



**COPPE/UFRJ**

O PROCESSO DE ROTEIRIZAÇÃO COMO ELEMENTO DE REDUÇÃO DO  
CUSTO DE COLETA EM ÁREA URBANA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA  
PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Ricardo César da Silva Guabiroba

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro

Abril de 2009

O PROCESSO DE ROTEIRIZAÇÃO COMO ELEMENTO DE REDUÇÃO DO  
CUSTO DE COLETA EM ÁREA URBANA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA  
PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Ricardo César da Silva Guabiroba

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA  
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Aprovada por:

---

Prof. Marcio de Almeida D'Agosto, D. Sc.

---

Prof. Carlos David Nassi, Dr. Ing.

---

Prof<sup>a</sup>. Márcia Valle Real, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 2009

Guabiroba, Ricardo César da Silva

O Processo de Roteirização como Elemento de Redução do Custo de Coleta em Área Urbana de Óleo Residual de Fritura para Produção de Biodiesel / Ricardo César da Silva Guabiroba – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

XII, 160 p.: il. ; 29,7 cm.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto.

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2009.

Referências Bibliográficas: p. 89 - 94.

1. Coleta de Óleo Residual de Fritura 2. Produção de Biodiesel 3. Ferramentas Computacionais 4. Roteirização 5. Planejamento e Operação I. D'Agosto, Márcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

Dedico este trabalho a todos aqueles que acreditam que a ousadia e a perseverança são caminhos para as grandes realizações.

## AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, por me guiar pelos caminhos da honra e da verdade.

Ao Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, por ter oferecido todo o apoio necessário para a realização deste trabalho.

Ao Prof. D. Sc. Márcio de Almeida D'Agosto, pela primorosa orientação (sempre atenciosa, precisa e valorosa), por todo valor e por todo conhecimento agregado a este orientando (levando-o a patamares mais altos como profissional e como ser humano), pelo incentivo, pela confiança, pela gentileza, pelo aprendizado e principalmente pela amizade.

Ao Programa de Coleta de Óleo Residual de Fritura na UFRJ pela permissão para participar de suas reuniões internas, bem como dos processos de planejamento e de operação, que possibilitaram a experimentação prática desta dissertação.

À Prof. D. Sc. Márcia Valle Real, por todo apoio e por todo incentivo dispensados desde o início até a fase final desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Ing. Carlos David Nassi e ao mestrando Maxwell Scardini Kaiser pelo apoio na etapa de utilização do *software* de roteirização.

A cada um dos professores da Banca Examinadora, D. Sc. Márcio de Almeida D'Agosto, D. Sc. Márcia Valle Real e Dr. Ing. Carlos David Nassi, pela dedicação de seu precioso tempo, atenção e competência na avaliação e crítica desta dissertação.

A toda minha família pelo conforto de todas as horas, em especial à Neide Natividade Barbosa Custódio pelo carinho, pelo incentivo e pelo acolhimento em seu lar durante todo o período do curso.

À mestre Eng<sup>a</sup>. Diana Mery Messias Lopes, pela amizade e pelo companheirismo, dispensados no decorrer de todo o processo de aprendizado.

À mestre e Prof. Bianca Côrtes Cardoso, pela dedicação e pelo aprendizado adquirido no processo de grafia desta dissertação.

À CAPES pelo apoio dado aos alunos, incentivando a pesquisa e a disseminação do conhecimento.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

O PROCESSO DE ROTEIRIZAÇÃO COMO ELEMENTO DE REDUÇÃO DO  
CUSTO DE COLETA EM ÁREA URBANA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA  
PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Ricardo César da Silva Guabiroba

Abril/2009

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Programa: Engenharia de Transportes

Esta dissertação trata da viabilidade de se produzir biodiesel a partir de óleo residual de fritura, um resíduo disperso em áreas urbanas. Essa matéria-prima foi avaliada quanto ao custo do produto em si e ao custo para realizar a coleta do ponto de vista do produtor de biodiesel. Este, por sua vez, tem como alternativa comprar o resíduo no mercado (com frete incluído) ou promover a coleta, arcando com o custo do produto, que normalmente é zero, e com o custo de coleta que depende dos processos de planejamento e de operação das visitas. Nesse sentido, verificou-se o potencial de um *software* computacional de roteirização de veículos para minimizar o custo incorrido com a realização da rota. No entanto, outros problemas provenientes da administração da rotina, composta por duas etapas, uma de planejamento e outra de operação, podem reduzir o lucro da empresa. Como os problemas observados durante o processo de coleta de um caso prático não podem ser solucionados apenas por meio da roteirização, propõe-se dois fluxogramas, contribuição do presente estudo, capazes de auxiliar no processo de padronização das práticas do coletor.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

THE ROUTING PROCESS AS ELEMENT TO REDUCE THE COLLECTION  
COST IN URBAN AREA OF WASTE COOKING OIL FOR BIODIESEL  
PRODUCTION

Ricardo César da Silva Guabiroba

April/2009

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Department: Transportation Engineering

This dissertation presents a feasibility study on the production of biodiesel from waste cooking oil, a residue found in urban areas. The viability of using this raw material to produce biodiesel was assessed regarding the cost of the product and the expense the producer will have to make to perform the collection. The producer has the option to purchase the residue in the market (with freight included) or collect the oil himself, bearing the cost of the product, which is usually zero, and the cost of the collection that depends on planning and operation visiting processes. Thus the potential of a computer software for vehicle routing was checked to minimize the cost to perform the route. However, other problems from the routine administration, constituted of two stages – planning and operation –, can reduce the profit of the company. As the problems observed during the collection in a case study cannot be solved only by routing, the present study proposes two flowcharts capable of assisting in the standardization of the collector's practices.

## ÍNDICE DO TEXTO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. HIPÓTE DA DISSERTAÇÃO .....	2
1.2. OBJETO DE ESTUDO E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....	3
1.3. ESTRUTURA PROPOSTA PARA A DISSERTAÇÃO .....	3
<b>2. BIODIESEL – ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>5</b>
2.1. BIODIESEL – CONCEITUAÇÃO .....	5
2.2. BIODIESEL NO CENÁRIO INTERNACIONAL .....	7
2.3. BIODIESEL NO CENÁRIO NACIONAL .....	9
2.3.1. <i>Rotas tecnológicas e rota usual no Brasil.....</i>	<i>10</i>
2.3.2. <i>Matérias-Primas para a produção de biodiesel no Brasil.....</i>	<i>11</i>
2.4. CUSTO DO BIODIESEL NO BRASIL.....	11
2.4.1. <i>Participação de matérias-primas cultiváveis no custo total do biodiesel</i> <i>.....</i>	<i>15</i>
2.4.2. <i>Participação da matéria-prima residual no custo total do biodiesel.....</i>	<i>16</i>
2.4.3. <i>Participação da matéria-prima óleo residual de fritura no custo total do</i> <i>biodiesel.....</i>	<i>16</i>
<b>3. MODELO BÁSICO DE SISTEMAS DE COLETA DE RESÍDUOS .....</b>	<b>19</b>
3.1. CADEIAS DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA.....	19
3.1.1. <i>Experiência internacional .....</i>	<i>20</i>
3.1.2. <i>Experiência nacional.....</i>	<i>23</i>
3.2. MODELO BÁSICO DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA .....	28
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE</b> <b>FRITURA .....</b>	<b>31</b>
4.1. O PROBLEMA DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA .....	31
4.2. O PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS E SEUS VARIANTES.....	32
4.3. MÉTODO PARA CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA.....	36
4.4. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA .	40

<b>5. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS</b>	<b>44</b>
.....	
5.1. O EMPREGO DE <i>SOFTWARES</i> FECHADOS DE ROTEIRIZAÇÃO NO BRASIL .....	44
5.2. <i>SOFTWARES</i> COMERCIAIS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS .....	46
5.3. SUGESTÃO DE <i>SOFTWARES</i> PARA ROTEIRIZAR A COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA.....	51
5.4. BENEFÍCIOS DOS <i>SOFTWARES</i> DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS .....	54
<b>6. ANÁLISE QUANTITATIVA DO CASO – CENTRAL ALFA DE COLETA... 56</b>	
6.1. UM CASO ENVOLVENDO A COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA .....	56
6.2. ROTEIRIZAÇÃO DE CINCO COLETAS REALIZADAS PELA CENTRAL ALFA .....	57
6.3. CARACTERÍSTICAS DOS VEÍCULOS QUE EFETUARAM AS CINCO COLETAS OBSERVADAS .....	61
6.4. OS CUSTOS INCORRIDOS NAS CINCO COLETAS OBSERVADAS DA CENTRAL ALFA	63
6.5. TEMPOS DE VIAGEM NAS CINCO COLETAS DA CENTRAL ALFA.....	67
<b>7. ANÁLISE QUALITATIVA DO CASO – CENTRAL ALFA DE COLETA..... 71</b>	
7.1. ROTINA DE EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES DA CENTRAL ALFA .....	71
7.2. SITUAÇÃO 1 – QUANDO O PLANEJAMENTO FALHA .....	74
7.3. SITUAÇÃO 2 – QUANDO A OPERAÇÃO FALHA.....	76
7.4. SITUAÇÃO 3 – SISTEMA DE COLETA PADRONIZADO .....	79
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>85</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXOS 1: DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DO CUSTO DO BIODIESEL NAS REGIÕES BRASILEIRAS.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO 2: DETALHAMENTO DAS EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO 3: DETALHAMENTO DAS EXPERIÊNCIAS NACIONAIS DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA.....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO 4: VARIAÇÕES DO PRV (PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS).....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO 5: ASPECTOS COMPUTACIONAIS DO PRV .....</b>	<b>120</b>

<b>ANEXO 6: PESQUISA 2008 DE <i>SOFTWARES</i> DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS .....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO 7: DESENHO DAS ROTAS FORNECIDAS PELO TRANSCAD .....</b>	<b>144</b>
<b>ANEXO 8: RELATÓRIOS DE PESQUISA DE CAMPO .....</b>	<b>147</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Produção de biodiesel nos países da Europa em 2006 (1.000 t/ano).....	8
<b>Figura 3.1:</b> Fluxo genérico de geração e destino de óleos residuais de fritura. ....	20
<b>Figura 3.2:</b> Modelo básico de sistema de coleta de óleo residual de fritura com base nas experiências internacionais e nacionais.....	29
<b>Figura 3.3:</b> Transporte do óleo virgem para produção de biodiesel.....	30
<b>Figura 6.1:</b> Gráficos de comparação entre a distância real e a obtida pelo TransCAD <sup>(1)</sup> . .....	60
<b>Figura 6.2:</b> Gráficos de barras com a indicação das reduções na distância percorrida alcançadas com o emprego do TransCAD <sup>(1)</sup> e do TransCAD <sup>(2)</sup> . ....	61
<b>Figura 6.3:</b> Imagens de um dos veículos da central Alfa estacionado em frente a um ponto de coleta (restaurante na Vila da Penha). ....	62
<b>Figura 6.4:</b> Custo das coletas observadas – central Alfa.....	64
<b>Figura 6.5:</b> Distribuição percentual do custo do biodiesel.....	67
<b>Figura 6.6:</b> Gráficos de comparação (tempo de viagem real e o obtido pelo TransCAD). .....	69
<b>Figura 6.7:</b> Gráfico de barras com os tempos reais, teóricos (obtidos por meio do TransCAD) e de serviço das cinco coletas da central Alfa. ....	70
<b>Figura 7.1:</b> Fluxograma do processo de planejamento logístico da central Alfa. ....	80
<b>Figura 7.2:</b> Fluxograma da operação de coleta da central Alfa.....	82

