	16.0	1356	0.0	0.00	26.23	1.000	2.000	48.00	Delivery/Pickup
20	1	26.233.604	20	1	3	104	Kiosque do Alemão	2872	19	900	1700	1356	0.0	12.0	1408	0.0	0.00	26.23	1.000		47.00	Delivery
21	1	26.233.604	21	1	3	86	Birité Rei do Kibe	2872	20	900	1700	1408	0.0	22.0	1430	0.0	0.00	26.23	4.000	2.000	45.00	Delivery/Pickup
22	1	26.233.604	22	1	3	105	Kiosque do Mauro	2872	21	900	1700	1430	0.0	14.0	1444	0.0	0.00	26.23	1.000	1.000	45.00	Delivery/Pickup
23	1	26.233.604	23	1	3	102	Kiosque Bola Cheia	2872	22	900	1700	1444	0.0	16.0	1500	0.0	0.00	26.23	1.000	2.000	46.00	Delivery/Pickup
24	1	26.233.604	24	1	3	103	Kiosque Descontração	2872	23	900	1700	1500	0.0	12.0	1512	0.0	0.00	26.23		1.000	47.00	Pickup
25	1	26.233.604	25	1	3	107	Kiosque Galápagos	2872	24	900	1700	1512	0.0	16.0	1528	0.0	0.00	26.23	1.000	2.000	48.00	Delivery/Pickup
26	1	26.277.849	26	1	3	118	Rest Estação 1 Manguinhos	2266	25	900	1700	1528	0.0	18.0	1546	0.0	0.04	26.28	2.000	2.000	48.00	Delivery/Pickup
27	1	27.083.641	27	1	3	134	Cond Jacaraípe QD6	859	26	900	1700	1546	0.0	14.0	1600	0.0	0.81	27.08	1.000	1.000	48.00	Delivery/Pickup
28	1	27.316.668	28	1	3	135	Cond Jacaraípe QD7	6467	27	900	1700	1600	0.0	16.0	1616	0.0	0.23	27.32	2.000	1.000	47.00	Delivery/Pickup
29	1	27.535.591	29	1	3	136	Cond Jacaraípe QD8	6838	28	900	1700	1616	0.0	12.0	1628	0.0	0.22	27.54	1.000		46.00	Delivery
30	1	33.141.212	30	1	3	66	Carbo Industrial	6196	29	900	1700	1631	0.0	20.0	1651	3.0	5.61	33.14	3.000	2.000	45.00	Delivery/Pickup
31	1	40.236.881	31	1	3	84	Vanú	1403	30	900	1700	1653	0.0	18.0	1711	2.0	7.10	40.24	3.000	1.000	43.00	Delivery/Pickup
32	1	58.277.161	32	1	3	1	Depósito	33542	31	830	1730	1719				8.0	18.04	58.28			43.00	Depot

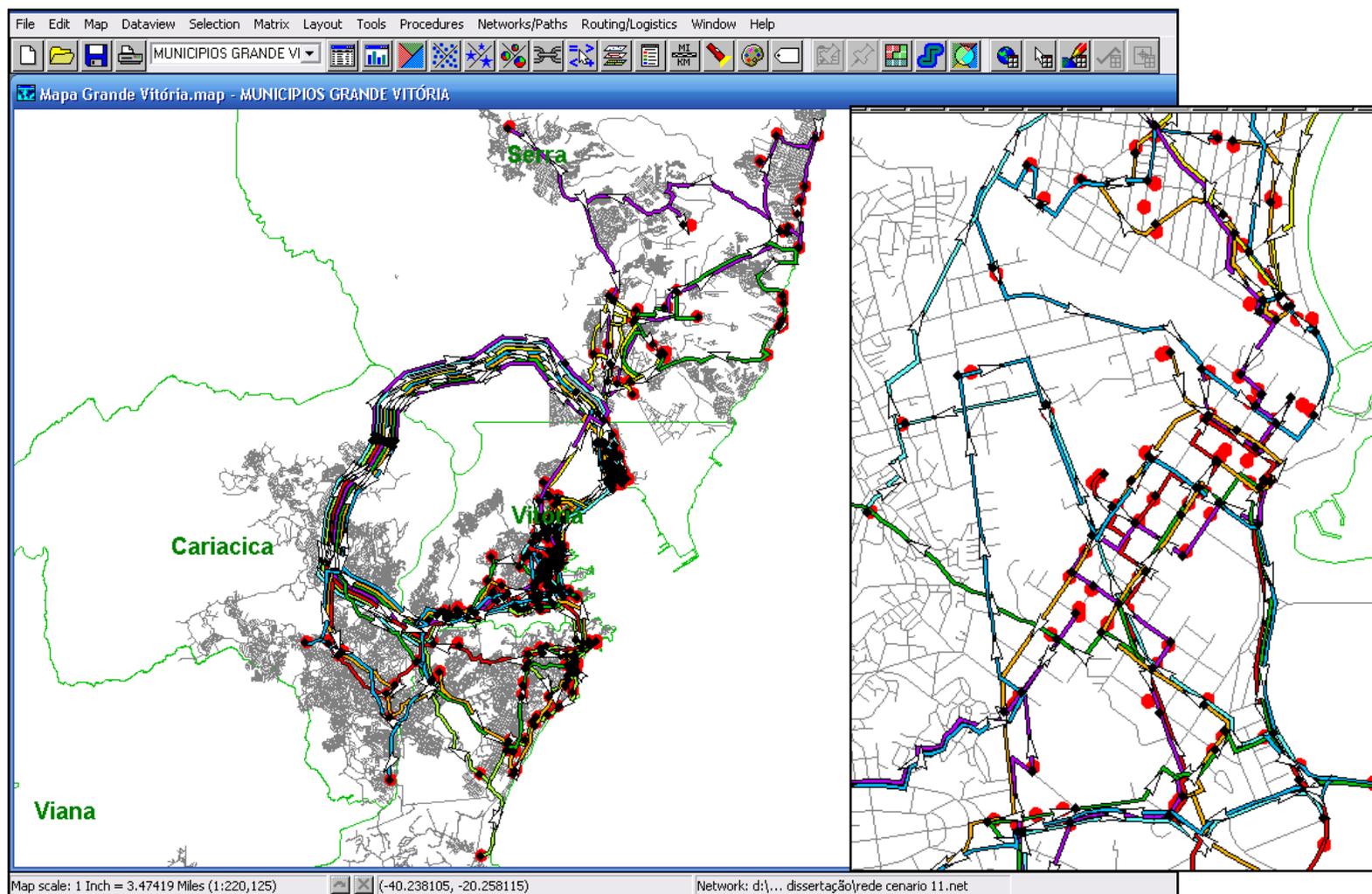


Figura 25 - Mapa das Rotas do Cenário 11, gerado pelo TransCAD
Fonte da base de dados geográficos georreferenciados: GEOBASES, 2008.

4.3 Cenários de Testes

Foram realizados dezoito cenários, visando testar o modelo no TransCAD de diversas situações diferentes. O Cenário 1 buscou reproduzir uma situação similar ao padrão de coleta e entrega da empresa, porém com um número diferente de veículos e bombonas utilizados. Outros dezessete cenários foram gerados variando os parâmetros: alocação de diferentes tipos de veículos de coleta e entrega, alteração nos tempos de entrega e coleta, variações nas janelas de atendimento, restrição de duração máxima da rota e utilização de frota heterogênea.

Do Cenário 1 ao Cenário 12, buscou-se avaliar qual é o impacto do tipo de veículo utilizado na frota, da variação nas janelas de atendimento e da alteração nos tempos de coleta e entrega na solução do problema. Foram utilizados três tipos de veículos:

- veículo tipo 1 – Pickup Fiat Strada,
- veículo tipo 2 – Ford F-250
- veículo tipo 3 – Mercedes Bens 709

Com o intuito de verificar a utilização de restrição de tempo máximo da rota de 4 horas, podendo assim, dividir o atendimento em dois turnos (matutino e vespertino) e realizar o reaproveitamento da frota, foram desenvolvidos os testes do Cenário 13 e do Cenário 14.

Como a realidade atual das empresas é de comprar e utilizar vários tipos de veículos na frota, foi testado do Cenário 15 ao Cenário 18, a utilização de frotas heterogêneas para testar a adequabilidade da proposta de resolução ao problema. Buscou-se avaliar, além da utilização da frota heterogênea, qual é o impacto da variação nas janelas de atendimento e da alteração nos tempos de coleta e entrega na solução do problema.

As características principais de cada cenário são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Descrição dos Cenários de Testes

Cenário	Tipo Veículo	Números de Veículos	Capac. Útil p/ cada Veículo (bombonas)	Capacidade Total (bombonas)	Janela de Atendimento depósito (hs)	Janela de Atendimento Clientes (hs)	Tempo Máximo da Rota	Tempo Fixo de Entrega (min)	Tempo Variável de Entrega (min)
1	1	69	10	690	08:30 - 17:30	9:00 - 17:00	9 horas	17	3
2	1	69	10	690	08:30 - 17:30	restrita a cada cliente	9 horas	17	3
3	1	69	10	690	08:30 - 17:30	9:00-17:00	9 horas	10	2
4	1	69	10	690	08:30 - 17:30	restrita a cada cliente	9 horas	10	2
5	2	37	18	666	08:30 - 17:30	9:00 - 17:00	9 horas	17	3
6	2	38	18	684	08:30 - 17:30	restrita a cada cliente	9 horas	17	3
7	2	37	18	666	08:30 - 17:30	9:00 - 17:00	9 horas	10	2
8	2	38	18	684	08:30 - 17:30	restrita a cada cliente	9 horas	10	2
9	3	21	60	1260	08:30 - 17:30	9:00 - 17:00	9 horas	17	3
10	3	20	60	1200	08:30 - 17:30	restrita a cada cliente	9 horas	17	3
11	3	13	60	780	08:30 - 17:30	9:00 - 17:00	9 horas	10	2
12	3	14	60	840	08:30 - 17:30	restrita a cada cliente	9 horas	10	2
13	1	35	10	350	08:00 - 12:00	08:00 - 12:00	4 horas	17	3
14	1	33	10	330	14:00 - 18:00	14:00 - 18:00	4 horas	17	3
15	1	30	10	678	08:30 - 17:30	9:00-17:00	9 horas	17	3
	2	21	18						
16	1	30	10	678	08:30 - 17:30	restrita a cada cliente	9 horas	17	3
	2	21	18						
17	1	30	10	678	08:30 - 17:30	9:00 - 17:00	9 horas	10	2
	2	21	18						
18	1	31	10	688	08:30 - 17:30	restrita a cada cliente	9 horas	10	2
	2	21	18						

No sistema atual de coleta e entrega da empresa em estudo, existe uma frota pequena de veículos do tipo Pickup Fiat Strada, que realiza duas viagens por dia para atender aos clientes que solicitam atendimento naquele dia.

Para efetuar os testes propostos foi dimensionada uma utilização máxima da capacidade da empresa, ou seja, todos os 350 clientes solicitariam recolhimento e entrega de bombonas naquele determinado dia. Assim, o número de veículos e a capacidade total dos veículos dos cenários (número de veículos multiplicado pela capacidade de cada veículo) foi o valor mais próximo possível para que todos os clientes fossem atendidos dentro das restrições impostas por cada cenário.

O tempo fixo de coleta e entrega é o tempo mínimo requerido para servir o cliente, por exemplo, tempo de se estacionar o veículo, abordar o cliente e começar o trabalho de coleta e entrega das bombonas.

O tempo variável de coleta e entrega é o tempo de serviço requerido para cada unidade de mercadoria coletada e entregue, por exemplo, é o tempo gasto para se coletar cada bombona cheia de óleo residual de fritura e entregar cada bombona vazia no estabelecimento.

Com base na Tabela 10 apresentada anteriormente, é feita uma descrição detalhada de cada cenário testado.

O Cenário 1 reproduziu condições similares ao padrão de coleta e entrega da empresa em um determinado dia, ou seja, janela de atendimento das 9h às 17h para todos os 360 clientes atendidos e de 8h30 às 17h30 para o depósito. Foi dimensionada uma demanda máxima de coleta e entrega de bombonas. Assim, a demanda de bombonas coletadas e entregues aos clientes foi de 630 bombonas coletadas cheias e 624 bombonas entregues vazias.

Neste cenário a frota foi composta por sessenta e nove veículos do tipo Pickup, da marca Fiat Strada, com capacidade de 10 bombonas cada (são utilizadas bombonas de boca larga com capacidade de 50 litros). Os tempos de entrega e coleta foram de

17 minutos para o tempo fixo de parada (independente da demanda) e de 3 minutos para o tempo por unidade (tempo requerido para carregar ou descarregar cada bombona).

O Cenário 2 procurou testar condições mais restritivas de janela de atendimento ao cliente, ou seja, cada cliente solicitou ser atendido em um determinado horário com uma janela de atendimento menor. O horário de atendimento do depósito continua a ser de 8h30 às 17h30. A demanda de bombonas coletadas e entregues aos 360 clientes atendidos foi de 630 bombonas coletadas cheias e 624 bombonas entregues vazias. Neste cenário a frota foi composta por sessenta e nove veículos do tipo Pickup, da marca Fiat Strada, com capacidade de 10 bombonas cada. Os tempos de entrega e coleta foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por bombona.

No Cenário 3, foram mantidas as condições do Cenário 1 de número e tipo de veículos, demanda de bombonas coletas e entregues aos 360 clientes e horário de atendimento do depósito e dos clientes. Foi testada a redução nos tempos de coleta e entrega: o tempo fixo de 17 minutos foi alterado para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 minutos foi reduzido para 2 minutos.

No Cenário 4, foram mantidas as condições do Cenário 2 de número e tipo de veículos, demanda de bombonas coletas e entregues aos 360 clientes e horário de atendimento do depósito e dos clientes. Foi testada a redução nos tempos de coleta e entrega: o tempo fixo de 17 minutos foi alterado para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 minutos foi reduzido para 2 minutos.

O Cenário 5 buscou avaliar a alocação de um outro tipo de veículo na frota, um veículo do tipo Ford F-250, com capacidade de 18 bombonas cada. O horário de atendimento do depósito é de 08h30 às 17h30 e o horário dos 360 clientes é de 9h às 17h. A demanda de bombonas coletadas e entregues aos clientes foi de 630 bombonas coletadas cheias e 624 bombonas entregues vazias. Neste cenário foi testada uma frota de trinta e sete veículos do tipo Ford F-250. Os tempos de entrega

e coleta foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por bombona.