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 2.1:</b> Custo do biodiesel sem impostos nas regiões brasileiras (R\$/litro).....	12
<b>Tabela 2.2:</b> Custo do óleo diesel na distribuidora – Fevereiro de 2008 (R\$/litro). .....	14
<b>Tabela 2.3:</b> Distribuição percentual do custo do biodiesel produzido a partir de óleos virgens. ....	15
<b>Tabela 2.4:</b> Distribuição percentual do custo do biodiesel produzido a partir da matéria-prima residual sebo bovino nas regiões Norte e Nordeste.....	16
<b>Tabela 2.5:</b> Preço de venda do óleo residual de fritura (R\$/litro). ....	17
<b>Tabela 3.1 (a):</b> Resumo das experiências internacionais em sistemas de coleta de óleo residual de fritura.....	21
<b>Tabela 3.1 (b):</b> Resumo das experiências internacionais em sistemas de coleta de óleo residual de fritura (continuação).....	22
<b>Tabela 3.2 (a):</b> Resumo das experiências nacionais apresentadas em sistemas de coleta de óleo residual de fritura. ....	25
<b>Tabela 3.2 (b):</b> Resumo das experiências nacionais apresentadas em sistemas de coleta de óleo residual de fritura (continuação). ....	26
<b>Tabela 4.1:</b> Variantes do problema de roteirização de veículos. ....	34
<b>Tabela 4.2:</b> Requisitos para caracterização do problema de roteirização de veículos...	39
<b>Tabela 4.3:</b> Detalhamento das características do problema de coleta de óleo residual de fritura. ....	41
<b>Tabela 5.1 (a):</b> Pesquisa 2008 de <i>softwares</i> de roteirização de veículos.....	49
<b>Tabela 5.1 (b):</b> Pesquisa 2008 de <i>softwares</i> de roteirização de veículos (continuação). ....	50
<b>Tabela 5.2:</b> Requisitos para o uso dos <i>softwares</i> de roteirização de veículos. ....	53
<b>Tabela 6.1:</b> Dados de distância percorrida (km) de cinco coletas da central Alfa. ....	58
<b>Tabela 6.2:</b> Custo operacional do veículo Mercedes-Benz Sprinter 313 – 2.2. ....	63
<b>Tabela 6.3:</b> Custos e perdas no processo de coleta da central Alfa.....	64
<b>Tabela 6.4:</b> Tempos de viagem obtidos por observação e por meio do TransCAD. ....	68
<b>Tabela 7.1:</b> Práticas observadas na etapa de planejamento de cinco coletas da central Alfa. ....	75
<b>Tabela 7.2:</b> Práticas observadas na etapa de operação de cinco coletas da central Alfa. ....	77

## 1. INTRODUÇÃO

Por meio da observação das porcentagens das fontes não-renováveis, que ajudam a compor o total de energia primária ofertada em patamares mundiais no ano de 2006, pode-se perceber que estas são representativas: juntas, gás natural (20,5%), carvão mineral (26,0%), nuclear (6,2%) e petróleo (34,4%), correspondem por 87,1% da energia consumida (IEA, 2006, *apud* MME, 2009). Esta estatística aponta uma dependência considerável das fontes não-renováveis no cenário mundial.

Quando o cenário brasileiro é analisado, observa-se que as porcentagens das fontes não-renováveis, que ajudam a compor o total de energia primária ofertada no ano de 2007, também são consideráveis: gás natural (9,3%), carvão mineral (6,0%), urânio (1,4%) e petróleo (37,4%), somando 54,1% do total de energia ofertada (MME, 2009), um percentual que destaca a dependência brasileira por essas fontes de energia para processamento interno e consumo.

Ao se analisar apenas a distribuição percentual do consumo de derivados de petróleo, observa-se que o consumo de óleo diesel é o mais representativo correspondendo a 39,0% do consumo total no ano de 2007, seguido pela gasolina com 16,1%. No entanto, o óleo diesel apresenta alguns problemas: é proveniente de um recurso natural finito e sua queima é responsável pelo aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), um dos principais gases causadores do aquecimento global (IPCC, 2007).

No Brasil, o setor de transportes é o maior consumidor de óleo diesel (MME, 2009) e, por conseguinte colabora para as emissões de CO<sub>2</sub>. Além dos impactos ambientais globais, estimativa elaborada a partir de dados da região metropolitana de São Paulo aponta que os veículos a óleo diesel correspondem por 30% das emissões veiculares de poluentes como hidrocarbonetos (HC), 10% das de monóxido de carbono (CO), 77% das emissões de particulados e 46% de óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) (CETESB, 2005, *apud* ESTEVES *et al.*, 2007).

Devido a estas desvantagens do óleo diesel, tecnologias alternativas de conversão de energia e propulsão de veículos, como células de hidrogênio e propulsão elétrica ou híbrida, estão sendo desenvolvidas. Além disso, está sendo incentivada a participação

de outros combustíveis na Matriz Energética Nacional, como o gás natural a partir da biodigestão e o biodiesel. Este último é considerado um sucedâneo do óleo diesel de petróleo, contudo é renovável e menos agressivo ao meio ambiente, enquanto se considera a exaustão de recursos naturais e a emissão de gases de efeito estufa.

Um aspecto a considerar sobre o biodiesel, no caso do Brasil, é a diversidade de matérias-primas existentes para sua produção. Além disso, muitas delas já são utilizadas para outros fins, o que torna difícil a análise e a decisão sobre as matérias-primas mais adequadas para a produção desse biocombustível (IBP/COPPE/COPPEAD, 2007). Neste contexto, é possível considerar matérias-primas de três origens: cultiváveis, extrativas e residuais, que apresentam custos de suprimento variados.

Enquanto o valor das matérias-primas cultiváveis podem representar até 80% do custo de produção do biodiesel (IBP/COPPE/COPPEAD, 2007), admite-se que as matérias primas residuais, enfatizando-se o óleo residual de fritura, são disponibilizadas normalmente a custo zero, além de serem potenciais fontes de impactos ambientais, como no caso do óleo residual de fritura que é um resíduo urbano usualmente descartado nas redes de esgoto, poluindo os rios e os mares e onerando o tratamento de água.

Embora esteja disponível, em sua origem, a um custo próximo de zero, o óleo residual de fritura está disperso na malha urbana necessitando do estabelecimento de uma complexa rede de coleta para sua obtenção. Entende-se que, neste caso, o percentual dos custos de transporte de suprimento da matéria-prima possam ser maiores que os 3% do custo final do biodiesel, valor obtido para o caso da produção a partir de matérias-primas cultiváveis (IBP/COPPE/COPPEAD, 2007), podendo impactar no custo final do produto e reduzindo os benefícios do menor valor do óleo residual de fritura na composição do seu custo final.

### **1.1. Hipótese da dissertação**

Assim sendo, a presente dissertação tentará comprovar a seguinte hipótese: é possível reduzir o custo do biodiesel produzido a partir de óleo residual de fritura por meio de melhoria nos procedimentos de coleta e de manuseio de matéria-prima que se encontra dispersa em áreas urbanas.

## **1.2. Objeto de estudo e objetivos da dissertação**

O objeto de estudo desta dissertação é a cadeia de suprimento da matéria-prima óleo residual de fritura, que se encontra dispersa em área urbana, e que será usada na produção de biodiesel.

Como objetivo principal desta dissertação tem-se a elaboração de um procedimento de coleta estruturado representado por meio de dois fluxogramas, um para a etapa de planejamento e outro para a etapa de operação com enfoque no processo de roteirização. Acredita-se que esses fluxogramas possam auxiliar a comprovar a hipótese desta dissertação e apoiar a empresa analisada no estudo de caso quanto à padronização de suas práticas.

Como objetivos adicionais desta dissertação considera-se verificar se existe vantagem:

1. Em se produzir o biodiesel por meio do óleo residual de fritura comparativamente com outras matérias-primas cultiváveis e extrativas;
2. Para o produtor de biodiesel se decidir coletar o resíduo em vez de comprá-lo no mercado com o frete incluído;
3. Em se utilizar uma ferramenta computacional para se alcançar o objetivo de redução do custo das viagens de coleta do óleo residual.

## **1.3. Estrutura da dissertação**

Para que se possa desenvolver o estudo proposto, considera-se necessária uma estrutura composta por oito capítulos. O presente e primeiro (1) retrata os aspectos introdutórios do estudo proposto. O capítulo seguinte (2) aborda o estado da arte do biodiesel que englobará a definição desse biocombustível, seus aspectos em nível nacional e internacional, rotas tecnológicas de produção e custo do biodiesel e do óleo residual de fritura.

Na seqüência, é apresentado um capítulo (3) que resume uma pesquisa bibliográfica e documental sobre as cadeias de coleta encontradas em ambiente nacional e internacional. O principal objetivo deste é promover a compreensão sobre os sistemas de coleta aplicados de modo a desenvolver um modelo representativo.

Com a pretensão de detalhar o modelo proposto no Capítulo 3, é realizada no próximo capítulo (4) a caracterização do sistema de coleta de óleo residual de fritura. Os possíveis requisitos de caracterização são apresentados e os mais adequados foram escolhidos. Por meio dessa análise, foi possível definir o tipo de problema que este estudo trata. Assim sendo, o problema foi identificado e suas variantes foram analisadas para a definição da mais adequada.

No capítulo seguinte (5), é apresentado um conjunto de ferramentas computacionais e suas características quanto ao *hardware* exigido, sistema operacional e tamanho do problema definido pelo número de paradas, de veículos e de terminais. Esses *softwares* foram analisados para a sugestão daqueles que atendem aos critérios do problema e aos requisitos do microcomputador que foi empregado.

Já o próximo capítulo (6) trata do estudo de caso de uma associação de cooperativas que realizam a coleta do óleo residual de fritura na região metropolitana do Rio de Janeiro. Neste, os dados observados durante cinco coletas são apresentados. Com as informações dos pontos visitados em cada dia de observação, foi possível efetuar a roteirização de modo a criar um parâmetro teórico de comparação com o processo real. Isso permitiu averiguar o benefício do *software* utilizado, bem como definir o custo de cada coleta em R\$ e R\$ por litro.

Se no capítulo 6, a abordagem do estudo de caso se restringiu aos dados quantitativos, no capítulo seguinte (7), buscou-se realizar uma análise qualitativa dos problemas observados e registrados por meio de relatórios de pesquisa. Este traz uma contribuição representada por dois fluxogramas capazes de retratar os procedimentos de planejamento e de operação de associações ou de empresas que tenham como objetivo coletar o óleo residual de fritura. No último capítulo (8) são apresentadas as considerações finais e sugestões do presente estudo.

## **2. BIODIESEL – ESTADO DA ARTE**

O biodiesel é um dos biocombustíveis com produção mundial mais incentivada para substituir o óleo diesel proveniente do petróleo. Uma de suas vantagens é a de cunho ambiental, pois apresenta menor emissão líquida de dióxido de carbono em seu ciclo de vida (D'AGOSTO, 2004), quando empregado como combustível em transportes, comparativamente com o óleo diesel. Questões à cerca do biodiesel foram levantadas como, por exemplo, quais seriam as rotas tecnológicas mais adequadas a sua produção e quais matérias-primas poderiam ser empregadas. Essa última questão teve que ser respondida com base na realidade de cada país, cada qual com sua potencialidade de clima e solo.

Assim sendo, este capítulo tem como objetivo abordar não somente a base conceitual sobre o biodiesel e a sua inserção nos cenários nacional e internacional, como também as rotas tecnológicas e as matérias-primas potenciais para a produção de biodiesel no Brasil. Neste sentido, as participações dos custos das matérias-primas cultiváveis, do sebo-bovino e do óleo residual de fritura no custo total do biodiesel, bem como as participações dos custos para o transporte até a planta de produção desse biocombustível serão discutidas e comparadas com o intuito de definir qual matéria-prima colabora com um menor custo.

### **2.1. Biodiesel – Conceituação**

As definições teóricas sobre biodiesel serão apresentadas segundo três pontos de vista: (1) nacional, pelo destaque do Brasil quanto à produção de biodiesel e obrigatoriedade de seu uso; (2) europeu, pelo pioneirismo e volume produzido e (3) norte-americano, por possuir um sistema organizado preocupado em incentivar a produção e padronizar as características do processo e produto.

Na primeira definição, segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o biodiesel ou B100 é um combustível composto de alquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, conforme a especificação contida no Regulamento Técnico nº. 4/2004, parte integrante da Resolução nº. 42. Esse Regulamento Técnico aplica-se ao biodiesel de origem nacional ou importada a ser comercializado em território nacional,

adicionado em uma determinada proporção em volume<sup>1</sup> ao óleo diesel (ANP, 2008).

A determinação das características do biodiesel é feita mediante o emprego das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), das normas internacionais *American Society for Testing and Materials* (ASTM), da *International Organization for Standardization* (ISO) e do *Comité Européen de Normalisation* (CEN). Numa visão mais abrangente, considerando a Medida Provisória nº. 214, de 13 de setembro de 2004, também da ANP, o biodiesel é definido como um combustível para motores a combustão interna com ignição por compressão, renovável e biodegradável, derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil (ANP, 2008).

A segunda definição é da Associação de Produtores de Biodiesel da Europa, *European Biodiesel Board* (EBB), criada em janeiro de 1997 com objetivo de unir os produtores para a promoção do biodiesel. Esta define biodiesel como um combustível renovável produzido a partir de óleos vegetais como óleo de colza, óleo de girassol, óleo de soja, óleo residual de fritura ou gordura animal. O biodiesel também é um biocombustível que, comparado com o óleo diesel de petróleo, possui menos enxofre, tem alta lubrificidade e é degradável mais rapidamente. O biodiesel é visto na Europa como uma oportunidade para a redução das emissões responsáveis pelo aquecimento global, para a redução da dependência de combustíveis fósseis e para a promoção de um impacto positivo na agricultura (EBB, 2008).

A terceira definição é da Associação de Produtores de Biodiesel dos Estados Unidos, *National Biodiesel Board* (NBB). Esta alerta que definições simplistas estão sendo disseminadas para o público em geral. Essas definições abrangem também um grupo de combustíveis obtidos experimentalmente que não são o biodiesel. Nos EUA, o termo “biodiesel” tem uma definição técnica específica acordada com a participação de membros da indústria e do governo que recebe aprovação da Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM), uma organização responsável pela padronização no setor de combustíveis. Sendo assim, a NBB apresenta duas definições para o biodiesel: uma

---

<sup>1</sup> A obrigatoriedade em se misturar o biodiesel ao óleo diesel iniciou em janeiro de 2008 com uma proporção de 2% (de biodiesel). Em julho de 2008 essa proporção passou a ser de 3%.

simplista e outra técnica (NBB, 2008).

A definição simplista, segundo a NBB, diz que o biodiesel é um combustível renovável derivado de óleo vegetal como o óleo de soja, que pode ser usado em motores a óleo diesel e que deve seguir a especificação ASTM D 6751. Quanto à definição técnica, o biodiesel é um combustível renovável composto por mono-alquilésteres de cadeia longa derivado de óleos vegetais ou gorduras animais, também designado como B100, e que atende às especificações da norma ASTM D 6751. Essa definição também contempla que o biodiesel é produzido por meio da reação de óleo vegetal ou gordura animal com álcool, que pode ser metanol ou etanol, com a participação de um catalisador básico ou ácido que resulta em mono-alquiléster e glicerina (NBB, 2008).

Ao analisar essas definições, observa-se que seu conteúdo pode ser de duas formas: simplista ou tecnicamente apurado. Na definição nacional, a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) apresentou as duas formas, assim como a Associação de Produtores de Biodiesel dos Estados Unidos (NBB). A Associação de Produtores de Biodiesel da Europa (EBB) apresentou apenas a forma simplista.

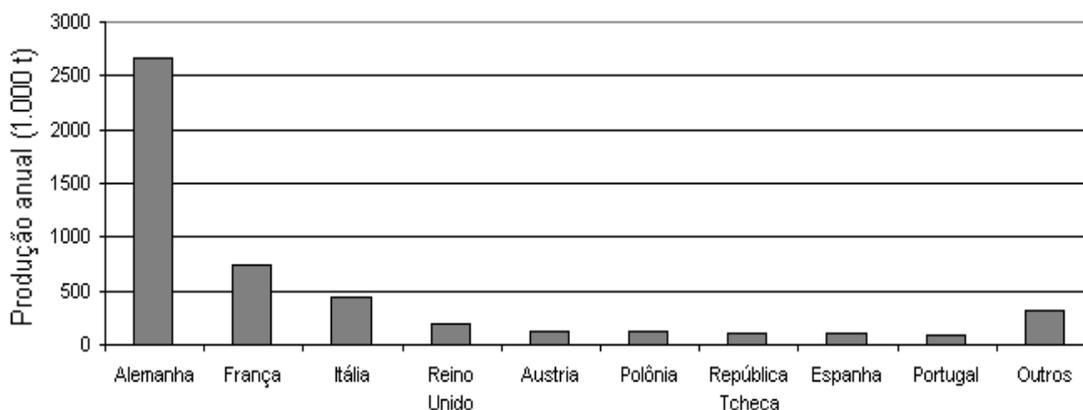
Neste estudo será considerada a definição tecnicamente apurada da ANP que apresenta biodiesel ou B100 como um combustível composto de alquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais (ANP, 2008). Essa definição foi escolhida por especificar precisamente o produto e seu processo produtivo, incluindo as potenciais fontes de matéria-prima, o que facilita o desdobramento do seu estudo e não deixa dúvidas quanto aos estágios a serem considerados.

## **2.2. Biodiesel no cenário internacional**

A dependência da importação de derivados de petróleo, o aumento de preço das fontes de energia fósseis e os desafios de proteção do meio ambiente estão mobilizando os países a definir os objetivos para aumentar a utilização de biocombustíveis, entre eles o biodiesel. No cenário Europeu, conforme a Figura 2.1, a Alemanha lidera o quadro dos maiores produtores de biodiesel, dentre França, Itália, Reino Unido e Áustria, com mais de 10% da demanda de óleo diesel suprida por biodiesel ou óleos vegetais. Em 2006, a produção nesse continente correspondeu a cerca de 2,5 milhões de toneladas, sendo que a capacidade de produção, nesse mesmo ano, era de aproximadamente 3 milhões de

toneladas.

Na Europa, a matéria-prima mais utilizada para a produção de biodiesel é a colza. Globalmente a colza é cultivada quase exclusivamente no hemisfério norte. Os maiores produtores de colza são a China, a Índia, o Canadá e a própria Europa. Um hectare de colza pode gerar até 1.600 litros de biodiesel (UFOP, 2006).



Fonte: EBB, 2008.

**Figura 2.1:** Produção de biodiesel nos países da Europa em 2006 (1.000 t/ano).

Nos EUA, o desenvolvimento da indústria do biodiesel está ajudando a reduzir o excedente produzido na agricultura, a aumentar o preço das *commodities* agrícolas, a criar emprego na área rural e a melhorar a qualidade do ar com a redução das emissões de poluentes atmosféricos. O mercado de biodiesel nos EUA é notório e esse biocombustível somente se torna competitivo quando o preço do óleo diesel é alto e o preço da *commodity* utilizada para a sua produção é baixo (IADB, 2007). A matéria-prima principal é a soja com rendimento de 19% (de óleo bruto) em média. Outros rendimentos podem ser citados, como 18% para o algodão, 20% para o dendê e 45% para a mamona, para o girassol e para o amendoim (IBP/COPPE/COPPEAD, 2007).

Os incentivos federais por meio de créditos de impostos reduzem, mas não anulam, a disparidade dos preços. O alto preço do biodiesel incentiva a utilização deste em misturas com o óleo diesel de petróleo em proporções entre 2% e 20%. Quanto menor a quantidade de biodiesel na mistura, mais barata ela é. Pesquisas em tecnologia estão sendo realizadas para reduzir o custo de produção do biodiesel a fim de torná-lo mais competitivo frente ao óleo diesel. Os objetivos principais são o aumento do rendimento

produtivo e a redução dos custos de obtenção do óleo virgem (IADB, 2007).

Além dos países da Europa e dos Estados Unidos, encontram-se também, em outros países, iniciativas para a produção de biodiesel. Na Malásia, maior produtor mundial de óleo de palma, foi implementado um programa para a produção de biodiesel a partir desse óleo. Esse programa nacional de biocombustíveis aprovou em 2006 o projeto de 32 plantas de biodiesel que somam a capacidade de 3 milhões de toneladas (IADB, 2007).

Na China, cinco unidades transesterificadoras de óleo de colza e de óleo residual de fritura produzem biodiesel. A empresa *Hainan Zhenghe Bio Energy Company* investiu US\$ 5 milhões em uma planta industrial para uma produção anual de 45 mil toneladas de biodiesel, utilizando óleo residual de fritura. No país, ainda não há políticas governamentais voltadas para a padronização de aspectos voltados à indústria do biodiesel (IADB, 2007).

Na Argentina, o biodiesel está sendo exportado basicamente para os EUA e para a Europa. O país conta, desde 2006, com uma lei de promoção de biocombustíveis que abre as portas para novos investimentos no setor. Como matérias-primas que podem ser potenciais para a produção de biodiesel na Argentina, tem-se a soja e o girassol (IADB, 2007).