O Cenário 6 procurou testar condições mais restritivas no horário de atendimento dos clientes realizado pelo veículo do tipo Ford F-250. Cada cliente solicitou ser atendido em um determinado horário. O horário de atendimento do depósito continua a ser de 08h30 às 17h30. A demanda de bombonas coletadas e entregues aos 360 clientes atendidos foi de 630 bombonas coletadas cheias e 624 bombonas entregues vazias. Neste cenário a frota utilizada foi de trinta e oito veículos do tipo Ford F-250, com capacidade de 18 bombonas cada. Os tempos de entrega e coleta foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por bombona.

No Cenário 7, foram mantidas as condições do Cenário 5 de número e tipo de veículos, demanda de bombonas coletas e entregues aos 360 clientes e horário de atendimento do depósito e dos clientes. Foi testada a redução nos tempos de coleta e entrega: o tempo fixo de 17 minutos foi alterado para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 minutos foi reduzido para 2 minutos.

No Cenário 8, foram mantidas as condições do Cenário 6 de número e tipo de veículos, demanda de bombonas coletas e entregues aos 360 clientes e horário de atendimento do depósito e dos clientes. Foi testada a redução nos tempos de coleta e entrega: o tempo fixo de 17 minutos foi alterado para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 minutos foi reduzido para 2 minutos.

O Cenário 9 buscou testar a alocação de um tipo de veículo com capacidade maior que a Pickup Fiat Strada e que o Ford F-250. Foram utilizados vinte e um veículos do tipo Mercedes Bens 709 com capacidade de 60 bombonas cada. O horário de atendimento do depósito é de 08h30 às 17h30 e dos 360 clientes é de 9h às 17h. A demanda de bombonas coletadas e entregues aos clientes foi de 630 bombonas coletadas cheias e 624 bombonas entregues vazias. Os tempos de entrega e coleta foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por bombona.

O Cenário 10 procurou testar condições mais restritivas no horário de atendimento dos clientes realizados pelo veículo do tipo Mercedes Bens 709. Cada cliente solicitou ser atendido em um determinado horário. O horário de atendimento do depósito continua a ser de 08h30 às 17h30. A demanda de bombonas coletadas e entregues aos 360 clientes atendidos foi de 630 bombonas coletadas cheias e 624 bombonas entregues vazias. Neste cenário é testada uma frota com vinte veículos do tipo Mercedes Bens 709, com capacidade de 60 bombonas cada. Os tempos de entrega e coleta foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por bombona.

No Cenário 11, foram mantidas as condições do Cenário 9 de tipo de veículos, demanda de bombonas coletas e entregues aos 360 clientes e de horário de atendimento do depósito e dos clientes. Foi testada a redução nos tempos de coleta e entrega: o tempo fixo de 17 minutos foi alterado para 10 minutos e o tempo por unidade caiu de 3 minutos para 2 minutos. Foram utilizados na frota treze veículos do tipo Mercedes Bens 709 com capacidade de 60 bombonas cada.

No Cenário 12, foram mantidas as condições do Cenário 10 de tipo de veículos, demanda de bombonas coletas e entregues aos 360 clientes e de horário de atendimento do depósito e dos clientes. Foi testada a redução nos tempos de coleta e entrega: o tempo fixo de 17 minutos foi alterado para 10 minutos e o tempo por unidade foi reduzido de 3 minutos para 2 minutos. Foram utilizados na frota quatorze veículos do tipo Mercedes Bens 709 com capacidade de 60 bombonas cada.

O Cenário 13 buscou testar a imposição de uma restrição mais severa de 4 horas de duração máxima da rota. No Cenário 13 foi utilizado um segundo tipo de restrição de janela de atendimento, onde o próprio cliente escolhe o turno que será atendido. Esta restrição difere dos primeiros cenários envolvendo restrição de atendimento, pois agora o horizonte de planejamento da empresa passou a ser de meio dia, sendo assim, o cliente tem a opção de ser atendido no mesmo dia que fez o pedido, dependendo do turno que escolheu para ser atendido.

Para selecionar os clientes que seriam atendidos no turno matutino foi realizado um sorteio aleatório para escolher 180 clientes. Ver APÊNDICE A.

Neste cenário, a frota foi composta por trinta e cinco veículos do tipo Pickup Fiat Strada com capacidade de 10 bombonas cada. O horário de atendimento do depósito e dos 180 clientes selecionados é de 8h às 12h. A restrição de duração máxima da rota é de 4 horas. A demanda de bombonas coletadas e entregues aos clientes foi de 322 bombonas coletadas cheias e 312 bombonas entregues vazias. Os tempos de entrega e coleta foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por bombona.

O Cenário 14 buscou atender os 180 clientes que foram sorteados aleatoriamente para serem atendidos no período vespertino. Foi utilizado na frota trinta e três veículos do tipo Pickup Fiat Strada, com capacidade de 10 bombonas cada. O horário de atendimento do depósito e dos clientes é de 14h às 18h. A restrição de duração máxima da rota é de 4 horas. A demanda de bombonas coletadas e entregues aos clientes foi de 308 bombonas coletadas cheias e 312 bombonas entregues vazias. Os tempos de entrega e coleta foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por bombona.

O Cenário 15 buscou avaliar a utilização de frota heterogênea para atender os 360 clientes. Neste cenário é testada uma frota com trinta veículos do tipo Pickup Fiat Strada, com capacidade de 10 bombonas cada e vinte e um veículos do tipo Ford F-250, com capacidade de 18 bombonas cada. O horário de atendimento do depósito é de 08h30 às 17h30 e dos clientes é de 9h às 17h. A demanda de bombonas coletadas e entregues aos clientes foi de 630 bombonas coletadas cheias e 624 bombonas entregues vazias. Os tempos de entrega e coleta foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por bombona.

O Cenário 16 procurou testar condições mais restritivas no horário de atendimento dos clientes utilizando frota heterogênea. Cada cliente solicitou ser atendido em um determinado horário. O horário de atendimento do depósito continua a ser de 08h30 às 17h30. A demanda de bombonas coletadas e entregues aos 360 clientes

atendidos foi de 630 bombonas coletadas cheias e 624 bombonas entregues vazias. Neste cenário foram utilizados na frota trinta veículos do tipo Pickup Fiat Strada e vinte e um veículos do tipo Ford F-250, com capacidade de 10 bombonas e 18 bombonas cada. Os tempos de entrega e coleta foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por bombona.

No Cenário 17, foram mantidas as condições utilizadas no Cenário 15 de números e tipo de veículos, demanda de bombonas coletas e entregues aos 360 clientes e horário de atendimento do depósito e dos clientes. Foi testada à redução nos tempos de coleta e entrega: o tempo fixo de 17 minutos foi alterado para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 minutos foi reduzido para 2 minutos.

No Cenário 18, foram mantidas as condições utilizadas no Cenário 16 de tipos de veículos, demanda de bombonas coletas e entregues aos 360 clientes e horário de atendimento do depósito e dos clientes. Foi testada à redução nos tempos de coleta e entrega: o tempo fixo de 17 minutos foi alterado para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 minutos foi reduzido para 2 minutos. Neste cenário, a frota é composta por trinta e um veículos do tipo Pickup e vinte e um veículos do tipo Ford F-250 com capacidade de 10 e 18 bombonas cada.

CAPÍTULO 5 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar e analisar os resultados obtidos pela proposta de resolução descrita no capítulo anterior. A seção 5.1 apresenta os resultados alcançados para cada um dos cenários de testes propostos no capítulo anterior e a seção 5.2 apresenta uma análise dos resultados presentes na seção 5.1.

5.1 Apresentação dos Resultados

Para cada um dos 18 Cenários descritos no capítulo anterior foi executado a rotina *Vehicle Routing* através do modo de operação *Mixed Pickup and Delivery* do TransCAD, sendo que para cada um dos cenários o programa gerou três tabelas.

A primeira delas é uma tabela contendo a lista de paradas em cada rota, indicando número de paradas, tipos de veículos, tempos de chegada e saída, distância total da viagem, quantidade de mercadorias coletadas e entregues, entre outras.

A segunda é um resumo do procedimento indicando o número de rotas criadas, duração total em termos de tempo e distância de cada uma delas, capacidade utilizada e ociosa da frota, entre outros.

A terceira é um texto contendo o itinerário de cada veículo (seqüência de visitas aos clientes) com tempos e distância a serem cumpridos, desde a saída do depósito até o retorno ao mesmo.

A Tabela 11 apresenta um resumo com os principais resultados das roteirizações dos dezoito cenários testados, que serão analisados na seqüência.

Tabela 11 - Resultado das Roteirizações

Cenário	Tempo total gasto para atender todos os clientes (hs)	Distância total percorrida por toda a frota (km)	Tipo do Veículo	Número de Veículos utilizados nas rotas	Distância Média por veículo (km)	Utilização Média da Capacidade da Frota (%)	Clientes não atendidos
1	171:05:00	2050,10	1	69	29,71	90,87%	0
2	171:05:00	2050,10	1	69	29,71	90,87%	0
3	108:11:00	2050,10	1	69	29,71	90,87%	0
4	108:11:00	2050,10	1	69	29,71	90,87%	0
5	168:21:00	1208,20	2	37	32,65	94,14%	0
6	168:23:00	1237,50	2	38	32,57	91,67%	0
7	105:27:00	1208,20	2	37	32,65	94,14%	0
8	105:29:00	1232,50	2	38	32,43	91,67%	0
9	166:52:00	715,40	3	21	34,07	50,16%	0
10	166:53:00	847,00	3	20	42,35	52,25%	0
11	103:17:00	513,40	3	13	39,49	80,38%	0
12	103:24:00	596,90	3	14	42,64	74,64%	0
13	85:59:00	1053,50	1	35	30,10	90,57%	0
14	85:05:00	1006,90	1	33	30,51	93,94%	0
15	168:49:00	1570,80	1	30	30,80	92,48%	0
			2	21			
16	168:50:00	1572,70	1	30	30,84	92,48%	0
			2	21			
17	105:55:00	1570,80	1	30	30,80	92,48%	0
			2	21			
18	105:57:00	1601,70	1	31	30,80	91,13%	0
			2	21			

5.2 Análise dos Resultados

Com base na Tabela 11 apresentada anteriormente, serão descritas as análises mais relevantes de cada cenário e quando couberem as análises mais relevantes entre cenários similares.

Visando organizar a análise feita a seguir, ela foi dividida em 3 etapas:

- Etapa 1 – Análise geral em função dos veículos da frota;
- Etapa 2 – Proposta de uma nova abordagem de atendimento aos clientes;
- Etapa 3 – Proposta de utilização de frota heterogênea.

Etapa 1 – Análise Geral em Função dos Veículos da Frota

A etapa 1 foi dividida em três blocos em função da capacidade do veículo. São eles:

- 1) Bloco 1-Veículo do tipo Pickup Fiat Strada com capacidade de 10 bombonas;
- 2) Bloco 2-Veículo do tipo Ford F-250 com capacidade de 18 bombonas;
- 3) Bloco 3-Veículo tipo Mercedes Bens 709 com capacidade de 60 bombonas.

Bloco 1 - Veículo do tipo Pickup Fiat Strada com capacidade de 10 bombonas

A Pickup Fiat Strada é o veículo atualmente utilizado pela empresa em estudo e por essa razão os cenários analisados se iniciam com este veículo.

No Cenário 1 todos os clientes foram atendidos e foi detectado que pelo fato do veículo possuir uma baixa capacidade, as rotas iniciam as 8h e terminam as 13h. Um outro fator que colaborou para que o atendimento acontecesse praticamente só no turno matutino, foi o fato das janelas de tempo dos clientes não possuírem restrição severa, permitindo entrega ou coleta das 9h às 17h. Além disso, a janela de atendimento do depósito era de 8h30 às 17h30.

Nos resultados da Tabela 11 percebeu-se uma utilização média da capacidade da frota muito boa, 90,87%.

Para o Cenário 2, foram mantidas as condições do Cenário 1 de tipo de veículo utilizado (Pickup Fiat Strada) e de tempos de coleta e entrega (17 minutos para o

tempo fixo de parada e 3 minutos para o tempo por unidade) e foi analisado qual é o impacto da redução da janela de atendimento na resolução do problema, ou seja, os clientes agora possuem janelas de tempo restrita e específicas para cada um.

Os resultados são muito parecidos com os encontrados no Cenário 1, vide Tabela 11. No entanto, apesar dos resultados da Tabela 11 serem iguais, numa análise mais detalhada, percebe-se que por conta da janela de tempo mais restrita e específica, alguns clientes foram atendidos na parte da tarde em função de sua janela de atendimento.

Inicialmente, tinha-se a expectativa que este cenário, em função das janelas de atendimento mais restritas dos clientes, necessitaria de uma frota maior do que a utilizada no Cenário 1, no entanto, o software de roteirização conseguiu com a mesma frota atender as restrições de janela de tempo. Isto se deveu ao fato que ele criou rotas no turno vespertino.

O Cenário 3 manteve as condições do Cenário 1 de tipo de veículo utilizado (Pickup Fiat Strada) e de janela de atendimento ao cliente (9h às 17h) e testou a redução nos tempos de coleta e entrega dos 360 clientes. O tempo fixo passou de 17 para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 para 2 minutos. O Gráfico 1 apresenta o impacto na alteração dos tempos de coleta e entrega na solução do problema.

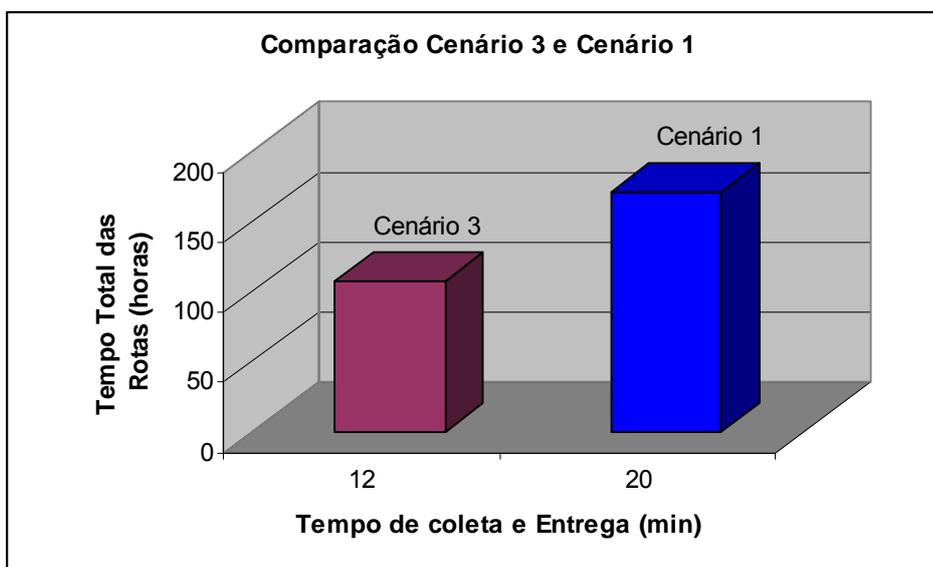


Gráfico 1 - Impacto da Alteração nos tempos de Coleta e Entrega

Como era esperado, conforme Tabela 11 e Gráfico 1, o tempo total gasto para atender os clientes diminuiu com a diminuição do tempo de coleta e entrega. A distância total percorrida por toda a frota permaneceu a mesma.

No entanto, como o veículo era o mesmo do Cenário 1, o roteirizador utilizou o mesmo número de veículos. Numa análise mais detalhada detectou-se que todas as rotas do Cenário 3 terminaram em média uma hora mais cedo quando comparadas ao Cenário 1 e foram todas realizadas no período matutino. Além disso, ele elaborou uma seqüência para atendimento aos clientes idêntica ao Cenário 1.

Para o Cenário 4, foram mantidas as condições do Cenário 2 de tipo de veículo utilizado (Pickup Fiat Strada) e de restrição mais severa de horário de janela de atendimento a cada cliente e foi testada a redução nos tempos de coleta e entrega dos 360 clientes. O tempo fixo passou de 17 para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 para 2 minutos.

Assim como na comparação entre o Cenário 3 e o Cenário 1, tinha-se a expectativa de redução do tempo total gasto para atender a todos os clientes. Na análise da Tabela 11 essa expectativa foi confirmada. Os clientes foram atendidos conforme suas janelas de tempo no período matutino e vespertino. As rotas dos veículos duraram em média uma hora a menos do que as rotas do cenário 2.

A comparação entre o Cenário 4 e o Cenário 3 é similar à comparação feita entre o Cenário 2 e o Cenário 1 e, portanto, não será repetida aqui.

Bloco 2 - Veículo do tipo Ford F-250 com capacidade de 18 bombonas

Apesar de atualmente a empresa não utilizar esses veículos para a coleta e entrega de bombonas, foi incluído na frota veículos do tipo Ford F-250 que poderiam ser usados para a realização do serviço. Assim, esse bloco visa analisar se é vantajoso ou não a substituição dos veículos do tipo Pickup Fiat Strada pelos veículos do tipo Ford F-250.

A partir deste ponto, os cenários têm o intuito de verificar o impacto da substituição de um veículo de menor capacidade de carga por um veículo de maior capacidade. No caso os veículos analisados nos cenários 1, 2, 3 e 4 tinham capacidade de 10 bombonas e os veículos que serão analisados nos cenários 5, 6, 7 e 8 tem capacidade de 18 bombonas. Para tanto, serão feitas análises comparativas entre os cenários 1, 2, 3 e 4 e os cenários 5, 6, 7 e 8 conforme a relação entre eles.

O Cenário 5 manteve as restrições utilizadas no Cenário 1 de horário de atendimento ao cliente, de demanda de bombonas e de tempos de coleta e entrega e buscou avaliar a alocação de um outro tipo de veículo na frota, um veículo do tipo Ford F-250. O resultado da comparação entre o Cenário 1 e o Cenário 5 está representado no Gráfico 2.

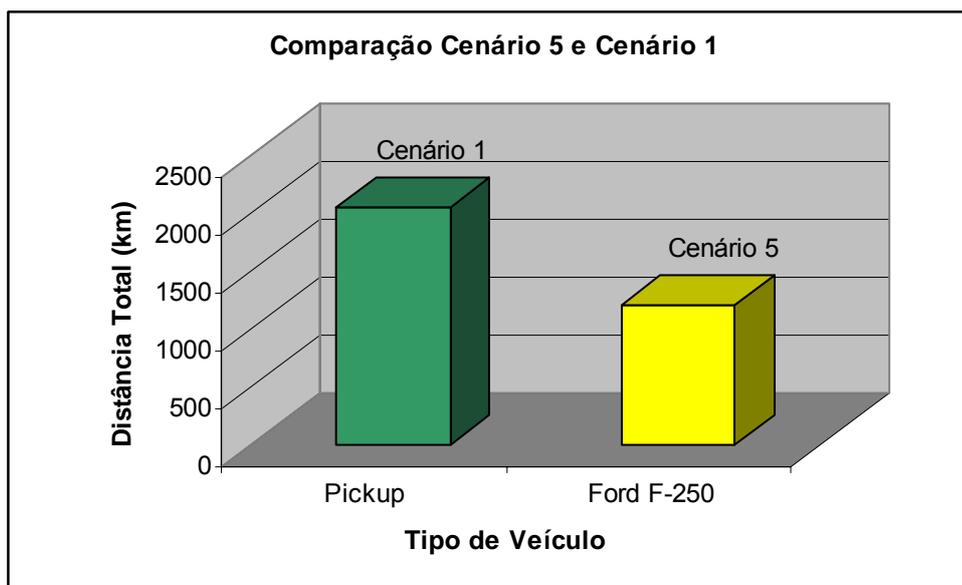


Gráfico 2 - Impacto da alocação de um outro tipo de veículo na frota.

Analisando, a Tabela 11 e o Gráfico 2, detectou-se no Cenário 5 uma redução de 41% na distância total percorrida por toda a frota. Essa redução pode ser atribuída à distância que cada veículo percorre do depósito até ao primeiro cliente. Como houve uma redução de 32 veículos na frota, a somatória do percurso que cada veículo realizou entre o depósito e o primeiro cliente refletiu diretamente na redução da distância total percorrida por toda a frota.

Analisando a Tabela 11, percebeu-se que o tempo total gasto para atender a todos os clientes diminuiu em quase 3 horas. Este fato se deveu principalmente à redução de 842 km na distância total percorrida por toda a frota.

Houve uma redução expressiva na frota de 69 veículos no Cenário 1 para 37 veículos no Cenário 5. Esta redução refletiu diretamente no aumento de 3,3% na utilização média da capacidade da frota como um todo.

Analisando a distância média por veículo, houve um aumento no Cenário 5 quando comparado Cenário 1. Isto é fácil de entender, pois conforme visto anteriormente, cada veículo atendeu um número maior de clientes e, portanto, teve que percorrer uma distância maior.

Como o veículo utilizado na frota do Cenário 5 tem maior capacidade que o veículo utilizado na frota do Cenário 1 e, conforme visto anteriormente, as rotas geradas para o Cenário 5 são maiores do que as geradas no Cenário 1, atendendo a um maior número de clientes, ocorreu o fato das rotas começarem no período matutino e terminarem após as 13h, o que é diferente do ocorrido no Cenário 1 onde todas as rotas terminaram as 13h.

Para o Cenário 6 foram mantidas as condições do Cenário 5 de tipo de veículo (Ford F-250) e de tempos de coleta e entrega (17 minutos para o tempo fixo de parada e 3 minutos para o tempo por unidade) e foi testada a restrição mais severa de janela de atendimento a cada cliente.

Numa primeira análise da Tabela 11 percebeu-se que o Cenário 6 utilizou um veículo a mais do que o Cenário 5. Esse fator resultou em um aumento de 29 km na distância total percorrida por toda a frota e, também numa redução de 2,5% da utilização média da capacidade da frota.

Relacionando o Cenário 6 com o Cenário 2, o aumento da capacidade do veículo resultou numa expressiva diminuição da distância total percorrida por toda a frota. As análises comparando o Cenário 6 com o Cenário 2 têm as mesmas explicações

já mencionadas quando feito o comparativo entre o Cenário 5 e o Cenário 1 e não serão repetidas neste parágrafo.

O Cenário 7 manteve as condições do Cenário 5 de tipo de veículo utilizado (Ford F-250) e de janela de atendimento ao cliente (9h às 17h) e testou a redução nos tempos de coleta e entrega dos 360 clientes, o tempo fixo passou de 17 para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 para 2 minutos. Como era esperado, conforme Tabela 11, o tempo total gasto para atender aos clientes diminuiu e a distância permaneceu a mesma.

Na comparação entre o Cenário 7 e o Cenário 5 aconteceu situação similar à comparação entre o Cenário 3 e o Cenário 1, ou seja, os valores para os seguintes parâmetros se comportaram da forma que se segue: diminuição do tempo total gasto para atender todos os clientes, frota com o mesmo número de veículos, manteve a distância média por veículo e manteve a utilização média da capacidade da frota .

Para o Cenário 8, foram mantidas as condições do Cenário 6 referentes ao tipo de veículo utilizado (Ford F-250) e relativa à severidade de horário de atendimento para cada cliente. Foi testada a redução nos tempos de coleta e entrega dos 360 clientes. O tempo fixo foi reduzido de 17 para 10 minutos e o tempo por unidade foi alterado de 3 para 2 minutos.

Na comparação entre o Cenário 8 e o Cenário 6, aconteceu situação similar à comparação entre o Cenário 4 e o Cenário 2. Os valores para os seguintes parâmetros se comportaram da forma que se segue: o tempo total gasto para atender todos os clientes diminuiu; o número de veículos da frota foi o mesmo; a distância média percorrida por cada veículo se manteve e a utilização média da capacidade da frota foi mantida.

Numa primeira análise da Tabela 11, percebeu-se que o Cenário 8 utilizou um veículo a mais do que o Cenário 7. Esse fator resultou em um aumento de 24 km na distância total percorrida por toda a frota e também numa redução de 2,5% na utilização média da capacidade da frota.

Relacionando o Cenário 8 com o Cenário 4, o aumento da capacidade do veículo resultou numa expressiva diminuição da distância total percorrida por toda a frota.

Bloco 3- Veículo do tipo Mercedes Bens 709 com capacidade de 60 bombonas

O veículo Mercedes Bens 709 não é o tipo de veículo mais adequado para a coleta e entrega de bombonas, pois ele é grande dificultando seu estacionamento junto ao cliente e é alto dificultando o transporte de bombonas cheias para dentro do veículo. Mesmo assim, foram analisados os cenários 9, 10, 11 e 12 utilizando este tipo de veículo, com o objetivo de verificar o impacto da utilização de um veículo de maior capacidade nos roteiros elaborados.

Este bloco será analisado em relação ao bloco 2 e, eventualmente, ao bloco 1 quando se mostrar relevante esta análise, tendo em vista o bloco 2 já ter sido comparado ao bloco 1.

O Cenário 9 buscou testar a alocação de um tipo de veículo com capacidade maior que a Pickup Fiat Strada e o Ford F-250, a Mercedes Bens 709 com capacidade de 60 bombonas. Foram mantidas as restrições do Cenário 5 de janela de atendimento ao cliente (9h às 17h) e do depósito (8h30 às 17h30), dos tempos de coleta e entrega (17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por unidade) e da demanda de bombonas coletadas e entregues aos clientes. O Gráfico 3 apresenta o impacto da alocação de um veículo com capacidade maior na solução do problema.

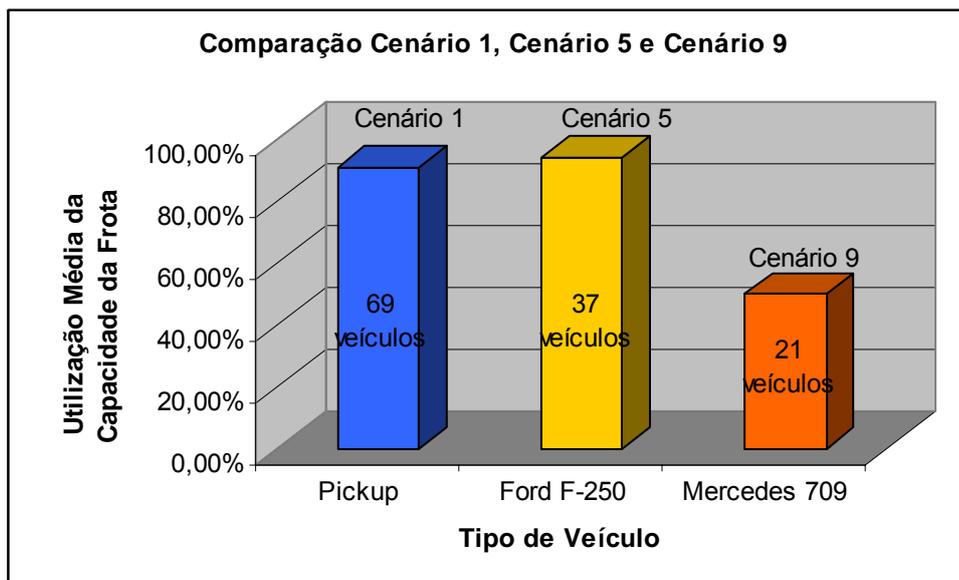


Gráfico 3 - Impacto da alocação de veículo com grande capacidade na solução do problema

Na comparação do Cenário 5 com o Cenário 9, houve uma redução na frota de 37 para 21 veículos. Esse fato já era esperado em virtude do aumento da capacidade de carga. No entanto, tinha-se a expectativa de uma redução ainda maior, o que não ocorreu. Inicialmente, o motivo pode ser percebido pela baixa utilização média da capacidade da frota no Cenário 9, que foi de 50%, quando comparada ao Cenário 5, que foi de 94%, vide Gráfico 3.

Esta baixa utilização se deveu ao fato do veículo Mercedes Bens 709 ter uma grande capacidade e não conseguir no período de sua jornada de trabalho, 08h30 às 17h30, completar a sua capacidade disponível, ou seja, 60 bombonas. Isto se deveu, sobretudo, ao tempo utilizado no atendimento que foi de 20 minutos (17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por unidade). Analisando os Cenários 11 e 12 quando o tempo de atendimento foi reduzido para 12 minutos (10 minutos para o tempo fixo de parada e de 2 minutos para o tempo por unidade) ele conseguiu melhorar a utilização média da capacidade da frota durante a sua jornada de trabalho, conseguindo assim, uma maior utilização média da capacidade da frota.

Na análise do Cenário 9 foi observado que o software elaborou uma rota para atender a apenas um cliente, entregando uma e recolhendo duas bombonas. Apesar da verificação da lógica interna do programa não ser objetivo deste trabalho,

entende-se que esse fato não deveria ter acontecido, pois a frota tinha capacidade suficiente para atender esse cliente.

Para o Cenário 10, foram mantidas as condições do Cenário 9 de tipo de veículo utilizado (Mercedes Bens 709) e de tempos de coleta e entrega (17 minutos para o tempo fixo de parada e 3 minutos para o tempo por unidade) e foi testada a restrição mais severa de janela de atendimento a cada cliente.