Por último, na Nicarágua, um projeto para produção de biodiesel a partir do óleo de pinhão-mansão foi desenvolvido. Com apoio financeiro e capacitação austríaca e envolvimento de entidades públicas e universidades nicaraguenses, implantaram-se cerca de 1.000 ha de cultivos em pequenas unidades produtoras distribuídas em 400 km<sup>2</sup>. Uma planta industrial de produção, com capacidade de 8 mil toneladas anuais, também foi construída (IADB, 2007).

### **2.3. Biodiesel no cenário Nacional**

A partir dos anos de 1990, vários fatores foram responsáveis por imprimir avanços à produção e ao uso do biodiesel a partir de óleos vegetais no mundo: a consolidação do conceito de desenvolvimento sustentável, a preocupação com o efeito estufa, as questões estratégicas ligadas ao longo período de formação dos combustíveis de origem

fóssil e as guerras no Oriente Médio, que afetaram diretamente alguns dos principais países produtores de petróleo (GTI, 2003). O Brasil, influenciado por essas tendências ou por pressões internacionais ligadas à preservação do meio ambiente, criou o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), que objetiva executar o processo de produção e o uso do biodiesel de forma sustentável, tanto técnica como economicamente, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e de renda.

As principais diretrizes do PNPB são a implantação de um programa sustentável, promovendo inclusão social, a garantia de preços competitivos, de qualidade e de suprimento e a produção de biodiesel, a partir de diferentes fontes oleaginosas e em regiões diversas. A Lei de nº. 11.097, de 13 de janeiro de 2005, atrelada ao PNPB, foi criada para estabelecer a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado em qualquer parte do território nacional. Esse percentual obrigatório foi estabelecido como 2% a partir de janeiro de 2008 e 5% em 2013 (PNPB, 2004). Com essa obrigatoriedade, levantou-se, no Brasil, a questão de quais rotas tecnológicas e quais matérias-primas deveriam ser utilizadas para a produção de biodiesel.

### *2.3.1. Rotas tecnológicas e rota usual no Brasil*

O biodiesel pode ser obtido por meio de reações de esterificação ou transesterificação. Esterificação é o nome dado à reação que envolve a obtenção de biodiesel a partir de álcoois e ácidos graxos ou de seus derivados. A transesterificação consiste na reação química de triglicerídeos, óleos e gorduras vegetais ou animais, com álcoois, como o metanol ou etanol, na presença de um catalisador que pode ser ácido, básico ou enzimático. O resultado é a substituição do grupo éster do glicerol pelo grupo do etanol ou metanol. A glicerina é um subproduto da reação, que deve ser purificada antes da venda para aumentar o valor de mercado desse co-produto (PNAE, 2006).

A rota usualmente empregada no Brasil é a transesterificação alcoólica de óleo ou gordura por catálise homogênea básica com hidróxido de potássio ou hidróxido de sódio. O processo de transesterificação pode utilizar o metanol como reagente alcoólico, rota muito conhecida e aplicada industrialmente em diversos países, ou o etanol. O governo brasileiro incentiva a utilização do etanol produzido nacionalmente em larga

escala como álcool para o processo de produção de biodiesel. O metanol, mesmo tóxico e com necessidade de ser importado, ou produzido a partir de gás natural, ainda é muito utilizado nacionalmente por motivos de menor custo e de maior rendimento produtivo, comparativamente com o etanol (IBP/COPPE/COPPEAD, 2007).

### *2.3.2. Matérias-Primas para a produção de biodiesel no Brasil*

No Brasil, as alternativas para a produção de óleos vegetais são diversas, o que constituiu num dos muitos diferenciais para a estruturação de um programa para a produção e o uso do biodiesel no país. Por se tratar de um país tropical, com dimensões continentais, o desafio colocado foi o do aproveitamento das potencialidades regionais. Isso foi válido tanto para matérias-primas cultiváveis, como a colza, a soja, o girassol, a palma, o amendoim, o algodão, a mamona, o pinhão manso e o nabo forrageiro; como para matérias-primas extrativas, como o babaçu, o pequi, a macaúba, o buriti e a castanha-do-pará (EMBRAPA, 2007).

Dentre as várias alternativas apresentadas, merecem destaque: (1) a soja, cujo óleo representa 90% da produção brasileira de óleos vegetais; (2) o dendê, o coco e o girassol, pelo rendimento em óleo; (3) a mamona, pela resistência à seca e (4) o algodão, por representar a segunda cultura de fonte oleaginosa em escala nacional (IBP/COPPE/COPPEAD, 2007). Além das matérias-primas agrícolas (cultiváveis ou extrativas), existem ainda as de cunho residual, como gordura animal, ácidos graxos, espuma de esgoto e óleo residual de fritura.

### **2.4. Custo do biodiesel no Brasil**

O custo de obtenção das matérias-primas cultiváveis, extrativas e residuais pode impactar no preço final do biodiesel tornando-o não competitivo comparativamente com o óleo diesel de petróleo. Segundo estudo realizado pela COPPE/COPPEAD em projeto para o Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), o preço do biodiesel será definido basicamente pelo tipo de matéria-prima escolhida para a produção, pelo nível de verticalização da cadeia produtiva e pelos impostos e taxas incidentes nas operações da cadeia de suprimento que variam de região para região (IBP/COPPE/COPPEAD, 2007).

Na Tabela 2.1, foram comparados os estudos do IBP/COPPE/COPPEAD (2007) e da ESALQ/USP (2006) que apresentaram o custo do biodiesel em cada região. O estudo do IBP/COPPE/COPPEAD (2007) considerou quatro níveis de verticalização de cadeias (C1, C2, C3 e C4), sendo a cadeia C1 totalmente desverticalizada<sup>2</sup> e C4 totalmente verticalizada<sup>3</sup>. O estudo da ESALQ/USP (2006) abordou o custo do biodiesel sob o enfoque de apenas dois níveis de verticalização: cadeia em que o biodiesel é obtido a partir de matéria-prima agrícola a custo de produção agrícola, considerada como cadeia C4, e cadeia em que o biodiesel é obtido a partir de matéria-prima agrícola comprada no mercado, contemplada como cadeia C1. Essas adequações foram necessárias para se comparar os dois estudos que apresentam custos de biodiesel sem impostos.

**Tabela 2.1:** Custo do biodiesel sem impostos nas regiões brasileiras (R\$/litro).

Oleaginosas	Estudo	Cadeias	Regiões				
			Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Soja	COPPEAD	C1	1,621	1,451	1,420	1,395	1,390
	ESALQ		0,902	0,951	0,952	1,372	1,424
	COPPEAD	C4	1,056	0,914	0,888	0,859	0,852
	ESALQ		1,167	1,670	0,883	1,247	1,786
Algodão	COPPEAD	C1	-	1,159	1,116	1,103	1,107
	ESALQ		-	0,712	0,975	-	-
	COPPEAD	C4	-	0,424	0,461	0,462	0,439
	ESALQ		-	0,712	0,975	-	-
Amendoim	COPPEAD	C1	-	-	-	2,337	-
	ESALQ		-	-	-	1,874	-
	COPPEAD	C4	-	-	-	1,454	-
	ESALQ		-	-	-	1,610	-
Girassol	COPPEAD	C1	-	-	1,482	-	-
	ESALQ		-	-	1,253	0,859	0,889
	COPPEAD	C4	-	-	1,289	-	-
	ESALQ		-	-	1,034	1,534	1,649
Dendê	COPPEAD	C1	2,375	-	-	-	-
	ESALQ		1,324	-	-	-	-
	COPPEAD	C4	0,934	-	-	-	-
	ESALQ		1,231	-	-	-	-
Mamona	COPPEAD	C1	-	2,378	-	-	-
	ESALQ		-	2,219	-	-	-
	COPPEAD	C4	-	1,468	-	-	-
	ESALQ		-	1,585	-	-	-

Fonte: IBP/COPPE/COPPEAD, 2007 e ESALQ/USP, 2006.

<sup>2</sup> Cadeia totalmente desverticalizada: o agricultor produz e vende o grão para uma planta de esmagamento, que esmaga o grão e vende o óleo para o produtor de biodiesel. Neste caso, o produtor de biodiesel compra o óleo vegetal a preço de mercado.

<sup>3</sup> Cadeia totalmente verticalizada: o produtor de biodiesel também é o produtor do grão (fase agrícola) e do óleo vegetal. Neste caso, o produtor de biodiesel adquire o óleo vegetal ao custo de produção.

Após a comparação, percebe-se que alguns valores convergem. O custo do biodiesel de soja na região Centro-Oeste, por exemplo, é igual a R\$0,888 e R\$0,883 por litro na cadeia C4. Em contrapartida, outros valores divergem completamente, como o custo do biodiesel de dendê na região Norte que é igual a R\$2,375 por litro, definido no estudo IBP/COPPE/COPPEAD (2007), e R\$1,324 por litro no estudo ESALQ/USP (2006), ambos na cadeia C1. Tais discrepâncias podem ser explicadas pelas diferentes formas de captação das informações que compõem esses custos e por considerações feitas para a realização dos estudos. No estudo da ESALQ/USP (2006), por exemplo, os custos e as receitas dos subprodutos<sup>4</sup> foram considerados na contabilidade total, tanto da etapa de esmagamento do grão (co-produto sólido) quanto da etapa de produção do biodiesel (glicerina). Isso torna esse estudo mais completo e, por essa razão, mais adequado comparativamente com o estudo do IBP/COPPE/COPPEAD (2007) que não considerou esses custos e essas receitas.

Numa segunda análise, quando se comparam os custos do biodiesel apresentados na Tabela 2.1 com os custos do óleo diesel apresentados na Tabela 2.2, pode-se identificar a viabilidade econômica do biodiesel frente ao óleo diesel. Na região Norte, praticamente todos os custos do biodiesel foram estimados abaixo do custo médio do óleo diesel, que corresponde a R\$1,786 por litro nessa região. Apenas o custo do biodiesel de dendê no estudo do IBP/COPPE/COPPEAD (2007) foi estimado acima do custo médio e do custo máximo do óleo diesel. Nas outras regiões ocorreu o mesmo: quase todos os custos do biodiesel foram estimados abaixo do custo médio do óleo diesel, com ressalva para o custo do biodiesel de mamona na cadeia C1, com valor estimado acima do custo máximo do óleo diesel. O mesmo acontece com o amendoim na região Sudeste e na cadeia C1.

---

<sup>4</sup> Algumas referências denominam como co-produto a porção sólida obtida depois do esmagamento do grão, pois são considerados seus valores de mercado. Já a glicerina é obtida como co-produto da reação entre o óleo e o álcool, cujo produto é o éster.

**Tabela 2.2:** Custo do óleo diesel na distribuidora – Fevereiro de 2008 (R\$/litro).

REGIÕES	CUSTO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	CUSTO MÍNIMO	CUSTO MÁXIMO
<b>Norte</b>	1,786	0,102	1,58	2,184
<b>Nordeste</b>	1,708	0,032	1,586	1,834
<b>Centro-Oeste</b>	1,796	0,1	1,603	2,073
<b>Sudeste</b>	1,691	0,028	1,593	1,894
<b>Sul</b>	1,72	0,037	1,607	1,898

Fonte: ANP, 2008.

As informações de custo, apresentadas na Tabela 2.1, foram obtidas nos anos de 2006 e 2007, antes da obrigatoriedade da mistura de 2% de biodiesel ao óleo diesel. A partir de janeiro de 2008, quando entrou em vigor a lei da obrigatoriedade, segundo informação obtida em entrevista com o gerente de produção da empresa Cesbra Química S/A, produtora de biodiesel localizada em Volta Redonda, no estado do Rio de Janeiro, foi percebido um aumento do custo do óleo vegetal, matéria-prima para a produção de biodiesel (PENEDO, 2008).

Com a obrigatoriedade de se misturar 2% de biodiesel ao óleo diesel, houve uma alta dos preços dos óleos vegetais virgens, que chegaram a patamares estimados em R\$3,50/litro para a soja, R\$4,00/litro para a mamona e dendê e R\$6,00/litro para o babaçu. Quanto à matéria-prima residual sebo, o preço chegou a patamares de R\$1,30/kg. Antes do início da obrigatoriedade, o sebo custava R\$0,30/kg. Com os preços das matérias-primas cultiváveis ou extrativas variando de R\$3,50 a R\$6,00/litro, não é possível produzir o biodiesel com um custo competitivo ao do óleo diesel apresentado na Tabela 2.2 (PENEDO, 2008).

Ainda conforme mencionado em entrevista com o gerente de produção da empresa Cesbra Química S/A, a única matéria-prima cultivável competitiva é o pinhão manso. A empresa pretende plantar 5.000 ha. Enquanto esse projeto não entra em execução, a opção é a utilização de uma mistura (60% de óleo residual de fritura e 40% de óleo de soja virgem) como matéria-prima para a produção de biodiesel, tendo em vista que a empresa não utiliza somente o óleo residual de fritura, pois não há volume suficiente (PENEDO, 2008).

O custo do biodiesel produzido a partir dessa mistura é de cerca de R\$2,45 por litro e esse mesmo custo, com a utilização somente do óleo residual de fritura como matéria-prima, cai para R\$1,40 por litro. O gerente da empresa ressaltou que o óleo residual de fritura como matéria-prima é uma oportunidade para se produzir biodiesel a um preço competitivo e o custo desse óleo pode ser minimizado por meio de um sistema de coleta estruturado e eficiente (PENEDO, 2008).

#### 2.4.1. Participação de matérias-primas cultiváveis no custo total do biodiesel

A Tabela 2.3, elaborada segundo as tabelas encontradas no Anexo 1, apresenta uma distribuição percentual do custo de produção do biodiesel nas regiões brasileiras a partir das matérias-primas cultiváveis soja, algodão, amendoim, mamona, girassol e dendê (IBP/COPPE/COPPEAD, 2007). O comportamento dessa distribuição de custos é semelhante e independe da matéria-prima cultivável e da região. Em todos os casos, a matéria-prima tem grande impacto no custo total do biodiesel, sendo de 68% em média. Segundo ZHANG *et al.* (2003), esse valor pode ultrapassar 70% em alguns casos. Já para o transporte do óleo, o percentual participativo foi, em média 3% do custo total do produto.

**Tabela 2.3:** Distribuição percentual do custo do biodiesel produzido a partir de óleos virgens.

Região	Oleaginosa	Aquisição: Óleo virgem (1)	Transporte do óleo	Aquisição: Insumos (2)	Produção de biodiesel	Transporte de biodiesel	Impostos (3)	Outros	Total
S	Soja	72%	-	5%	6%	1%	15%	2%	100%
	Algodão	60%	-	6%	8%	2%	22%	2%	100%
SU	Soja	76%	2%	4%	6%	1%	10%	1%	100%
	Algodão	62%	2%	6%	8%	2%	18%	2%	100%
	Amendoim	77%	1%	4%	5%	1%	10%	2%	100%
CO	Soja	71%	2%	4%	6%	1%	15%	2%	100%
	Algodão	59%	-	6%	9%	2%	21%	3%	100%
	Girassol	66%	-	6%	8%	1%	17%	3%	100%
NO	Soja	70%	3%	4%	6%	2%	14%	1%	100%
	Algodão	57%	3%	6%	8%	3%	21%	3%	100%
	Mamona	73%	2%	4%	6%	2%	11%	2%	100%
N	Soja	68%	8%	2%	7%	4%	9%	2%	100%
	Dendê	70%	6%	4%	6%	3%	8%	3%	100%
Média Brasil		68%	3%	4%	7%	2%	15%	2%	100%
Desvio Padrão		7%	2%	1%	1%	1%	5%	1%	-

Fonte: IBP/COPPE/COPPEAD, 2007.

Legenda: (1) Compra ou custo de produção do óleo, (2) Custo para adquirir álcool e catalisador (transporte incluído) e (3) ICMS e PIS/COFINS.

#### 2.4.2. Participação da matéria-prima residual no custo total do biodiesel

O estudo IBP/COPPE/COPPEAD (2007) também contemplou a matéria-prima residual sebo-bovino, conforme Tabela 2.4. Nesse caso, observa-se que o percentual do custo total do biodiesel relativo ao sebo-bovino é de 47% para as duas regiões analisadas, Norte e Nordeste e que o impacto dessa matéria-prima residual no custo total do biodiesel é menor que o impacto das matérias-primas cultiváveis. Neste sentido, é mais vantajoso para o produtor de biodiesel produzir a partir da matéria-prima residual, levando-se em consideração apenas o custo do sebo e do óleo. Quanto ao transporte do sebo, seu percentual no custo total do produto também correspondeu, em média, a 3%. Essa participação no custo total do biodiesel permaneceu baixa, como no caso do transporte das matérias-primas cultiváveis, pois se trata de uma transferência, em que os ganhos de escala com transporte podem ser significativos.

**Tabela 2.4:** Distribuição percentual do custo do biodiesel produzido a partir da matéria-prima residual sebo bovino nas regiões Norte e Nordeste.

Região	Oleaginosa	Aquisição: Sebo (1)	Transporte do sebo	Aquisição: Insumos (2)	Produção de biodiesel	Transporte de biodiesel	Impostos (3)	Outros	Total
NO	Sebo	47%	3%	8%	13%	6%	23%	2%	100%
N	Sebo	47%	3%	8%	14%	5%	22%	3%	100%
Média Brasil		47%	3%	8%	13%	5%	22%	2%	100%
Desvio Padrão		0%	0%	0%	1%	0%	1%	0%	-

Fonte: IBP/COPPE/COPPEAD, 2007.

Legenda: (1) No Norte e Nordeste, média entre produção e compra do sebo (Norte: Produção do sebo = 33% e compra do sebo = 60%; Nordeste: Produção do sebo = 34% e compra do sebo = 59%), (2) Custo para adquirir álcool e catalisador (transporte incluído) e (3) ICMS e PIS/COFINS.

#### 2.4.3. Participação da matéria-prima óleo residual de fritura no custo total do biodiesel

Como aconteceu com o sebo bovino, acredita-se que o uso do óleo residual de fritura como matéria-prima também tenha um baixo impacto no custo total do biodiesel. Especialistas apontam que o óleo residual de fritura seria a solução mais adequada para a produção de biodiesel em grandes cidades. Já no caso das áreas rurais, a obtenção do biodiesel por meio de matérias-primas cultiváveis ou extrativas seria a mais recomendada (UNICAMP, 2005).

No Brasil, o valor de venda do óleo residual de fritura é variável. A Tabela 2.5 apresenta a variação do valor de venda das cooperativas PROVE (Programa de Reaproveitamento de Óleos Vegetais), na região metropolitana do Rio de Janeiro; Pró-Dilúvio, em Porto Alegre (RS); Eco Óleo, em Volta Redonda (RJ) e Reciclador Solidário, em Piracicaba (SP). O valor mínimo de venda, por litro, encontrado foi de R\$0,10 e o valor máximo foi de R\$1,00 (PROVE, PPA, 2007; PVR, PP, 2008).

Essa variação é relativamente grande, pois esse custo depende da qualidade do óleo. De 2007 para 2008, o preço do óleo residual de fritura sofreu alta pelo aumento da demanda ocasionada pela obrigatoriedade em se misturar 2% de biodiesel no óleo diesel. Esse aumento na demanda de óleo residual de fritura para a produção de biodiesel acirrou a disputa por matéria-prima, principalmente com a indústria de sabão que chega a pagar R\$1,00 por litro, independente da qualidade do óleo (PROVE, 2008).

**Tabela 2.5:** Preço de venda do óleo residual de fritura (R\$/litro).

Região/Cidade	Nome do projeto de coleta	Venda do óleo (R\$/litro)		
		Mínimo	Máximo	Média
Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RJ)	PROVE	0,55	1,00	0,78
Porto Alegre (RS)	Pró-Dilúvio	0,10	0,50	0,30
Volta Redonda (RJ)	Eco Óleo	0,60	0,60	0,60
Piracicaba (SP)	Reciclador Solidário	0,25	0,40	0,33
Média		0,38	0,63	0,50

Fonte: elaboração própria a partir de PROVE, 2007; PPA, 2007; PVR, 2008; PP, 2008.

Conforme apresentado na Tabela 2.3, em média, 68% do custo total do biodiesel é proveniente da aquisição de matéria-prima cultivável (óleo virgem). Considerando, sem o valor do frete incluído, o preço médio de R\$0,50 do óleo residual de fritura apresentado na Tabela 2.5, o impacto do seu custo pode ser obtido usando-se como parâmetro o preço do óleo de soja virgem comprado no mercado atacadista

(aproximadamente R\$2,50 por litro), segundo informação da ABOISSA (2008). Se R\$2,50, preço do óleo de soja, corresponde a 68% do custo total do biodiesel, R\$0,50 corresponde a aproximadamente 14%, indicando que o óleo residual de fritura teria potencial para reduzir o custo de produção de biodiesel, analisando-se apenas seu preço de aquisição.

Entretanto, a coleta de óleo residual de fritura na malha urbana pode ser uma atividade complexa e cara, aumentando o preço final desse resíduo entregue na planta de produção de biodiesel. No caso das matérias-primas cultiváveis, conforme Tabela 2.3, o impacto do transporte foi de apenas 3% no custo total do biodiesel. Neste sentido, acredita-se que o transporte de coleta do óleo residual de fritura tenha um impacto maior no custo total do biodiesel. Acredita-se também que há a possibilidade de medir e reduzir esse impacto. No entanto, é necessário primeiramente definir os modelos de cadeia de coleta praticados em nível nacional e internacional, assunto do próximo capítulo.