Analisando o Cenário 10, percebe-se a redução de um veículo na frota, que por meio da lógica do roteirizador, apesar da janela de tempo mais restrita, ele conseguiu atender ao cliente citado no Cenário 9 dentro das outras rotas.

O Cenário 11 manteve as condições do Cenário 9 de tipo de veículo utilizado (Mercedes Bens 709) e de janela de atendimento ao cliente (9h às 17h) e testou a redução nos tempos de coleta e entrega dos 360 clientes, o tempo fixo passou de 17 para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 para 2 minutos. O Gráfico 4 apresenta o resultado da alteração nos tempos de coleta e entrega para Cenários que utilizam veículos do tipo Mercedes Bens 709.

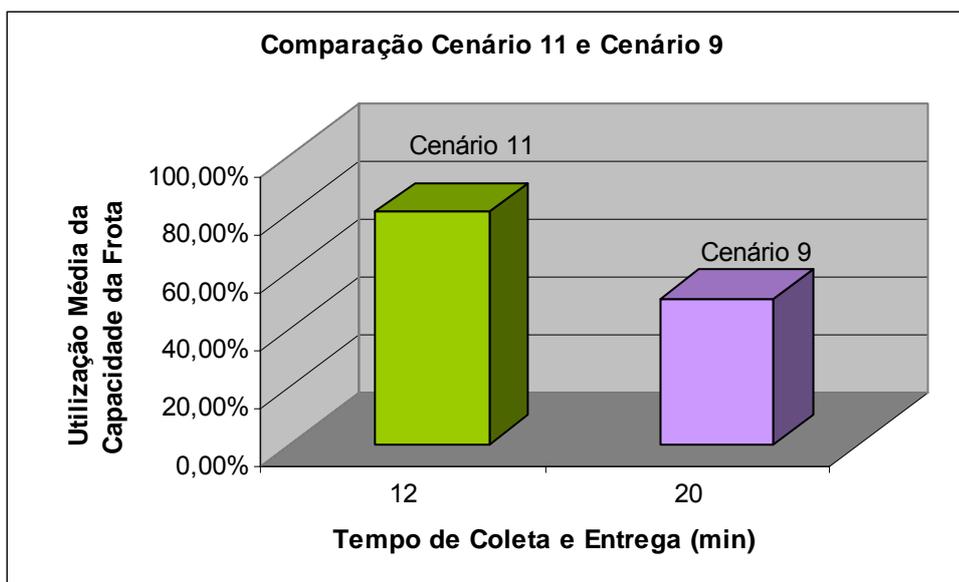


Gráfico 4 - Impacto da alteração nos tempos de coleta e entrega para Cenários que utilizam veículos do tipo Mercedes Bens 709.

No Cenário 11, pode-se notar que foi possível dentro da jornada de trabalho da frota, 08h30 às 17h30, atender a um maior número de clientes. Em função disso conseguiu-se atingir uma maior utilização média da capacidade da frota. No Cenário 9 a utilização média da capacidade da frota foi de 50 %, já no Cenário 11 conseguiu-se atingir 80%. Vide Gráfico 4.

Essa maior utilização média da capacidade da frota refletiu diretamente na redução da frota de veículos utilizados no Cenário 11, quando comparado ao Cenário 9. No Cenário 9 foram utilizados 21 veículos, já o Cenário 11 atingiu uma frota de 13 veículos, conforme Gráfico 5.

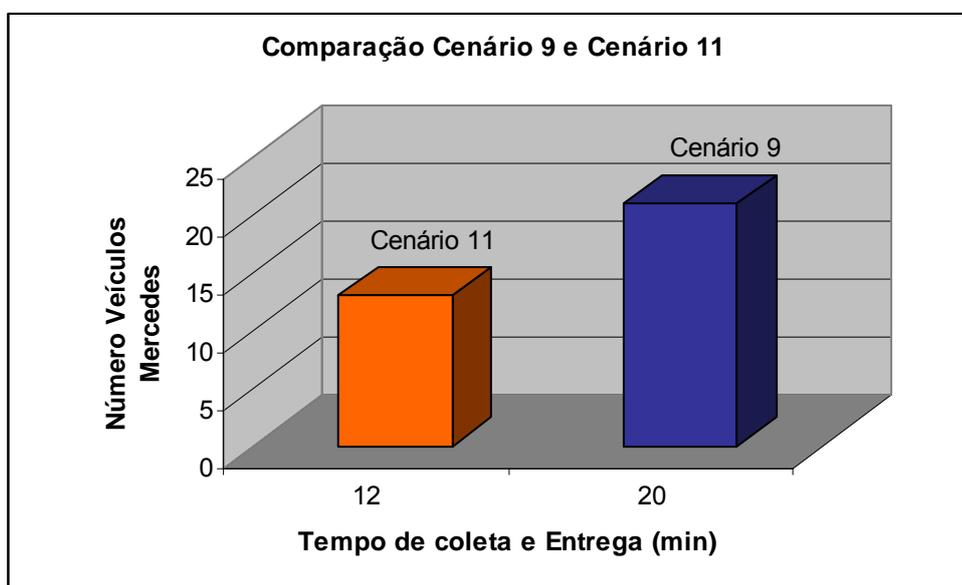


Gráfico 5 - Impacto da alteração nos tempos de coleta e entrega e no número de veículos do tipo Mercedes Bens 709

Para o Cenário 12, foram mantidas as condições do Cenário 10 de tipo de veículo utilizado (Mercedes Bens 709) e de restrição mais severa de horário de janela de atendimento a cada cliente e foi testada a redução nos tempos de coleta e entrega dos 360 clientes, o tempo fixo passou de 17 para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 para 2 minutos.

O cenário 12 não apresenta nenhum fato relevante, pois se comportou de forma similar ao cenário 8 do bloco 2.

Etapa 2 – Proposta de Uma Nova Abordagem de Atendimento aos Clientes

Analisando todos os cenários anteriores percebeu-se que em muitos casos a frota não era utilizada ao longo de todo o dia, sendo que em alguns cenários a frota só era utilizada no turno matutino, ficando parada no turno vespertino. Assim, propõe-se nos cenários a seguir que o cliente informe se quer ser atendido no turno matutino ou no turno vespertino, buscando aproveitar a frota nos dois períodos da jornada de trabalho. Para tanto, o software de roteirização precisará ser executado duas vezes, uma para cada período do dia.

Como já foi feito na etapa 1 a análise da influência da capacidade do veículo nas rotas geradas, nesta etapa as análises serão focadas somente no veículo pickup com capacidade de 10 bombonas.

O Cenário 13 buscou avaliar a utilização de um segundo tipo de restrição de janela de tempo, onde o atendimento ao cliente acontece no turno matutino e no turno vespertino. O próprio cliente escolhe o turno que será atendido. O horário de atendimento do depósito e dos clientes que solicitaram o atendimento no turno matutino é de 8h às 12h. Os tempos de entrega e coleta foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por unidade.

O Cenário 14 buscou avaliar o aproveitamento da frota para atender aos clientes que solicitaram que a coleta e a entrega de bombonas fossem realizadas no turno vespertino. O horário de atendimento do depósito e dos clientes é de 14h às 18h. Os tempos de entrega e coleta foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por unidade.

Para escolher os clientes que seriam atendidos no turno matutino e no turno vespertino foi realizado um sorteio aleatório e aproximadamente 50 % dos clientes foram atendidos na parte da manhã e 50 % na parte da tarde.

Com base na Tabela 11, no Cenário 13 foram necessários 35 veículos e no Cenário 14 foram necessários 33 veículos para que todos os clientes fossem atendidos nos

turnos escolhidos. Como a frota a ser adquirida deve ser suficiente para atender aos dois turnos, então, é necessário ter uma frota de 35 veículos. Comparando esse valor com o número de veículos necessários no Cenário 1, que foi de 69 veículos, esta proposta de roteirizar os clientes em dois turnos se mostra extremamente vantajosa para a empresa que não precisa dispendir muito capital para adquirir a frota.

Etapa 3 – Proposta de Utilização de Frota Heterogênea

Nesta etapa está sendo proposta a análise do impacto do uso de frota heterogênea na coleta e entrega das bombonas. Esta análise se deve ao fato de que nas empresas existem frotas de veículos que podem ser incorporadas ao serviço sem a necessidade de aquisição de um mesmo veículo tendo outro disponível.

A seguir será feita uma breve análise comparativa entre os Cenários 15, 16, 17 e 18 com os Cenários 1, 2, 3 e 4.

O Cenário 15 testou a utilização de frota heterogênea para atender os 360 clientes. Foram utilizados veículos do tipo Pickup Fiat Strada e veículos do tipo Ford F-250. O horário de atendimento do depósito foi de 08h30 às 17h30 e dos clientes foi de 9h às 17h. Os tempos de entrega e coleta foram de 17 minutos para o tempo fixo de parada e de 3 minutos para o tempo por unidade.

Quando comparado ao Cenário 1 os resultados foram bastante semelhantes, os veículos com menor capacidade atenderam os clientes no período matutino e os veículos com capacidade maior, iniciaram a rota no turno matutino e terminaram em média as 14h. Nos resultados da Tabela 11 percebeu-se uma utilização média da capacidade da frota muito boa, 92,48%.

Para o Cenário 16, foram mantidas as condições do Cenário 15 de tipos de veículos utilizados na frota heterogênea (Pickup Fiat Strada e Ford F-250) e de tempos de coleta e entrega (17 minutos para o tempo fixo de parada e 3 minutos para o tempo

por unidade) e foi testada a restrição mais severa de janela de atendimento a cada cliente. Cada cliente solicitou ser atendido em um determinado horário.

Na comparação entre o Cenário 16 e o Cenário 15, aconteceu situação similar à comparação entre o Cenário 2 e o Cenário 1. Os resultados do Cenário 16 são muito parecidos com os encontrados no Cenário 15, vide Tabela 11. No entanto, fazendo uma análise mais detalhada dos resultados, observa-se que por conta da janela de tempo mais restrita e específica, alguns clientes tiveram o atendimento começando no período matutino e terminando no vespertino. Outras rotas, principalmente as que utilizaram veículos do tipo Pickup e que inicialmente eram realizadas no período matutino, passaram a ser realizadas no turno vespertino.

O Cenário 17 manteve as condições do Cenário 15 no que se refere a tipos de veículos utilizados na frota heterogênea (Pickup Fiat Strada e Ford F-250) e janela de atendimento ao cliente (9h às 17h). Foi testada a redução nos tempos de coleta e entrega dos 360 clientes. O tempo fixo passou de 17 para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 para 2 minutos.

Na comparação entre o Cenário 17 e o Cenário 15, aconteceu situação similar à comparação entre o Cenário 3 e o Cenário 1. Como era esperado, conforme Tabela 11, o tempo total gasto para atender os clientes diminuiu e a distância total percorrida por toda a frota permaneceu a mesma.

Como os veículos utilizados nos cenários 17 e 15 foram os mesmos, o roteirizador utilizou o mesmo número de veículos. Numa análise mais detalhada detectou-se que todas as rotas do Cenário 17 terminaram em média duas horas mais cedo quando comparadas as rotas do Cenário 15.

Para o Cenário 18, foram mantidas as condições do Cenário 16 no que se refere ao tipo de veículo utilizado na frota heterogênea (Pickup Fiat Strada e Ford F-250) e a restrição mais severa de janela de atendimento a cada cliente. Foi testada a redução nos tempos de coleta e entrega dos 360 clientes. O tempo fixo passou de 17 minutos para 10 minutos e o tempo por unidade de 3 minutos para 2 minutos.

Na comparação entre o Cenário 18 e o Cenário 16, aconteceu situação similar à comparação entre o Cenário 4 e o Cenário 2. Tinha-se a expectativa de redução do tempo gasto para atender a todos os clientes e na análise da Tabela 11 essa expectativa foi confirmada.

Foi observado também, que o software elaborou uma rota a mais utilizando veículo do tipo Pickup para atender a somente dois clientes, entregando quatro e recolhendo duas bombonas, o que gerou um aumento da distância total da rota. Apesar da verificação da lógica interna do programa não ser objetivo deste trabalho, entende-se que esse fato não deveria ter acontecido, pois o número de veículos utilizados no Cenário 16 tinha capacidade para atender esses dois clientes.

Os clientes foram atendidos conforme suas janelas de tempo no período matutino e vespertino. As rotas dos veículos do tipo Ford F-250 duraram em média uma hora e meia a menos do que as rotas dos mesmos veículos do Cenário 16 e tiveram seqüência de atendimento aos clientes idênticas. As rotas dos veículos do tipo pickup tiveram seqüência e horários de atendimento aos clientes completamente diferentes que as rotas do Cenário 16 que utilizaram o mesmo tipo de veículo.

A diferença do Cenário 18 para o Cenário 17 é que os clientes possuem janelas de tempo mais restritas e específicas para cada um. Na comparação entre o Cenário 18 e o Cenário 17 aconteceu situação similar à comparação entre o Cenário 2 e o Cenário 1, onde fazendo uma análise mais detalhada percebe-se que alguns clientes foram atendidos no turno vespertino, de acordo com as suas janelas de atendimento e o software indicou a criação de uma rota a mais com veículos do tipo Pickup Fiat Strada.

Percebeu-se que os resultados alcançados para a frota simples e para a frota heterogênea apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, não há vantagens específicas ou desvantagens específicas no uso da frota heterogênea.

Assim sendo, pode-se dizer que a decisão de se usar frota homogênea ou frota heterogênea é uma decisão meramente gerencial em função da disponibilidade de veículos diferentes na empresa.

Análise Geral dos Resultados

Foram testados dezoito cenários com o intuito de avaliar os parâmetros: alocação de diferentes tipos de veículos de coleta e entrega, alteração nos tempos de entrega e coleta, variações nas janelas de atendimento, restrição de duração máxima da rota e utilização de frota heterogênea.

Do Cenário 1 ao Cenário 12 foram utilizadas frota homogênea nos testes de cada cenário. Com relação ao parâmetro alocação de diferentes tipos de veículos, percebe-se que veículos com capacidade menor, como a Pickup Fiat Strada e o Ford F-250, apresentam cenários com melhores resultados quando comparados aos cenários que utilizam veículos com capacidade maior, como a Mercedes Bens 709. Isso porque veículos com capacidade para coletar e entregar mais bombonas não possuem tempo suficiente para realizar mais coletas e entregas, tendo assim, uma baixa utilização média da capacidade da frota.

Para o parâmetro variação no horário de atendimento ao cliente, não houve muitas diferenças nos resultados. Nos cenários que utilizam veículos com capacidade menor, como a Pickup Fiat Strada, houve o atendimento aos clientes nos turnos matutino e vespertino e em outros cenários houve um aumento no número de veículos.