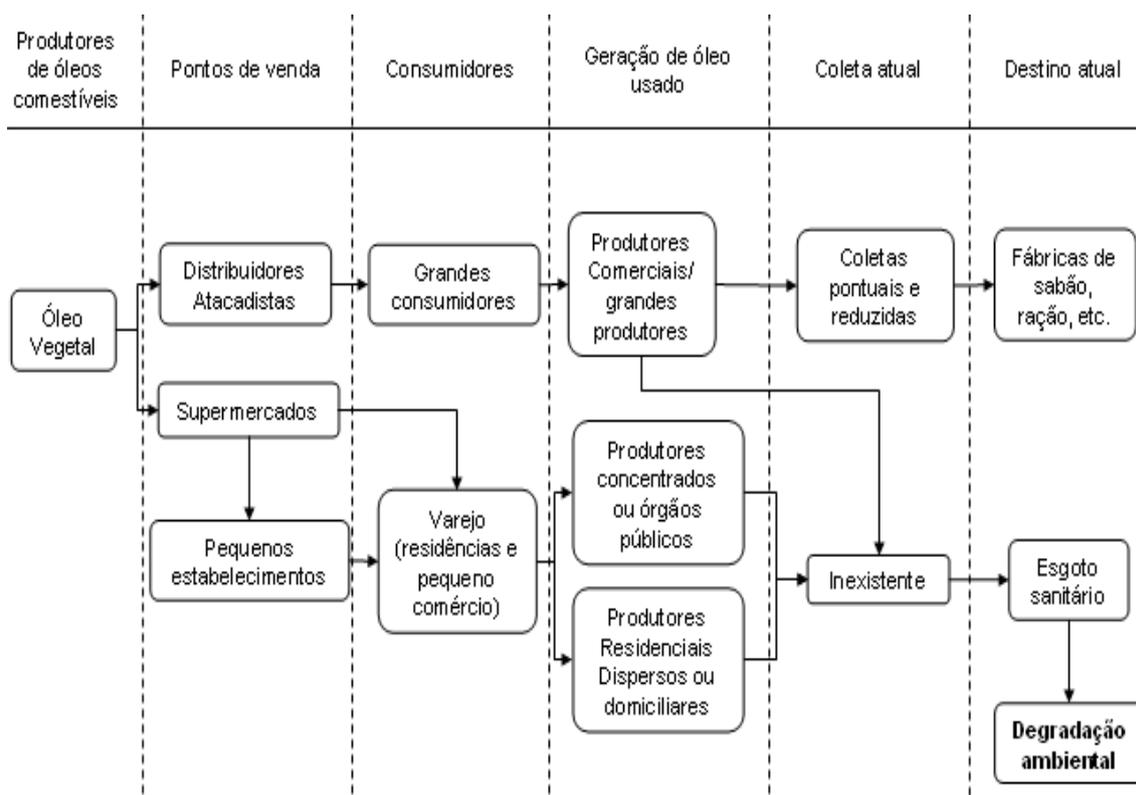
### **3. MODELO BÁSICO DE SISTEMAS DE COLETA DE RESÍDUOS**

Para identificar e reduzir o impacto do custo do transporte de coleta de óleo residual de fritura no custo total do biodiesel é necessário primeiramente entender como o sistema de coleta funciona. Assim sendo, este capítulo apresenta uma pesquisa sobre um conjunto selecionado desses sistemas em nível nacional e internacional. Essa pesquisa tem como principal objetivo a geração de conhecimento sobre o processo de coleta de óleos residuais de fritura para a elaboração de um modelo operacional elementar capaz de subsidiar a escolha de ferramentas de pesquisa operacional para otimização dessa atividade.

Em função da complexidade e da diversidade das práticas que envolvem o problema de coleta de resíduos dispersos na malha urbana, esse modelo torna-se necessário e ajudará também na caracterização do problema de coleta de óleo residual de fritura. Pretende-se, então, criar um modelo que seja aplicável à coleta de resíduos em geral, com a lógica de fluxos partindo dos geradores (pequenos e grandes) e dos pontos que não geram, mas agrupam o resíduo para o transporte em escala. Pretende-se também definir a prática que será o objeto de estudo.

#### **3.1. Cadeias de coleta de óleo residual de fritura**

Em várias partes do mundo, vêm surgindo iniciativas para coletar o óleo residual de fritura. Muitas atendem a dois aspectos importantes: inclusão social e preservação ambiental. Além do aspecto social e ambiental, existe ainda o energético com a produção de um biocombustível a partir de resíduo urbano, representando uma parcela eventualmente descartada no meio-ambiente, conforme a Figura 3.1, que apresenta um modelo genérico de fluxo de geração e destino de óleos residuais de fritura. Observa-se que há uma porção de óleo residual de fritura com coleta atual inexistente, levando à conclusão que esse potencial ainda não explorado poderia ser aproveitado com a implantação de um sistema de coleta.



Fonte: PROVE, 2007 *apud* ABIOVE, 2006.

**Figura 3.1:** Fluxo genérico de geração e destino de óleos residuais de fritura.

A partir de uma revisão bibliográfica e documental, apresenta-se a seguir uma síntese das experiências nacionais e internacionais com a coleta de óleos residuais de fritura dispersos na malha urbana.

### 3.1.1. Experiência internacional

As experiências das empresas de coleta Frylite, na Irlanda (FRYLITE, 2008); Reagra e Porsiete, na Espanha (BIODIESELSpain, 2008); Oilco (OILCO, 2008), Anglian Oil Ltd (ANGLIAN OIL LTD, 2008) e Uptown Oil (UPTOWN OIL, 2008), no Reino Unido; Auscol Collection Service, na Austrália (AUSCOL, 2008); GeoGreen Biofuels (GEOGREEN BIOFUELS, 2008) e Tri-State Biodiesel (TRI-STATE BIODIESEL, 2008), nos EUA, bem como o sistema de coleta Oli System, na Áustria (EHRENGRUBER, 2005), foram analisadas e sintetizadas nas Tabelas 3.1 (a e b). As informações sobre pontos, locais, responsáveis, volumes dos recipientes e contato para acionar a coleta, bem como volume e pré-tratamento do óleo, foram agrupadas para ajudar no entendimento do sistema de coleta de óleo residual de fritura representativo da prática internacional.

**Tabela 3.1 (a):** Resumo das experiências internacionais em sistemas de coleta de óleo residual de fritura.

País	Cidade	Volume	Incentivo à doação?	Onde é coletado o óleo residual de fritura?	Nº de pontos de coleta	Quem coleta o óleo residual de fritura?	Nome da empresa	Programação de coleta	Volume dos recipientes de coleta	Contato para acionar a coleta	Pré-tratamento do óleo no sistema de coleta?	
											Existência	Tipo
<b>Irlanda</b>	-	5.000 t/ano (1)	Sim, por meio de oferecimento de um serviço de qualidade	não-especificado	5 centrais espalhados pelo país	Empresa especializada em coleta	Frylite	Fornecedor aciona	105, 200, 300 ou 1.000 litros	Telefonema ou por e-mail	Sim	Processo de limpeza não-especificado
<b>Espanha</b>	Montmeló	não-especificado	Sim, apresentando benefícios ambientais	Restaurantes e outros estabelecimentos	não-especificado	Empresa especializada contratada	não-especificado	Empresa aciona	50 e 60 litros	não-especificado	Sim	não-especificado
	Torre Pacheco	não-especificado	Sim, por meio de campanhas junto a população	Pontos de coleta	7	Empresa especializada em coleta	Reagra	Fornecedor aciona	não-especificado	Telefonema ou por e-mail	Sim	não-especificado
	Salamanca	30.000 l/mês	Sim, apresentando benefícios ambientais	Hotéis, restaurantes e residências	não-especificado	Cooperativa	Porsiete	não-especificado	não-especificado	não-especificado	Sim	Limpeza e filtração
<b>Reino Unido</b>	Somerset	10.000 t/semana (3)	não-especificado	Escolas, estabelecimentos de <i>fast food</i> e restaurantes	não-especificado	Empresa especializada em coleta	Oilco	Fornecedor aciona	20 e 60 litros	Telefonema	Sim	não-especificado
	Norfolk	4.500 t/ano	Sim, apresentando benefícios ambientais	Hotéis, <i>pubs</i> e estabelecimentos comerciais	não-especificado	Empresa especializada em coleta	Anglian Oil Ltd	Mista (coleta semanal, quinzenal ou mensal de acordo com o cliente)	Variam de 15 a 1.000 litros	Telefonema ou por e-mail	Sim	Aquecimento e filtração

Fonte: elaboração própria a partir de FRYLITE, 2008; BIODIESELSPAIN, 2008; OILCO, 2008; ANGLIAN OIL LTD, 2008.

**Tabela 3.1 (b):** Resumo das experiências internacionais em sistemas de coleta de óleo residual de fritura (continuação).

País	Cidade	Volume	Incentivo à doação?	Onde é coletado o óleo residual de fritura?	Nº de pontos de coleta	Quem coleta o óleo residual de fritura?	Nome da empresa	Programação de coleta	Volume dos recipientes de coleta	Contato para acionar a coleta	Pré-tratamento do óleo no sistema de coleta?	
											Existência	Tipo
Reino Unido	Londres	não-especificado	Sim, apresentando benefícios ambientais	Estabelecimentos comerciais	não-especificado	Empresa especializada em coleta	Uptown Oil	Fornecedor aciona	15, 20, 60 e 1.000 litros	Telefonema	Sim	não-especificado
Áustria	-	151.000 t/ano (4)	Sim, por meio de campanhas junto a população	350.000 domicílios (depositam em pontos de coleta) e 4.000 restaurantes	180	Sistema de coleta	Oli System (5)	Fornecedor aciona	3 litros para domicílios e 24 litros para restaurantes	Telefonema ou por e-mail	Sim	não-especificado
Austrália	Adelaide	90.000 t/ano (6)	Sim, apresentando benefícios ambientais	Estabelecimentos comerciais	7 espalhados pelo país	Empresa especializada em coleta	Auscol Collection service	Fornecedor aciona	210 ou 420 litros mas há reservatórios de até 1 t	Telefonema	Sim	Aquecimento e filtração
EUA	Los Angeles	não-especificado	Sim, por meio de oferecimento de um serviço de qualidade	Estabelecimentos de <i>fast food</i> e restaurantes	não-especificado	Empresa especializada em coleta	GeoGreen Biofuels	Fornecedor aciona	não-especificado	Telefonema ou por e-mail	Sim	não-especificado
	Nova York	não-especificado	Sim, apresentando benefícios ambientais	Mais de 1.200 restaurantes	não-especificado	Empresa especializada em coleta	Tri-State Biodiesel	Mista (empresa ou fornecedor podem acionar)	Fornecer recipiente mas não especifica volume	Telefonema ou por e-mail	Sim	não-especificado

Fonte: elaboração própria a partir de UPTOWN OIL, 2008; AUSCOL, 2008; GEOGREEN BIOFUELS, 2008; TRI-STATE BIODIESEL, 2008; EHRENGRUBER, 2005.