Com relação ao parâmetro alteração nos tempos de coleta e entrega, percebe-se que veículos com capacidade menor, como a Pickup Fiat Strada e o Ford F-250, apresentam cenários com bons resultados, no entanto, o software TransCAD não apresentou a redução da frota quando houve uma diminuição no tempo de coleta e entrega, o que era esperado. Para veículos com capacidade maior, como a Mercedes Bens 709, o software TransCAD apresentou uma redução da frota quando

houve uma diminuição no tempo de coleta e entrega, mas vale ressaltar que os veículos maiores apresentam restrições de circulação em trechos urbanos.

O Cenário 13 e o Cenário 14 testou a utilização da restrição máxima da rota de 4 horas, com o intuito de dividir o atendimento em dois turnos (matutino e vespertino) e realizar o reaproveitamento da frota. Esta proposta de roteirizar os clientes em dois turnos se mostrou extremamente vantajosa para cenários que utilizam veículos com pouca capacidade pois, além de diminuir o número de veículos utilizados na frota, a empresa pode trabalhar com o horizonte de planejamento de meio dia ao invés de um dia, como foi utilizado nos Cenários de 1 a 12.

Do Cenário 15 ao Cenário 18 foram utilizadas frota heterogênea nos testes de cada cenário. Com relação aos parâmetros alocação, variação no horário de atendimento ao cliente e alteração nos tempos de coleta e entrega, as conclusões são as mesmas observadas nos Cenários 1 a 12. Só foram utilizados veículos do tipo Pickup Fiat Strada e Ford F-250, pois estes cenários apresentam melhores resultados.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO

Esta dissertação teve como objetivo principal desenvolver uma proposta de resolução do problema de logística reversa das embalagens utilizadas para recolher óleo residual de fritura que será utilizado para produção de biodiesel, modelado como um problema de Coleta e Entrega Simultânea com Janela de Tempo, usando uma ferramenta SIG-T.

A aplicação do Problema de Coleta e Entrega Simultânea com Janela de Tempo à resolução do problema de logística reversa se apresentou como uma boa ferramenta.

Por meio dos resultados obtidos, foi possível analisar o impacto dos tipos de veículos nas rotas geradas. Percebeu-se que veículos maiores não geraram ganhos significativos e veículos de pequeno e médio porte são mais adequados. Além disso, analisou-se a questão de frota heterogênea que pode ser uma opção interessante para empresas que não desejam adquirir uma frota nova e sim, reaproveitar os veículos existentes. Os resultados para frota heterogênea mostraram que essa é uma boa opção para otimizar a frota a ser utilizada.

Outra análise importante que foi feita é o impacto da janela de tempo no roteiro criado. Percebeu-se que não houve muitas diferenças nos resultados, o que não era esperado. Inicialmente, tinha-se a expectativa de que a utilização de janelas de tempo mais restritas gerariam roteiros com piores resultados. Nos cenários que utilizam veículos com capacidade menor houve o atendimento aos clientes nos turnos matutino e vespertino e em outros cenários houve um pequeno aumento no número de veículos.

Uma outra análise interessante foi a janela de tempo no depósito, que permitiu fazer a análise do atendimento em dois turnos (matutino e vespertino). Essa opção se mostrou muito boa permitindo uma melhor utilização da frota.

Finalmente, é importante indicar que duas situações de testes apresentaram melhores resultados. A primeira situação foi identificada nos testes que utilizaram janela de tempo no depósito, ou seja, que dividiram o atendimento em dois turnos (matutino e vespertino), pois além de diminuir o número de veículos utilizados na frota, a empresa pode trabalhar com o horizonte de planejamento de meio dia ao invés de um dia. A segunda foi identificada nos testes que utilizaram frota heterogênea, pois essa foi uma boa opção para otimizar a frota a ser utilizada, minimizando os custos logísticos da empresa.

Com base nos mesmos princípios que nortearam a realização deste trabalho é possível aplicar esta metodologia a outros problemas de logística reversa envolvendo o transporte simultâneo de mercadorias, como por exemplo: transporte de galões de leite, de garrafas de vidro retornáveis, etc.

Uma das dificuldades encontradas durante a realização desse trabalho foi em conseguir uma base de dados geográficos georreferenciados do Estado do Espírito Santo contendo todas as informações necessárias para a resolução do problema. A maior parte das bases de dados geográficos encontradas faltava alguma das informações importantes, como direção de fluxo, nome de todas as ruas, número de pistas, velocidade máxima permitida, tipo de logradouro (avenida, rua e rodovia), entre outros. Este problema foi solucionado pelo levantamento das informações que faltavam e posterior inserção manual no aplicativo computacional TransCAD 4.8. Sendo assim, este problema não gerou impactos negativos na solução do problema.

Outra dificuldade encontrada foi na utilização do aplicativo computacional TransCAD 4.8. A implementação computacional transcorreu com sucesso para os testes, no entanto, o TransCAD, na rotina de roteirização, se mostrou em várias situações com comportamento computacional instável, travando o computador. Vale ressaltar que apesar deste problema, foi possível realizar todos os testes pretendidos e obter os resultados.

Como trabalho futuro pode-se abordar este problema usando veículos de granel líquido para recolhimento do óleo e comparar com as soluções encontradas. Outro

tópico que pode ser desenvolvido é a análise financeira dos custos de cada tipo de veículo em relação aos custos fixos e operacionais de cada um.

REFERÊNCIAS

Al, The Jim; KACHITVICHYANUKUL Voratas. A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. **Computers & Operations Research**, vol. 36, p. 1693-1702, 2009.

Ambiente Brasil – Portal Ambiental. **Resíduos**. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/index.php3&cont_eudo=./residuos/residuos.html>. Acessado em: 15 janeiro 2008.

ANGELELLI, Enrico; MANSINI, Renata. The vehicle routing problem with time windows and simultaneous pick-up and delivery. In: **Quantitative Approaches to Distribution Logistics and Supply Chain Management**. Editado por A. Klose; M. G. Speranza; L. N. VanWassenhove, Berlin-Heidelberg, Springer, 2002, volume 519, p 249 -267.

ANILY, S. The vehicle-routing problem with delivery and back-haul options. **Naval Research Logistics**, vol. 43, p. 415–434, 1996.

ANVISA, Alimentos - Informa Técnico nº 11. 5 de outubro de 2004. **Óleos e Gorduras Utilizados em Frituras**. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/alimentos/informes/11_051004.htm>. Acesso em: 16 janeiro 2008.

ARENALES, Marcos; ARMENTANO, Vinicius; MORABITO, Reinaldo; YANASSE, Horácio. **Pesquisa Operacional para os Cursos de Engenharia**, Rio de Janeiro: Campos - Elsevier, 2007. 526 p.

ASSIS, Luciana Pereira de. **Algoritmos para o Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas**. 2007. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – procedimento. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. Tradução Raul Rubenich, 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p.

BARBOSA, Juliana Maria Rangel. **Aplicação de uma Abordagem Adaptativa de Busca Tabu a Problemas de Roteirização e Programação de Veículos**. 2005. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

BELFIORE, Patrícia Prado. **Scatter Search para Problemas de Roteirização de Veículos com Frota Heterogênea, Janelas de Tempo e Entregas Fracionadas**. 2006. 203 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BENT, Russel; HENTENRYCK, Pascal Van. A two-stage hybrid algorithm for pickup and delivery vehicle routing problems with time windows. **Computers & Operations Research**, vol. 33, p. 875 – 893, 2006.

BERBEGLIA, Gerardo; CORDEAU, Jean François; GRIBKOVSKAIA, Irina; LAPORTE, Gilbert. **Static Pickup and Delivery Problems: A Classification Scheme and Survey**. Top, vol. 15, p. 1-31, 2007. Disponível em: <http://www.crt.umontreal.ca/~gerardo/PDP_survey.pdf> Acesso em: 15 maio 2009.

BIANCHESSI, Nicola; RIGHINI, Giovanna. Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery. **Computers & Operations Research**, vol. 34, p. 578–594, 2007.

BRITO, Rodrigo Augusto Ferreira. **Uso de Sistema de Informação Geográfica para a Análise do Transporte e Disposição Final dos Resíduos Sólidos**. 2006. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. FEIS – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, São Paulo, 2006.

BOAVENTURA NETTO, Paulo Oswaldo; JURKIEWICZ, Samuel. **Grafos: Introdução e Prática**. São Paulo: Editora Blucher, 2009. 170 p.

BODIN, Lawrence D.; GOLDEN, Bruce L.; ASSAD, Arjang A.; BALL, Michael O. Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. **Computers & Operations Research**, v.10, n.2, p. 63-211, 1983.

CALIPER. Routing and Logistics with TransCAD, versão 3.0, Transportation GIS Software: Caliper Corporation, 1996.

CÂMARA, Gilberto; CASANOVA, Marco A.; HEMERLY, Andrea S.; MAGALHÃES, Geovane. C.; MEDEIROS, Cláudia M. B. **Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, São Paulo, 1996.

CASTRO, Leonardo Borges. **Avaliação do Serviço de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares em Cidade de Médio Porte Utilizando Sistemas de Informações Geográficas e Receptores do Sistema de Posicionamento por Satélite**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2006.

CARVALHO, M. H. *et al.* **Uma Introdução Sucinta a Algoritmos de Aproximação**. Disponível em:<http://www.ime.usp.br/~cris/aprox/>. Acesso em: 23 fevereiro 2008.

CHAMON, Douglas. **Plano de Negócio Biomarca Usina de Biodiesel**. 2007, Vitória ES. 49 p., 2007.

CHEN, Ping; HUANG, Houkuan; DONG, Xingye. An Ant Colony System Based Heuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup. **School of Computer and Information Technology Beijing Jiaotong University**, Beijing, China, p.136-141, 2007.

CLARKE, G.; WRIGHT, J.W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. **Operations Research**, v. 12, p. 568-581, 1954.

COELHO, Juliana Carla. Quantificação da Economia na Mudança do Combustível de Diesel por Outros Combustíveis mais Acessíveis e Menos Poluentes. In: 16º CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTE E TRÂNSITO, 2007, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTP, 2007. 1 CD-ROM.

CORDEAU, Jean François; LAPORTE, Gilbert; A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem. **Transportation Research B**, vol. 37, p. 579-594, 2003.

DANTAS, A. S.; TACO, P. W. G.; BARTOLI, S. P.; YAMASHITA, Y. Aplicação dos Sistemas de Informações Geográficas em Transportes sob o Enfoque da Análise Espacial. **Proceedings of the IV Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento**, São Paulo, p. 469 – 477. 1997.

DELL'AMICO, Mauro; RIGHINI, Giovanni, SALANI, Matteo. A branch-and-price approach to the vehicle routing problem with simultaneous distribution and collection. **Transportation Science**, vol. 40, p. 235-247, 2006.

DETHLOFF, Jan. Vehicle Routing and Reverse Logistics: The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup. **OR Spektrum**, vol 23 p. 79-96, 2001.

DETHLOFF, Jan. Relation Between Vehicle Routing Problem: An Insertion Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup Applied to the Vehicle Routing Problem with Backhauls. **Journal of the Operational Research Society**, vol. 53, p.115 -118, 2002.

DIANA, Marco; DESSOUKY, Maged M. A new regret insertion heuristic for solving large-scale dial-a-ride problems with time windows. **Transportation Research B**, vol 38, p. 539 – 557, 2004.

DOBARGANES, M. C.; PÉREZ-CAMINO, M. C. Frying process: selection of fats and quality control. **International Meeting on Fats & Oils Technology Symposium and Exhibition**, p. 58-66, 1991.

EISELT, H.A.; GENDREAU, M.; LAPORTE, G. Arc routing problems, Part I: The chinese postman problem. **Operations Research**, v. 43, n.2, 1995.

FARKUH NETO, Alberto; LIMA, Renato da Silva. Roteirização de Veículos de Uma Rede Atacadista com o Auxílio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). **Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**, n.5, p. 18–39, Jun. 2006.

GAJPAL, Yuvraj; ABAD, Prakash. An ant colony system (ACS) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup. **Computers & Operations Research**, vol. 36, p. 1693-1702, 2009.

GANHOTO, Marco Alves. **Abordagens para Problema de Roteamento**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Computação) – Programa de Pós-Graduação em Computação, Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2004.

GENDREAU, M.; HERTZ, A.; LAPORTE, G. The Traveling Salesman Problem with Backhauls. **Computers & Operations Research**, v. 23, n. 5, p. 501-508, 1996.

GENDREAU, Michel; LAPORTE, Gilbert; VIGO, Daniele. Heuristics for the traveling salesman problem with pickup and delivery. **Computers & Operations Research**, vol.26, p.699 -714, 1999.

GEOBASES – **Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo**. Instituição Conveniente Departamento de Engenharia Ambiental – UFES, 2008.

GIÃO, Vanise; MATTOS, Elisangela de Souza; JORGE, Neuza. Avaliação da qualidade dos óleos de fritura usados em restaurantes, lanchonetes e similares. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**. Vol. 19, nº. 3. Campinas, São Paulo, Setembro/dezembro 1999. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010120611999000300021>
Acesso em: 16 janeiro 2008.

GOETSCHALCKX, M.; JACOBS-BLECHA, C. The vehicle routing problem with backhauls, **European Journal of Operational Research**, vol. 42, p. 39-51, 1989.

GOLDBARG, Marco César; LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**, Rio de Janeiro: Campus, p. 396-477, 2000.

GRIBKOVSKAIA, Irina; HALSKAU, Oyvind; LAPORTE, Gilbert; VLCEK, Martin. General solutions to the single vehicle routing problem with pickups and deliveries. **European Journal of Operational Research** 180, p. 568–584, 2007.

HOSNY, Manar I.; MUMFORD, Christine L. Single Vehicle Pickup and Delivery with Time Windows: Made to Measure Genetic Encoding and Operators. **Genetic and Evolutionary Computation Conference, Companion Material, Proceedings of GECCO 2007: Genetic and Evolutionary Computation Conference, Companion Material**, p 2489-2496, 2007.

IOACHIM, I.; DESROSIERS, J.; DUMAS, Y.; SOLOMON, M.M.; VILLENEUVE, D. A request clustering algorithm for door-to-door handicapped “transportation”. **Transportation Science**, vol 29, nº 1, p. 63 – 78, 1995.

JAW, J. J., ODONI, A. R., PSARAFTIS, H. N., WILSON, N. H. M., A heuristic algorithm for the multi vehicle advance-request dial-a-ride problem with time windows. **Transportation Research B**, vol. 20, nº 3, p. 243 – 257, 1986.

KAMMARTI, R.; HAMMADI, S.; MEMBER, S.; BORNE, P.; FELLOW, *IEEE*; KSOURI, M.; MEMBER, S. Improved Tabu Search In An Hybrid Evolutionary Approach For The Pickup And Delivery Problem With Time Windows. **Proceedings of the th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems**, Vienna, Austria, September, p.13 -16, 2005.

LACERDA, Márcio Gonçalves. **Análise de Uso de SIG no Sistema de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares em Uma Cidade de Pequeno Porte**. 2003. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Ênfase em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2003.

LANDRIEU, Antoine; MATI, Yazid; BINDER, Zdenec. A tabu search heuristic for the single vehicle pickup and delivery problem with time windows. **Journal of Intelligent Manufacturing** **12**, 497 – 508, 2001.

LAO, Hoong Chuin; LIANG, Zhe. Pickup and delivery with time windows: Algorithms and test case generation. **International Journal on Artificial Intelligence Tools (Architectures, Languages, Algorithms)**, vol. 11, nº 3, p. 455 – 472, 2002.

LAPORTE, Gilbert; GENDREAU, Michel; POTVIN, Jena Yves; SEMET, Frederic. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. **International Transactions in Operational Research**, v. 7, n 4 / 5, p. 285-300, 2000.

LI, Haibing; LIM, Andrew. A metaheuristic for the pickup and delivery problem with time windows. In: **Proceedings 13 th IEEE ICTAI**, Los Alamitos, CA. p.160-167, 2001.

LORETO, A. B., CAMPOS, M. A., CLAUDIO, D. M., TOSCAN, L. V., **Complexidade Computacional de Problemas de Computar Medidas de Tendências Central e Dispersão com Entradas Intervalares**. TEMA Tend. Mat. Apl. Comput., 7, nº. 2 (2006), 297-306. In: Uma Publicação da Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional. Disponível em: <http://www.sbmac.org.br/tema/seletas/docs/v7_2/14-loreto.pdf>. Acesso em: 08 janeiro 2008.

LU, Quan; DESSOUKY, Maged. An Exact Algorithm for the Multiple Vehicle Pickup and Delivery Problem. **Transportation Science**, Vol. 38, No. 4, November, p. 503–514, 2004.

LU, Quan; DESSOUKY, Maged. A new insertion-based construction heuristic for solving the pickup and delivery problem with time windows. **European Journal of Operational Research**, vol. 175, p. 672 – 687, 2006.

MAPA, Silvia Maria Santana; LIMA, Renato da Silva. Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta suporte a estudos de localização e roteirização. In: XII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2005, Bauru, São Paulo. **Anais...** Bauru: SIMPEP, 2005. 1 CD-ROM.

MARCA AMBIENTAL. **BioMarca**. Disponível em:
<<http://www.marcaambiental.com.br>> Acesso em: 10 de fevereiro de 2009.

MARTINES, Márcio Cardenali; GUIMARÃES, Carlos Alberto Bandejas; MARUFUJI, Paulo Roberto. Análise Preliminar da Logística de Coleta de Óleo Vegetal para Reciclagem e Utilização como Biodiesel no Transporte Público Intermunicipal. In 16 CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTE E TRÂNSITO, 2007, Maceió, **Anais...** Maceió: ANTP, 2007. 1 CD-ROM.

MELLO, Fabiana Ortiz Tanoue; PAULILO, Luiz Fernanda; VIAN, Carlos Eduardo de Freitas. O Biodiesel no Brasil: panorama, perspectivas e desafios. In: **Informações Econômicas**, São Paulo, v.37, n.1, 2007, p. 28 – 40.

MENG, Lijun; GUO, Xiaochai. A new hybrid metaheuristics for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery. **Department of Management, Zhejiang University**, Hangzhou, China, p. 1198 -1202, 2008.

MILLER, H.J., SHAW, S. **Geographic Information Systems for Transportation – Principles and Applications**. Ed. Oxford, 2001, 460 p.

MIN, Hokey. The Multiple Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup Points. **Transportation Research A**, vol. 23 A, nº 5, p. 377-386, 1989.

MITROVIC-MINI, Snezana; KRISHNAMURTI, Ramesh; LAPORTE, Gilbert. Double horizon based heuristics for the dynamic pickup and delivery problem with time windows, **Transportation Research Part B**, vol. 38, p. 669–685, 2004.

MOGNATO, Edson Antônio; MARTINS, Humberto Ferreira; **Elaboração de um Projeto para a Obtenção de Biodiesel a partir do Reaproveitamento de Óleo Residual de Fritura**. 2007. 49 p. Monografia – Faculdades Integradas São Pedro, Faesa, Vitória, 2007.

MONTANÉ, Fermin Alfredo Tang; GALVÃO, Roberto Diéguez. A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service. **Computers & Operations Research**, vol. 33, p. 595 - 619, 2006.

MOSHEIOV, G. The Traveling Salesman Problem with pickup and delivery, **European Journal of Operational Research**, vol. 79, p.299-310. 1994.

MURTA, Aurélio Lames Soares; RIBEIRO, Suzana Kahn. Uso do Biodiesel no Brasil – Resultados de Testes de B5 em Frota de Caminhões. In: XXI CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPET, 2007. 1 CD-ROM.

NAGY, Gábor; SALHI, Said. Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. **European Journal of Operational Research**, vol.162, p.126-141, 2005.

NAZÁRIO P. **GIS: Definições e aplicações na logística**. [s.d.]. Disponível em:<http://www.fadepe.com.br/restrito/conteudo_pos/4_logis_GIS%20-%20Definicoes%20e%20aplicacoes%20na%20logistica.doc>. Acesso em: 21 janeiro 2008.

NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 408 p.

NOVAES, Antônio Galvão. **Sistemas Logísticos: Transporte, Armazenagem e Distribuição Física de Produtos**. São Paulo, ed. Edgard Blucher Ltda, 1989, 376 p.

PARRAGHT, Sophie, N.; DOERNER, Karl F.; HARTL, Richard F. A survey on pickup and delivery problems Part I: Transportation between customers and depot. **Journal für Betriebswirtschaft**, v.58, n.1, 21-51, 2008.

PARRAGHT, Sophie, N.; DOERNER, Karl F.; HARTL, Richard F. A survey on pickup and delivery problems Part II: Transportation between pickup and delivery locations. **Journal für Betriebswirtschaft**, v.58, n.2, 81-117, 2008.

PELIZARO, Cláudia. **Avaliação de Desempenho do Algoritmo de um Programa Comercial para Roteirização de Veículos**. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-09102001143129/publico/Pelizaro.pdf>>. Acesso em: 18 dezembro 2007.

PISINGER, David; ROPKE, Stefan. A general heuristic for vehicle routing problems. **Computers & Operations Research**, vol. 34, p. 2403–2435, 2007.

PSARAFTIS, Harilaos N. A Dynamic Programming Solution to the Single Vehicle Many-to-Many Immediate Request Dial-a-Ride Problem. **Transportation Science**, vol.14, nº 2, p. 130-154, 1980.

PSARAFTIS, Harilaos N. An Exact Algorithm for the Single Vehicle Many-to-Many Dial-a-Ride Problem with Time Windows. **Transportation Science**, vol.17, nº 3, pp. 351-357, 1983.

RICCI, D. TEIXEIRA, E. Não jogue o óleo de fritura. **Gazeta de Piracicaba**, 03 de abril de 2007. Disponível em:
<<http://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/nao-jogue-oleo-de-fritura-03-04-07.htm>>. Acesso em: 15 janeiro 2008.

RIGO, Christiany Loss, ROSA, Rodrigo de Alvarenga. Proposta de Resolução do Problema de Logística Reversa da Coleta de Óleo Residual de Fritura para Produção de Biodiesel. In: XXII ANPET - CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 2008, Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza: ANPET, 2008.1 CD-ROM.

RIGO, Christiany Loss, ROSA, Rodrigo de Alvarenga. Aplicação do Método de Coleta e Entrega Simultânea à Logística Reversa de Mercadorias. In: XLI SBPO – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2009, Porto Seguro, Bahia. **Anais ...** Porto Seguro: SBPO, 2009.1 CD-ROM.

ROPKE, Stefan, PISINGER, David. An Adaptive Large Neighborhood Search Heuristic for the Pickup and Delivery Problem with Time Windows. **Transportation Science**, vol. 40, No. 4, November , p. 455–472, 2006.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Roteirização do transporte diário de empregados por uma frota de ônibus fretada**. 1996. 119 p. Dissertação (Mestrado em Informática) – Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória,1996.

ROSE, Adriana. **Uma Avaliação Comparativa de Alguns Sistemas de Informação Geográfica Aplicados aos Transportes**. 2001. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Área de Concentração: Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2001.

SAVELSBERGH, Martin; SOL, Marc. The General Pickup and Delivery Problem. **Transportation Science**, vol. 29, nº 1, p. 17-29, 1995.

SOUZA, Eduardo Cordeiro. **Modelagem e Resolução de Um Problema de Transporte do Tipo: “Carga Única – Coleta e Entrega” com Janelas de Tempo**. 1999. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo, 1999.

SUBRAMANIAN, Anand. **Metaheurística Iterated Local Search Aplicada Ao Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultânea**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), 86 f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção– DEP /CT - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2008.

TAM, Vincent; TSENG, Lois C.Y. Effective Heuristics to Solve Pickup and Delivery Problems with Time Windows, **Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'03)**, 2003.

THANGIAHL, Sam R; POTVIN, Jean-Yves; SUN Tong. Heuristic Approaches to Vehicle Routing with Backhauls and Time Windows. **Computers & Operations Research**. Vol. 23, No. 11, p. 1043-1057, 1996.

TOTH, Paolo; VIGO, Daniele. Heuristic algorithm for the handicapped persons transportation problem. **Transportation Science**, vol 31, nº 1, p. 60-71, 1997.

TOTH, Paolo; VIGO, Daniele. A heuristic algorithm for the symmetric and asymmetric vehicle routing problems with backhauls. **European Journal of Operational Research**, vol. 113, p. 528-543, 1999.

TOTH, Paolo; VIGO, Daniele. VRP with backhauls. In: Paolo Toth e Daniele Vigo (eds.), **The Vehicle Routing Problem**, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications 9, Philadelphia, p. 195–224, 2002.

VAN DER BRUGGEN, L.J.J., LENSTRA, J.K., SCHUUR, P.C., Variable-Depth Search for the Single Vehicle Pickup and Delivery Problem with Time Windows. **Transportation Science**, vol 27, nº 3, p. 298-311, 1993.

YANG, Jian; JAILLET, Patrick; MAHMASSANI, Hani. Real-Time Multivehicle Truckload Pickup and Delivery Problems, **Transportation Science**, Vol. 38, No. 2, pp. 135–148, may 2004.

ZACHARIADIS, Emmanouil; TARANTILIS, Christos D; KIRANOUDIS, Chris T. A Hybrid Metaheuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup service. **Expert Systems with Applications**, vol. 36, p. 1070-1081, 2009.

APÊNDICE A – Sorteio Aleatório para Selecionar os Clientes Atendidos no Turno Matutino e Vespertino dos Cenários 13 e 14

Sorteio Aleatório dos Clientes Atendidos no Turno Matutino					
Clientes		Clientes		Clientes	
327	Ed Charles Britan	96	Kiosque do Mineiro	358	Res Belliui
82	Brenos Bar Rest	262	Cantina Fiorentina	16	Casa da Alegria
149	Sams Club	270	Bar Abertura Praia do Canto	234	Rest Quebra Nozes
95	Kiosque do Ricardo	206	Recanto Gaucho	152	Top Grill
165	La Salsa	148	Sam's Club GR	219	Buteco da Praia
182	Bruno's Rest	25	KUOMN Inst Educação	21	Carone Itapoã
172	Vila Dourada	70	Pastelaria Ki Gostoso	349	Ed Abaeté
115	Kiosque Vania	271	Rest Taurus	233	Bacalhauzinho
160	Plataforma 16	116	Quiosque Tia Maria	68	Serralinda
171	Video Pizza	52	Ed Cristal Residencial	291	Cantinho Verde
184	La Cozinha	29	Carone Praia da Costa	330	Ed Guaratuba
325	Ed Caqueiros	94	Quiosque Atlantico	203	Carone Jardim Camburi
88	Kiosque Farol	183	Pad Delicias do Trigo	336	Ed Marireale
275	Happy Fest Buffet	30	Pad Monte Libano	313	Cond Parque Vina de Mar
83	Churrascaria Carretão	58	Choperia Toca da Onça	295	Rest Spetaculo
42	Rest Tonini	357	Res Vila de Itália	185	Lago de Garda
78	Geraldinho	20	Quiosque Amigos	281	Ponto 5 Rest
97	Kiosque Belo Horizonte	315	Cond Dom Rafael	304	Posto Serramar
4	Frizera Marins	62	GR Belgo Mineira	321	Ed Anna Beatriz
323	Ed Atlanta	303	VN Lanches	297	Wal Mart
126	Kiosque Siqueira	156	Restaurante Esplanada	112	Kiosque Oasis
248	Galeti Bar	212	Carone Filial Jardim Penha	309	Cond Juan Miro
188	Hosp Mat Santa Paula	314	Cond Castelamare	157	Churrascaria Sena
305	Brasvit	350	Ed Cezanne	187	Bar Praia Camburi
347	Ed Varandas de Camburi	359	Res Jardim Camburi	179	Daimond
351	Ed Cosmos	77	Splash Buffet Infantil	254	Pad Expressa
334	Ed Leilane	146	Bar do Wagner	59	Rest Despachante
307	Cond Tupinambase	91	Kiosque da Cida	292	Centro Leonardo da Vinci
139	Arcelor Br - CST	301	La Salsa	345	Ed Santa Ursula
11	Carone Coqueiral	322	Ed Atenas	122	Kiosque Maria e Mariana
40	Otimo Rest	290	Centro EducPrimeiro Mundo	235	Botequim do Zé
107	Kiosque Galápagos	224	Adega	166	Fucape
27	Quiosque Tropical	243	Ceará Bar	104	Kiosque do Alemão
186	Barraca Canoa Quebrada	338	Ed Monte Verde	93	Kiosque de Manguinhos
7	Estudio Bar	43	Cond Itaparica	155	Lanch Praça 8
177	Padaria Pão Chic	268	Quatro Fratelli	312	Cond Mario Archer
135	Cond Jacaraípe QD 7	197	Kibelandio	168	Pad Monza Ilha SantaMaria
328	Ed Comodoro	141	Eximbiz	250	Dona Ruth
311	Cond Sam Thomas	324	Ed Badeu	105	Kiosque do Mauro
237	Corais Moquecas e Petiscos	282	Duo Di Buffett	215	Musashi
221	Kiabai Sorveteria	346	Ed Solar do Barão	269	Rest Bellia
342	Ed Cabo Verde	227	Club dos Oficiais	289	Tirol Rest e Eventos
202	Jim Jim	106	Kiosque Estrela do Mar	129	Rest Nutriserv
134	Cond Jacaraípe QD6	32	Cerimonial Atrium	360	Res Santa Lucia
103	Quiosque Descontração	56	Posto São Cristovão	63	Cozinha Comunitaria
299	Conf Monte Líbano	13	14 Bis	117	Kiosque SKY
224	Adega	84	Vanú	231	Petiscaria
318	Ed Mata da Praia III	154	Pad Master Central	73	Picanhas e CIA
145	Mayson Orange	111	Kiosque Mirante	326	Ed Castro Alves
263	Delishop	147	Alvares Cabral Lanchonete	274	Esfirreria Saboro Libano
331	Ed Ida Bittecurt Fev	37	La Villa	189	Galeto Dourado
308	Cond Pedra Azul	169	Assc PM e BM-ES	332	Ed Jorge Amado
76	Lanch Caldo de Cana	319	Ed Abrolhos	287	Familia Spetacul
277	Lareira Portuguesa	131	Cond ResdParq dos Pinhosl	214	Chopp Haus
273	Bar Escritório	174	Point Grill	252	Casa do Porto
162	Panela Capixaba	34	Rest Divina Carne	33	Cabana da Praia
39	Pizzaria 2000	223	Bar Concentração	24	Cant Forno de Lenha
267	Twins	192	Lanches Paulista	142	Sabor Gaucho
132	Cond Res Paque Pinhos II	213	Frango a Passarinho		
98	Kiosque Aeroporto	72	Robs Lanche		
210	Shopping Grill	238	Pad Pão Gostoso		