De acordo com as Tabelas 3.1 (a e b), analisando-se as experiências internacionais detalhadas no Anexo 2, percebe-se que o óleo residual de fritura é predominantemente coletado em grandes geradores como restaurantes, hotéis, *pubs*, estabelecimentos de *fast food* ou comerciais em geral, ou em pontos de coleta. Estes são alimentados por pequenos geradores, geralmente residências. O projeto Oli System de coleta de óleo residual de fritura na Áustria possui uma configuração mais pulverizada, correspondendo a 180 pontos. Em outras localidades, como em Torre Pacheco na Espanha, pela reduzida extensão territorial, há apenas 7 pontos de coleta. Na Irlanda e na Austrália, as próprias centrais das empresas funcionam como pontos de coleta.

Geralmente, a coleta é efetuada por empresas especializadas que costumam realizar um pré-tratamento do óleo residual de fritura por meio de limpeza, de filtração e de aquecimento. O volume coletado, analisando-se apenas os locais pesquisados, varia de 5.000 toneladas, na Irlanda, a 151.000 toneladas, na Áustria. Esse volume varia de localidade para localidade e depende do nível de conscientização dos doadores potenciais e da existência de um sistema de coleta. Na maior parte das experiências analisadas, são realizadas campanhas com apelo ambiental com o intuito de incentivar a doação de óleo residual de fritura. Algumas empresas, como a GeoGreen Biofuels, oferecem um serviço de coleta sem custo em troca de receberem gratuitamente o óleo residual de fritura.

Quanto às características dos sistemas de coleta encontrados, geralmente é o fornecedor que aciona o processo, informando por *e-mail* ou telefone que já existe óleo residual de fritura à disposição para ser coletado. É muito comum o fornecedor aguardar o recipiente de coleta encher para, após isso, acionar o processo junto à empresa de coleta. Os volumes dos recipientes variam de 3 a 1.000 litros.

### *3.1.2. Experiência nacional*

Após análise das experiências nacionais, obtidas a partir de duas cooperativas de coleta, PROVE (PROVE, 2007) e Disque Óleo (DOVU, 2008), no Rio de Janeiro, de informações, matérias e artigos expostos nos sites das prefeituras de Indaiatuba – SP (PI, 2008), Porto Alegre – RS (PPA, 2007), Volta Redonda – RJ (PVR, 2008), Ribeirão Preto – SP (PRP, 2008), Piracicaba – SP (PP, 2008), Campos dos Goytacazes – RJ (PCG, 2008), Curitiba – PR (PC, 2008) e Ponta Grossa – PR (PPG, 2008), e também de

dados do IBGE (IBGE, 2008), foi possível criar as Tabelas 3.2 (a e b). Essas Tabelas permitiram a comparação das várias experiências nacionais e internacionais que auxiliaram na representação de uma proposta de sistema de coleta de óleo residual de fritura adequada à realidade brasileira.

De acordo com as experiências analisadas em âmbito nacional, detalhadas no Anexo 3, o óleo residual de fritura pode ser coletado em grandes geradores, como restaurantes, lanchonetes, estabelecimentos comerciais, vilas e condomínios; pequenos geradores, como residências ou pontos de coleta, como escolas, instituições públicas, pontos de ônibus e outros. O número de pontos de coleta é variado. O programa PROVE de coleta de óleo residual de fritura na região metropolitana do Rio de Janeiro, por exemplo, possui 26 pontos de coleta, enquanto que o programa Biodiesel Urbano, em Indaiatuba (SP), possui apenas 14.

**Tabela 3.2 (a):** Resumo das experiências nacionais apresentadas em sistemas de coleta de óleo residual de fritura.

Região/ Cidade	Área (km <sup>2</sup> )	População (habitantes)	Volume	Incentivo à doação?	Onde é coletado o óleo residual de fritura?	Nº de pontos de coleta	Quem coleta o óleo residual de fritura?	Envolvidos	Nome do projeto	Venda do óleo	Armazenagem	Volume dos recipientes de coleta	Programação de coleta	Contato para acionar a coleta	Há pré-tratamento do óleo no sistema de coleta?	
															Existência	Tipo
Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RJ)	4.659	11.351.937	80.000 l/mês	Sim, com apelo ambiental	1.500 estabelecimentos comerciais e residências	não-especificado	Cooperativas	não-especificado	Disque Óleo	não-especificado	Galões ou garrafas PET	2 litros (garrafas PET) e recipientes (não especificado o volume)	Fornecedor aciona	Telefonema ou por e-mail	Sim	Decantação e Filtração
			4.000 l/semana	Sim, com apelo ambiental	Escolas, instituições públicas, restaurantes, vilas, condomínios e domicílios	26	Cooperativas	Secretaria Estadual do Ambiente e Incubadora (COPPE/UFRJ)	PROVE	De R\$ 0,55 a R\$ 1,00 por litro	Em 2.100 bombonas	25, 35 ou 50 litros	Fornecedor aciona	Telefonema	Sim	Decantação e Filtração
Indaiatuba (SP)	311	173.508	100.000 l/mês	Sim por meio de concursos em escolas	Estabelecimentos comerciais, residências e escolas	14	Iniciativa pública (prefeitura)	Prefeitura, SAAE, Universidade de Campinas e Instituto Harpia Harpyia	Biodiesel Urbano	R\$ 0,80 (custo do óleo residual de fritura + produção = custo do biodiesel)	Em garrafas PET ou recipientes de plástico	2 litros (garrafas PET)	Fornecedor aciona	Telefonema	Sim	não- especificado
Porto Alegre (RS)	497	1.420.667	10.000 l/mês	Sim, orientando a população	Restaurantes e pontos de coleta	24	Empresas de ração ou biodiesel	Oleoplan, Celgon, Faros e Ecológica	Pró-Dilúvio	R\$ 0,10 a R\$ 0,50 por litro	Em garrafas PET ou recipientes de vidro	2 litros (garrafas PET)	não- especificado	não- especificado	Sim	O óleo é limpo e tratado
Volta Redonda (RJ)	182	255.653	10.000 l/mês	Sim, com apelo ambiental	95 estabelecimentos comerciais e 130 escolas	não-especificado	Cooperativas	Prefeitura	Eco Óleo	R\$ 0,60 por litro	Em 225 bombonas	30, 50 ou 100 litros	Fornecedor aciona	Telefonema	Sim	Decantação e Filtração

Fonte: elaboração própria a partir de PROVE, 2007; DOVU, 2008; PI, 2008; PPA, 2007; PVR, 2008; IBGE, 2008.

Obs.: Ponto de coleta é onde o óleo residual de fritura é coletado e não gerado.

**Tabela 3.2 (b):** Resumo das experiências nacionais apresentadas em sistemas de coleta de óleo residual de fritura (continuação).

Região/ Cidade	Área (km <sup>2</sup> )	População (habitantes)	Volume	Incentivo à doação?	Onde é coletado o óleo residual de fritura?	Nº de pontos de coleta	Quem coleta o óleo residual de fritura?	Envolvidos	Nome do projeto	Venda do óleo	Armazenagem	Volume dos recipientes de coleta	Programação de coleta	Contato para acionar a coleta	Há pré-tratamento do óleo no sistema de coleta?	
															Existência	Tipo
Ribeirão Preto (SP)	650	547.417	17.000 l/mês	Sim, por meio de campanhas em escolas	Estabelecimentos comerciais e escolas	não-especificado	não-especificado	Iniciativa pública (Universidade - USP) e escolas	Biodiesel em casa e nas escolas	O programa recebe gratuitamente o óleo	Em garrafas PET (entrega em escolas)	2 litros (garrafas PET)	Fornecedor aciona	Contato com escolas por telefone ou pessoalmente	Sim	não- especificado
Piracicaba (SP)	1.370	358.108	10.000 l/mês	Sim, com apelo ambiental	Estabelecimentos comerciais e pontos de coleta	Variados (um zoológico, um hipermercado e supermercados)	Cooperativas	56 cooperados	Reciclador Solidário	De R\$ 0,25 a R\$ 0,40 por litro	Em garrafas PET, vidros ou galões	2 litros (garrafas PET)	não- especificado	não- especificado	não-especificado	não- especificado
Campos dos Goytacazes (RJ)	4.032	426.154	não- especificad o	Sim, trocando óleo usado por virgem	Restaurantes e lanchonetes	não-especificado	Empresa especializada (Vital Engenharia)	Vital Planet, Prefeitura, UENF, PESAGRO	-	R\$ 1,80 (custo do óleo residual de fritura + produção = custo do biodiesel)	não- especificado	não-especificado	não- especificado	não- especificado	não-especificado	não- especificado
Curitiba (PR)	435	1.797.408	2.500 l/mês em média	Sim, por meio da troca do óleo por hotifrutigranj eiros)	78 pontos e em 21 terminais de ônibus	99 (78 pontos e 21 terminais de ônibus)	Iniciativa pública (prefeitura)	Prefeitura e empresa de reciclagem	Câmbio Verde	não-especificado	Em garrafas PET (entrega em pontos de coleta)	2 litros (garrafas PET)	Fornecedor aciona	Telefonema	Sim	não- especificado
Ponta Grossa (PR)	2.068	306.351	25.000 l/mês	Sim, com apelo ambiental	Pontos de coleta (panificadoras)	12	Cooperativas	Poder público, Rotary clube, cooperativas, Redepan e Ambiental Vitare	-	não-especificado	Em garrafas PET (entrega nas panificadoras)	2 litros (garrafas PET)	não- especificado	não- especificado	Sim (realizada por empresas especializadas em reciclagem)	não- especificado

Fonte: elaboração própria a partir de PRP, 2008; PP, 2008; PCG, 2008; PC, 2008; PPG, 2008; IBGE, 2008.

Obs.: Ponto de coleta é onde o óleo residual de fritura é coletado e não gerado.

É interessante observar nas Tabelas 3.2 (a e b) que a quantidade de óleo residual de fritura coletada não depende da quantidade de pontos de coleta nem da quantidade de habitantes da cidade. O programa PROVE, em continuidade aos exemplos citados, coleta aproximadamente 16.000 litros de óleo residual de fritura por mês em sua área de atuação, a região metropolitana do Rio de Janeiro, com uma população de 11.351.937 habitantes (IBGE, 2008) e 26 pontos de coleta, enquanto que o programa Biodiesel Urbano coleta um volume maior, 100.000 litros por mês, com uma população em menor escala, correspondendo a 173.508 habitantes (IBGE, 2008) e 14 pontos de coleta.

O motivo de o programa Biodiesel Urbano angariar mais óleo residual de fritura, em comparação aos outros programas, pode estar ligado a sua maneira de incentivar a doação. Esse programa trabalha com campanhas em escolas e promove gincanas para arrecadar o óleo residual de fritura. Essas campanhas promovem o envolvimento das famílias e trazem a conscientização ambiental. Outras formas de incentivar a doação foram observadas, como a troca de óleo residual de fritura por óleo de soja virgem, por hortifrutigranjeiros ou outros, ou pela confecção de *banners* e *folders* com apelo ambiental.

No caso nacional, normalmente são cooperativas que coletam o óleo residual de fritura. Entretanto, são vários os envolvidos nesse processo, como prefeituras, universidades, empresas de biodiesel, associações de moradores e outros. O principal motivo para a criação dessas cooperativas é a geração de renda para famílias carentes. Essas cooperativas coletam o óleo residual de fritura e o vendem a um preço que varia entre R\$0,10 e R\$1,00 por litro para empresas que produzem sabão, biodiesel e outros.