Sorteio Aleatório dos Clientes Atendidos no Turno Vespertino

Clientes		Clientes		Clientes	
2	Padaria Turay	114	Kiosque Pontode Encontro2	239	Pastelão do Pacotinho
3	Lanch Show de Bola	118	Rest Estação 1 Manguinhos	240	Shateau II
5	Padaria Araças	119	Tulipas Bar	241	Pad Monza Fradinhos
6	Lanchonete Museu	120	Kiosque do Piê	242	Bee
8	Degust	121	Kiosque Tropical	244	Pioneiros
9	Carone Matriz	123	Kiosque Escritório	245	Pad Vitória
10	Roda Pizza	124	Kiosque Tubarão	246	Bar Jerezense
12	Chur Tonini	125	Rest Berro D Agua	247	CIA do Lanche
14	Mister Kim	127	Kiosque Jajá	249	La Miguelita
15	Pad e Conf Maripan	128	Rest Kazarão	251	Aleixo
17	Pad Manos Itaparica	130	Bar Areia Mar	253	Spettus Bar
18	Pad Manos Itapoã	133	Cond ResdPar PinhosIII	255	Tutti Pane
19	Pastelaria da Praia	136	Cond Jacaraípe QD8	256	Bristol Av Rio Branco
22	American Bar Grill	137	Churrascaria Esteio	257	Bristol Zodiac
23	It Comemora	138	Sabor Vitória	258	Bristol Praia do Canto
26	Portilho	140	Sodexho	259	Pad Expressa Master
28	Bristol	143	Lanchonete da Fernanda	260	Merc Grande Reserva
31	Arrebentação	144	Carrefour	261	Salsa da Praia
35	Churrasc CostaBrasil	150	Pad Monza Itaciba	264	Sabor IA
36	Rest Timoneiro	151	Rest Vegetariano Natura	265	Bilac
38	Cerimonial Versa	153	Pastelaria Kimassa	266	Hotel Ibis
41	Hospital Infantil	158	Lanchonete Pastelão	272	Buteco do Gago
44	Ed Towers	159	Vivenda do Camarão	276	Teacher's Pub
45	Ed Benjamina Bortolini	161	Whiskol Quiosque	278	Bar Lanche
46	Ed Long Beach	163	Victoria Grill	279	Bar do Gordo
47	Ed Nelson Prett	164	Salada Grill	280	Faculdade da Cana
48	Ed Abeli	167	Buris Burguer	283	Rest Salada Verde
49	Ed Vina Del Mar	170	Big Lui	284	Q-Luxo
50	Ed Zana	173	California Grill	285	Alegrete
51	Ed Acauã	175	Pad Arte Pão	286	Emporio Arabe
53	Band Batata	176	Sabor Caseiro	288	Rest Castelinho
54	Kipão	178	Quentegelado	293	Pad Monte Libano SantaLuc
55	Mundo Moderno	180	Jun Soon Park Kin Yahoo	294	Pad Santa Lucia
57	Politintas	181	Rest Fontes	296	Carone Santa Lucia
60	EMEF Angelo Zani	190	Bar do Mineiro	298	Pad Integral
61	EMEF MariaRezendeCoutinho	191	Iah Bar	300	Pão e Sabor
64	Padaria Aliança	193	V8 Bar	302	Bar Bacana
65	Quatro Estações	194	Q Delicia Rest	306	Pad Monza República
66	Carbo Industrial	195	Puxada de Rede	310	Cond Parque Pallos Verdes
67	Fabavi	196	Sabor do Sul 2	316	Cond Res Vicenti
69	Lord Camburi	198	Pastel Garapa	317	Cond Village
71	Rancho Serra Azul	199	Siri e CIA	320	Ed Alamanda
74	Santa Gula	200	Pistache	329	Ed Cristina
75	Profarma	201	Giraffas	333	Ed Lagoa Juparanã
79	Geraldo Rest Manguinhos	204	Caiana Bar	335	Ed Marina
80	System Prog e Serv LTDA	205	Sabor do Sul 1	337	Ed Miramar
81	Rest 2 Irmãos	207	Canto do Caldo	339	Ed Noel Rosa
85	Tims	208	Damasco	340	Ed Normandia
86	Birité Rei do Kibe	209	Laboratorio do Chopp	341	Ed Porto Recanto
87	Empório do Carangueijo	211	Colégio Renovação	343	Ed Praia de Meaípe
89	Kiosque 7 Ondas	216	Geraldo Restaurante	344	Ed Puerto Varas
90	Kiosque American	217	Cantina do Bacco	348	Ed Vitali
92	Kiosque Pier 12	218	Porto do Bacalhal	352	Ed Ilha Bella
99	Kiosque Atlantica	220	Pad Monza Jardim Penha	353	Ed Porto Bello
100	Kiosque Bagaceira	225	Bar Abertura Jardim Penha	354	Ed Reali Monte
101	Kiosque Bereco	226	Rest Hora do Almoço	355	Ed Vila Mormanda
102	Kiosque Bola Cheia	228	Pad Monte Libano	356	Ed Linhares e Guaçuí
108	Kiosque Gonzagas	229	Arquipélago Bar	361	Cond Main Flower
109	Kiosque Kyukei	230	Chopp 600		
110	Kiosque Mineirinho	232	Perim		
113	Kiosque Pontode Encontro1	236	Pão de Queijo		

ANEXO A – Demanda e Horário de Atendimento de Cada Cliente

(continua)

Demanda e Horário de Atendimento de Cada Cliente						
ID	Clientes	Início do Horário Atend.	Término do Horário Atend.	Demanda Coleta	Demanda Entrega	
2	Padaria Turay	10:00	14:00	1	2	
3	Lanch Show de Bola	09:00	17:00	1	2	
4	Frizera Marins	09:00	17:00	2	1	
5	Padaria Araças	11:00	15:00	3	2	
6	Lanchonete Museu	09:00	17:00	2	1	
7	Estudio Bar	09:00	17:00	2	2	
8	Degust	14:00	17:00	1	2	
9	Carone Matriz	09:00	17:00	2	1	
10	Roda Pizza	09:00	17:00	2	2	
11	Carone Coqueiral	09:00	17:00	3	2	
12	Chur Tonini	14:00	17:00	3	2	
13	14 Bis	09:00	17:00	2	2	
14	Mister Kim	09:00	17:00	3	2	
15	Pad e Conf Maripan	12:00	17:00	3	2	
16	Casa da Alegria	09:00	17:00	2	1	
17	Pad Manos Itaparica	12:00	17:00	1	2	
18	Pad Manos Itapoã	12:00	17:00	0	1	
19	Pastelaria da Praia	09:00	16:00	2	1	
20	Quiosque Amigos	09:00	17:00	1	2	
21	Carone Itapoã	09:00	17:00	4	3	
22	American Bar Grill	14:00	17:00	1	1	
23	It Comemora	09:00	17:00	2	1	
24	Cant Forno de Lenha	10:00	16:00	2	3	
25	KUMON Inst de Educação	09:00	17:00	1	2	
26	Portilho	09:00	17:00	2	3	
27	Quiosque Tropical	09:00	17:00	2	2	
28	Bristol	09:00	17:00	1	1	
29	Carone Praia Costa	09:00	17:00	2	3	
30	Pad Monte Libano	12:00	17:00	1	2	
31	Arrebentação	09:00	17:00	1	1	
32	Cerimonial Atrium	09:00	17:00	1	2	
33	Cabana da Praia	09:00	17:00	2	1	
34	Rest Divina Carne	14:00	17:00	3	3	
35	Churrasc CostaBrasil	14:00	17:00	3	2	
36	Rest Timoneiro	14:00	17:00	2	3	
37	La Villa	09:00	17:00	2	3	
38	Cerimonial Versa	09:00	17:00	1	2	
39	Pizzaria 2000	11:00	17:00	2	2	
40	Otimo Rest	14:00	17:00	3	2	
41	Hospital Infantil	09:00	17:00	1	1	
42	Rest Tonini	14:00	17:00	3	3	
43	Cond Itaparica	09:00	17:00	1	1	
44	Ed Towers	09:00	16:00	2	1	
45	Ed Benjamina Bortolini	09:00	16:00	1	2	
46	Ed Long Beach	09:00	16:00	1	1	
47	Ed Nelson Prett	09:00	16:00	2	1	
48	Ed Abeli	09:00	16:00	2	1	
49	Ed Vina Del Mar	09:00	16:00	2	1	
50	Ed Zana	09:00	16:00	2	2	
51	Ed Acauã	09:00	16:00	1	1	
52	Ed Cristal Residencial	09:00	16:00	1	2	
53	Band Batata	09:00	17:00	1	2	
54	Kipão	10:00	15:00	2	3	
55	Mundo Moderno	09:00	17:00	1	3	
56	Posto São Cristovão	09:00	17:00	2	2	
57	Politintas	09:00	17:00	1	2	
58	Choperia Toca da Onça	09:00	17:00	3	2	
59	Rest Despachante	14:00	17:00	2	3	
60	EMEF Angelo Zani	09:00	17:00	1	2	
61	EMEF MariaRezendeCoutinho	09:00	17:00	1	2	
62	GR Belgo Mineira	09:00	17:00	4	5	
63	Cozinha Comunitaria	14:00	17:00	3	3	
64	Padaria Aliança	10:00	14:00	2	1	
65	Quatro Estações	09:00	17:00	2	2	
66	Carbo Industrial	09:00	17:00	2	3	
67	Fabavi	09:00	17:00	1	2	
68	Serralinda	09:00	17:00	2	3	
69	Lord Camburi	09:00	17:00	2	2	
70	Pastelaria Ki Gostoso	09:00	17:00	0	1	

(continuação)

Demanda e Horário de Atendimento de Cada Cliente					
ID	Clientes	Início do Horário Atend.	Término do Horário Atend.	Demanda Coleta	Demanda Entrega
71	Rancho Serra Azul	09:00	17:00	5	3
72	Robs Lanche	09:00	13:00	2	3
73	Picanhas e CIA	14:00	17:00	4	2
74	Santa Gula	14:00	17:00	2	1
75	Profarma	09:00	17:00	3	0
76	Lanch Caldo de Cana	09:00	17:00	1	1
77	Splash Buffet Infantil	09:00	17:00	3	2
78	Geraldinho	10:30	16:30	2	4
79	Geraldo Rest Manguinhos	10:30	16:30	1	2
80	System Prog e Serv LTDA	09:00	17:00	2	1
81	Rest 2 Irmãos	10:00	13:30	2	2
82	Brenos Bar Rest	12:00	14:00	3	2
83	Churrascaria Carretão	09:00	14:00	3	3
84	Vanú	09:00	17:00	1	3
85	Tims	09:00	17:00	3	3
86	Birité Rei do Kibe	09:00	17:00	2	4
87	Empório do Carangueijo	09:00	17:00	1	1
88	Kiosque Farol	10:00	17:00	1	2
89	Kiosque 7 Ondas	10:00	17:00	2	1
90	Kiosque American	10:00	17:00	1	2
91	Kiosque da Cida	10:00	17:00	1	1
92	Kiosque Pier 12	10:00	17:00	1	1
93	Kiosque de Manguinhos	10:00	17:00	0	1
94	Kiosque Atlantico	10:00	17:00	1	0
95	Kiosque do Ricardo	10:00	17:00	1	2
96	Kiosque do Mineiro	10:00	17:00	2	1
97	Kiosque Belo Horizonte	10:00	17:00	1	1
98	kiosque Aeroporto	10:00	17:00	0	1
99	Kiosque Atlantica	10:00	17:00	1	0
100	Kiosque Bagaceira	10:00	17:00	1	1
101	Kiosque Bereco	10:00	17:00	1	2
102	Kiosque Bola Cheia	10:00	17:00	2	1
103	Kiosque Descontração	10:00	17:00	1	0
104	Kiosque do Alemão	10:00	17:00	0	1
105	Kiosque do Mauro	10:00	17:00	1	1
106	Kiosque Estrela do Mar	10:00	17:00	1	2
107	Kiosque Galápagos	10:00	17:00	2	1
108	Kiosque Gonzagas	10:00	17:00	1	1
109	Kiosque Kyukei	10:00	17:00	1	0
110	Kiosque Mineirinho	10:00	17:00	0	1
111	Kiosque Mirante	10:00	17:00	1	1
112	Kiosque Oasis	10:00	17:00	2	1
113	Kiosque Pontode Encontro1	10:00	17:00	1	2
114	Kiosque Pontode Encontro2	10:00	17:00	1	1
115	Kiosque Vania	10:00	17:00	2	1
116	Kiosque Tia Maria	10:00	17:00	1	2
117	Kiosque SKY	10:00	17:00	1	1
118	Rest Estação 1 Manguinhos	09:00	11:30	2	2
119	Tulipas Bar	09:00	17:00	2	3
120	Kiosque do Piê	10:00	17:00	1	1
121	Kiosque Tropical	10:00	17:00	1	1
122	Kiosque Maria e Mariana	10:00	17:00	1	1
123	Kiosque Escritório	10:00	17:00	1	1
124	Kiosque Tubarão	10:00	17:00	1	1
125	Rest Berro D Agua	10:00	15:00	2	3
126	Kiosque Siqueira	10:00	17:00	1	1
127	Kiosque Jajá	10:00	17:00	1	1
128	Rest Kazarão	09:00	17:00	3	2
129	Rest Nutriserv	10:00	15:00	2	3
130	Bar Areia Mar	09:00	17:00	2	2
131	Cond ResdParq dos PinhosI	09:00	16:00	1	1
132	Cond ResdParq PinhosII	09:00	16:00	1	2
133	Cond ResdPar PinhosIII	09:00	16:00	2	1
134	Cond Jacaraípe QD6	09:00	16:00	1	1
135	Cond Jacaraípe QD7	09:00	16:00	1	2
136	Cond Jacaraípe QD8	09:00	16:00	0	1
137	Churrascaria Esteio	10:30	16:00	3	2
138	Sabor Vitória	13:00	16:00	1	2
139	Arcelor Br-CST	09:00	17:00	10	8
140	Sodexo	11:00	14:00	1	2

(continuação)

Demanda e Horário de Atendimento de Cada Cliente					
ID	Clientes	Início do Horário Atend.	Término do Horário Atend.	Demanda Coleta	Demanda Entrega
141	Eximbiz	09:00	17:00	2	1
142	Sabor Gaucho	10:00	14:00	2	2
143	Lanchonete da Fernanda	09:00	17:00	1	2
144	Carrefour	09:00	17:00	3	4
145	Mayson Orange	09:00	17:00	1	1
146	Bar do Wagner	09:00	17:00	2	1
147	Alvares Cabral Lanchonete	09:00	17:00	1	2
148	Sam's Club-GR	09:00	17:00	1	1
149	Sam's Club	09:00	17:00	2	2
150	Pad Monza Itaciba	09:00	12:00	1	2
151	Rest Vegetariano Natura	09:00	12:00	2	1
152	Top Grill	09:00	11:30	4	3
153	Pastelaria Kimassa	10:00	14:00	1	1
154	Pad Master Central	09:00	13:30	2	3
155	Lanch Praça 8	09:00	17:00	0	1
156	Rest Esplanada	09:00	12:00	2	2
157	Churrascaria Sena	10:00	14:00	3	2
158	Lanchonete Pastelão	09:00	17:00	1	1
159	Vivenda do Camarão	09:00	17:00	3	4
160	Plataforma 16	09:00	17:00	2	1
161	Whiskol Quiosque	09:00	17:00	1	2
162	Panela Capixaba	09:00	13:30	4	2
163	Victoria Grill	09:00	13:00	2	3
164	Salada Grill	09:00	11:30	3	2
165	La Salsa	14:00	17:00	3	3
166	Fucape	09:00	17:00	1	2
167	Buris Burguer	09:00	17:00	2	1
168	Pad Monza Ilha SantaMaria	09:00	15:00	1	1
169	Assc PM e BM-ES	09:00	17:00	2	2
170	Big Lui	09:00	17:00	1	1
171	Video Pizza	09:00	17:00	1	2
172	Vila Dourada	09:00	17:00	2	1
173	California Grill	08:30	11:30	1	2
174	Point Grill	09:00	14:00	2	1
175	Pad Arte Pão	09:00	12:00	2	2
176	Sabor Caseiro	09:00	14:00	1	1
177	Padaria Pão Chic	10:00	14:00	2	1
178	Quentegelado	09:00	17:00	1	2
179	Daimond	09:00	17:00	1	1
180	Jun Soon Park Kin Yahoo	09:00	17:00	2	2
181	Rest Fontes	08:30	11:30	3	2
182	Bruno's Rest	08:30	11:30	2	1
183	Pad Delícias do Trigo	09:00	14:00	2	3
184	La Cozinha	08:30	11:30	2	2
185	Lago de Garda	09:00	17:00	2	1
186	Barraca Canoa Quebrada	09:00	17:00	1	1
187	Bar Praia Camburi	09:00	17:00	1	1
188	Hosp Mat Santa Paula	09:00	17:00	2	1
189	Galeto Dourado	09:00	17:00	1	2
190	Bar do Mineiro	09:00	17:00	2	1
191	Iah Bar	09:00	17:00	3	2
192	Lanches Paulista	09:00	17:00	1	1
193	V8 Bar	09:00	14:00	3	3
194	Q Delicia Rest	09:00	13:00	2	1
195	Puxada de Rede	09:00	17:00	1	2
196	Sabor do Sul 2	09:00	14:00	1	1
197	Kibelandio	09:00	17:00	1	2
198	Pastel Garapa	09:00	17:00	2	1
199	Siri e CIA	09:00	17:00	1	1
200	Pistache	09:00	17:00	1	2
201	Giraffas	09:00	17:00	2	3
202	Jim Jim	09:00	17:00	2	1
203	Carone Jardim Camburi	09:00	17:00	3	3
204	Caiana Bar	09:00	17:00	3	2
205	Sabor do Sul 1	09:00	12:00	1	1
206	Recanto Gaucho	09:00	13:00	2	1
207	Canto do Caldo	09:00	17:00	1	2
208	Damasco	09:00	17:00	3	3
209	Laboratorio do Chopp	09:00	17:00	1	1
210	Shopping Grill	11:00	15:00	1	2

(continuação)

Demanda e Horário de Atendimento de Cada Cliente					
ID	Clientes	Início do Horário Atend.	Término do Horário Atend.	Demanda Coleta	Demanda Entrega
211	Colégio Renovação	09:00	17:00	2	1
212	Carone Filial JardimPenha	09:00	17:00	1	1
213	Frango a Passarinho	09:00	17:00	2	1
214	Chopp Haus	09:00	15:00	3	3
215	Musashi	08:30	12:00	2	3
216	Geraldo Restaurante	09:00	13:00	4	3
217	Cantina do Bacco	09:00	17:00	2	3
218	Porto do Bacalhal	08:30	11:30	1	2
219	Buteco da Praia	09:00	17:00	2	1
220	Pad Monza Jardim Penha	09:00	12:00	1	1
221	Kiabai Sorveteria	09:00	17:00	2	1
222	Bar do Pezão	09:00	15:00	1	2
223	Bar Concentração	09:00	17:00	2	2
224	Adega	09:00	13:30	1	2
225	Bar Abertura Jardim Penha	09:00	14:00	4	4
226	Rest Hora do Almoço	08:30	11:30	3	4
227	Club dos Oficiais	09:00	17:00	2	1
228	Pad Monte Libano	09:00	14:00	1	2
229	Arquipélago Bar	09:00	17:00	5	4
230	Chopp 600	09:00	17:00	1	2
231	Petiscaria	09:00	14:00	2	1
232	Perim	09:00	17:00	9	8
233	Bacalhauzinho	10:00	15:00	2	2
234	Rest Quebra Nozes	08:30	11:30	1	1
235	Botequim do Zé	09:00	17:00	2	1
236	Pão de Queijo	09:00	17:00	2	1
237	Corais Moquecas e Petisco	08:30	12:30	4	3
238	Pad Pão Gostoso	09:00	13:30	1	2
239	Pastelão do Pacotinho	09:00	17:00	2	1
240	Shateau II	08:30	11:30	2	2
241	Pad Monza Fradinhos	14:00	17:00	1	2
242	Bee	09:00	17:00	3	3
243	Ceará Bar	09:00	17:00	4	3
244	Pioneiros	09:00	17:00	3	4
245	Pad Vitória	09:00	15:00	2	1
246	Bar Jerezense	09:00	17:00	1	2
247	CIA do Lanche	09:00	17:00	1	1
248	Galeti Bar	08:30	13:00	2	2
249	La Miguelita	08:30	15:00	3	2
250	Dona Ruth	09:00	17:00	2	1
251	Aleixo	09:00	17:00	1	2
252	Casa do Porto	09:00	17:00	2	1
253	Spettus Bar	09:00	17:00	1	2
254	Pad Expressa	09:00	12:00	2	3
255	Tutti Pane	09:00	14:30	2	1
256	Bristol Av Rio Branco	09:00	17:00	1	2
257	Bristol Zodiac	09:00	17:00	2	1
258	Bristol Praia do Canto	09:00	17:00	1	2
259	Pad Expressa Master	09:00	17:00	3	2
260	Merc Grande Reserva	09:00	17:00	1	1
261	Salsa da Praia	09:00	17:00	1	2
262	Cantina Fiorentina	10:00	15:00	2	1
263	Delishop	09:00	17:00	1	2
264	Sabor IA	09:00	17:00	2	1
265	Bilac	09:00	17:00	3	3
266	Hotel Ibis	09:00	17:00	1	1
267	Twins	09:00	17:00	1	2
268	Quatro Fratelli	09:00	17:00	2	1
269	Rest Bellia	09:30	14:00	2	2
270	Bar Abertura Praia Canto	09:00	12:00	4	4
271	Rest Taurus	09:00	14:00	4	2
272	Buteco do Gago	09:00	17:00	1	2
273	Bar Escritorio	09:00	17:00	2	3
274	Esfirreria Sabordo Libano	09:00	17:00	2	1
275	Happy Fest Buffet	09:00	17:00	3	2
276	Teacher's Pub	09:00	17:00	1	1
277	Lareira Portuguesa	09:00	17:00	4	3
278	Bar Lanche	09:00	17:00	1	2
279	Bar do Gordo	09:00	17:00	2	1
280	Faculdade da Cana	09:00	17:00	1	1

(continuação)

Demanda e Horário de Atendimento de Cada Cliente					
ID	Clientes	Início do Horário Atend.	Término do Horário Atend.	Demanda Coleta	Demanda Entrega
281	Ponto 5 Rest	09:00	12:00	2	1
282	Duo Di Buffett	09:00	17:00	1	2
283	Rest Salada Verde	10:30	14:00	2	1
284	Q-Luxo	09:00	17:00	2	1
285	Alegrete	09:00	17:00	3	4
286	Emporio Arabe	10:00	13:30	3	3
287	Familia Spetacul	09:00	15:00	5	4
288	Rest Castelinho	10:00	14:00	2	1
289	Tirol Rest e Eventos	09:00	12:30	1	2
290	Centro EducPrimeiro Mundo	09:00	17:00	2	1
291	Cantinho Verde	09:00	17:00	1	2
292	Centro Leonardo da Vinci	09:00	17:00	1	1
293	Pad Monte Libano SantaLuc	09:00	13:00	2	2
294	Pad Santa Lucia	09:00	12:00	2	1
295	Rest Spetaculo	08:30	11:30	5	4
296	Carone Santa Lucia	09:00	17:00	3	2
297	Wal Mart	09:00	17:00	2	3
298	Pad Integral	08:30	12:30	1	2
299	Conf Monte Libano	14:00	17:00	2	1
300	Pão e Sabor	09:00	16:00	1	2
301	La Salsa	10:00	16:00	2	3
302	Bar Bacana	09:00	17:00	4	3
303	VN Lanches	09:00	17:00	2	1
304	Posto Serramar	09:00	17:00	1	2
305	Brasvit	09:00	17:00	2	1
306	Pad Monza República	09:00	12:00	1	2
307	Cond Tupinambase	09:00	16:00	2	1
308	Cond Edif Pedra Azul	09:00	16:00	1	2
309	Cond Juan Miro	09:00	16:00	1	1
310	Cond Parque Pallos Verdes	09:00	16:00	2	1
311	Cond Sam Thomas	09:00	16:00	1	2
312	Cond Mario Archer	09:00	17:00	2	1
313	Cond Parque Vina de Mar	09:00	16:00	1	2
314	Cond Castelamare	09:00	16:00	2	2
315	Cond Dom Rafael	09:00	16:00	1	2
316	Cond Res Vicenti	09:00	17:00	1	2
317	Cond Village	09:00	16:00	2	1
318	Ed Mata da Praia III	09:00	16:00	1	1
319	Ed Abrolhos	09:00	16:00	2	1
320	Ed Alamanda	09:00	17:00	1	1
321	Ed Anna Beatriz	09:00	17:00	1	1
322	Ed Atenas	09:00	17:00	2	1
323	Ed Atlanta	09:00	17:00	1	1
324	Ed Badeu	09:00	17:00	1	1
325	Ed Caqueiros	09:00	17:00	2	1
326	Ed Castro Alves	09:00	17:00	2	1
327	Ed Charles Britan	09:00	17:00	1	1
328	Ed Comodoro	09:00	17:00	1	1
329	Ed Cristina	09:00	17:00	1	1
330	Ed Guaratuba	09:00	16:00	1	1
331	Ed Ida Bitteucurt Fev	09:00	16:00	1	1
332	Ed Jorge Amado	09:00	16:00	1	1
333	Ed Lagoa Juparanã	09:00	16:00	1	1
334	Ed Leilane	09:00	16:00	1	1
335	Ed Marina	09:00	17:00	1	1
336	Ed Marireale	09:00	17:00	1	1
337	Ed Miramar	09:00	16:00	1	1
338	Ed Monte Verde	09:00	16:00	1	1
339	Ed Noel Rosa	09:00	16:00	1	1
340	Ed Normandia	09:00	16:00	1	1
341	Ed Porto Recanto	09:00	16:00	1	1
342	Ed Cabo Verde	09:00	16:00	1	1
343	Ed Praia de Meaípe	09:00	17:00	1	1
344	Ed Puerto Varas	09:00	17:00	1	1
345	Ed Santa Ursula	09:00	17:00	1	1
346	Ed Solar do Barão	09:00	17:00	1	1
347	Ed Varandas de Camburi	09:00	17:00	1	1
348	Ed Vitali	09:00	17:00	1	1
349	Ed Abaeté	09:00	17:00	1	1
350	Ed Cezanne	09:00	17:00	1	1
351	Ed Cosmos	09:00	17:00	1	1
352	Ed Ilha Bella	09:00	17:00	1	1

(conclusão)

Demanda e Horário de Atendimento de Cada Cliente					
ID	Cientes	Início do Horário Atend.	Término do Horário Atend.	Demanda Coleta	Demanda Entrega
353	Ed Porto Bello	09:00	17:00	1	1
354	Ed Reali Monte	09:00	17:00	1	1
355	Ed Vila Mormanda	09:00	16:00	1	1
356	Ed Linhares e Guaçuí	09:00	16:00	1	1
357	Res Vila D'Italia	09:00	16:00	2	1
358	Res Belliui	09:00	16:00	1	2
359	Res Jardim Camburi	09:00	16:00	2	1
360	Res Santa Lucia	09:00	16:00	1	2
361	Cond Main Flower	09:00	16:00	1	1

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)