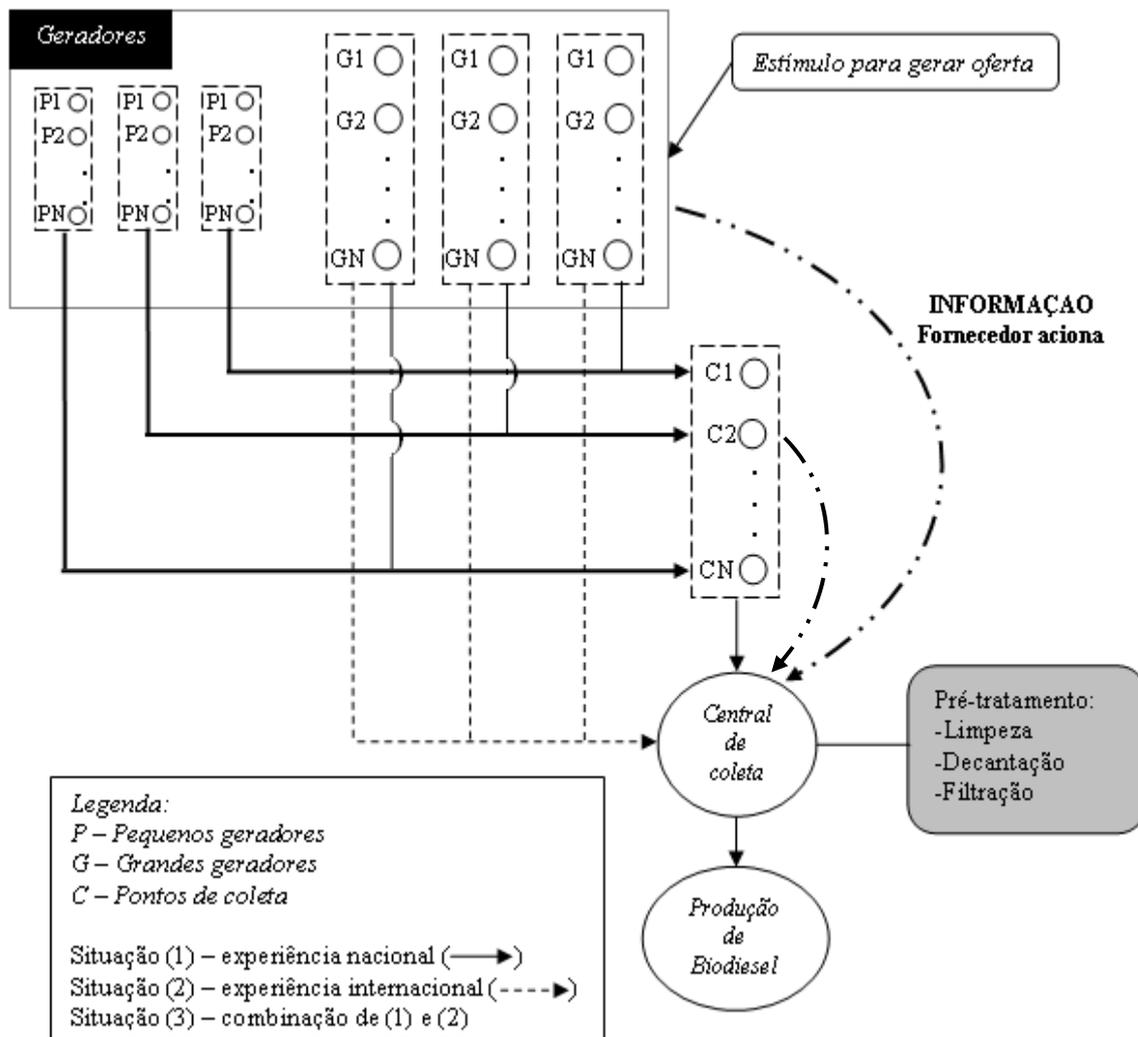
Por conseguinte, é o fornecedor do óleo residual de fritura que geralmente aciona, por meio de telefonema, o processo de coleta, como no caso internacional. O fornecedor somente dá início ao processo após o recipiente estar cheio. O volume dos recipientes é variável, de 25 a 100 litros, no entanto, é muito comum a utilização de garrafas PET com capacidade de 2 litros. Também foi constatado que as cooperativas realizam pré-tratamento do óleo, como decantação e filtração. Essa preocupação com a qualidade é maior quando o óleo residual de fritura é destinado à produção de biodiesel.

### **3.2. Modelo básico de coleta de óleo residual de fritura**

A partir da compreensão das experiências nacionais e internacionais apresentadas no item 3.1, é possível propor um modelo básico para o sistema de coleta e de transporte de óleo residual de fritura dos fornecedores para as centrais de coleta e destas para a fábrica de biodiesel, como pode ser visto na Figura 3.2. Observa-se que os fornecedores podem ser pequenos geradores (produtores residenciais dispersos ou domiciliares) e/ou grandes geradores (grandes produtores, produtores concentrados ou órgãos públicos). Essa situação ratifica o esquema apresentado na Figura 3.1, na qual esses elementos foram designados como aqueles que apresentavam coleta inexistente e com potencial de descarte de óleo residual de fritura em redes de esgoto sanitário.

A estrutura do modelo proposto considera três situações: (1) sistema de coleta composto principalmente por pequenos geradores; (2) sistema de coleta composto principalmente por grandes geradores e (3) sistema de coleta composto por pequenos e grandes geradores. Na primeira situação, com melhor aderência à experiência nacional, existem três níveis de processamento logístico do resíduo: (a) coleta nos geradores (pequenos e grandes); (b) agregação em pontos de coleta e (c) despacho para uma central de coleta. Na segunda, melhor aderente à experiência internacional, suprime-se o nível (b) anterior, em função do volume produzido pelos grandes geradores. Já a terceira situação é uma combinação das anteriores e, por isso, mais complexa, pois envolve todos os atores mencionados no primeiro e no segundo caso.

Quando o sistema de coleta é composto predominantemente de pequenos geradores, conforme a primeira situação, é necessária a existência de um ponto intermediário, nesse caso chamado de ponto de coleta, para agrupar a doação que será transportada para uma central. Com a criação dos pontos de coleta, o volume fornecido pelos grandes geradores também pode ser levado para esse local e depois para a central. Na segunda situação, a coleta é realizada diretamente nos grandes geradores e não há mais a necessidade de se criar pontos de coleta, pois o óleo residual de fritura já está concentrado. Por outro lado, quando a coleta é realizada nos grandes geradores e, também, nos pontos de coleta, tem-se a terceira situação.



Fonte: elaboração própria.

**Figura 3.2:** Modelo básico de sistema de coleta de óleo residual de fritura com base nas experiências internacionais e nacionais.

A terceira situação será o objeto deste estudo, pois contempla a junção de duas práticas. O principal motivo dessa escolha é uma forte tendência da prática nacional comportar, não somente a coleta em pontos não geradores, mas também coletar diretamente nos grandes geradores. Isso se deve ao fato do grande apelo ambiental propagado nos meios de comunicação. Outro motivo diz respeito à organização das centrais de coleta compostas por cooperativas criadas em comunidades carentes. Com tal organização, serão capazes de buscar e conquistar grandes geradores e mudar a consciência da sociedade.

Quanto ao número de geradores e pontos de coleta, estes podem se situar entre dezenas e milhares de pontos, de acordo com a experiência nacional, indicando a complexidade

da atividade a ser implementada e a possibilidade de seu encarecimento, caso não haja a preocupação com sua otimização. Essa situação fica mais clara comparando-se a Figura 3.2 com a Figura 3.3, pois considera o transporte do óleo virgem uma atividade muito mais simples e com custos operacionais potencialmente muito menores, como estabelecido na Tabela 2.3.



Fonte: IBP/COPPE/COPPEAD (2007)

**Figura 3.3:** Transporte do óleo virgem para produção de biodiesel.

A combinação das informações contidas nas Tabelas 3.1 (a e b) e 3.2 (a e b) com o modelo apresentado na Figura 3.2 permite uma compreensão da arquitetura do sistema de coleta, sua divisão em níveis, as expectativas de volume coletados, a forma de coleta (equipamentos e regimes operacionais) e o fluxo de informação a ele associado. Assim, entende-se que este proporciona subsídios à caracterização desse problema de roteirização e otimização e à escolha de ferramentas de pesquisa operacional aplicadas à otimização dos sistemas de coleta.

Em função da complexidade do modelo de coleta identificado, compreende-se que existe a possibilidade de encarecimento do custo final do biodiesel produzido a partir do óleo residual de fritura, se não forem tomados cuidados para o adequado entendimento e tratamento da operação de coleta. Essa possibilidade é ainda mais eminente em sistemas de coleta compostos principalmente de pequenos geradores, um potencial a ser explorado, segundo a Figura 3.1.

No próximo capítulo, será tratada a caracterização do problema de coleta de óleo residual de fritura com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre o tipo de problema abordado. Essa etapa é necessária para auxiliar na escolha de ferramentas de pesquisa operacional mais adequadas à otimização dos sistemas de coleta apresentados no modelo básico (Figura 3.2).

#### **4. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA**

A partir da Figura 3.2, apresentada no capítulo anterior, que ilustra um modelo básico de coleta de óleo residual de fritura disperso na malha urbana, foi possível definir os elementos envolvidos e suas inter-relações de modo a permitir o entendimento do problema. Como foi abordada no Capítulo 2, a participação do custo de coleta do óleo residual de fritura no custo total do biodiesel ainda não é conhecida, mas sabe-se que pode ser reduzida. Para efetuar essa melhoria, há a necessidade de se conhecer minuciosamente que tipo de problema está sendo tratado.

Objetiva-se, então, neste capítulo, caracterizar o problema de coleta de óleo residual de fritura de modo a detalhar o modelo básico já desenvolvido. Sendo assim, esse problema será caracterizado de acordo com um método composto por subgrupos relativos ao endereço (grandes geradores, pontos e centrais de coleta), aos veículos, aos objetivos e a outros aspectos relevantes. Como resultado deste capítulo, pretende-se definir, após o processo de caracterização, qual será o tipo de problema tratado neste estudo, considerando todas as restrições pertinentes ao caso.

##### **4.1. O problema de coleta de óleo residual de fritura**

O problema abordado no capítulo anterior trata de uma central que realiza a coleta em grandes geradores, geralmente restaurantes, lanchonetes e hotéis, e em pontos de coleta, como escolas, instituições públicas e pontos de ônibus. Essa central, cuja localização é conhecida previamente e que pretende coletar o óleo residual de fritura para uma usina de biodiesel, recebe o aviso de alguns geradores e de pontos de coleta, dentro de um conjunto universo de fornecedores cadastrados, de que há resíduo a ser coletado e esse volume.

O veículo, então, deverá partir dessa central, visitar apenas uma vez todos os geradores e pontos de coleta que informaram a existência de carga disponível a ser coletada e retornar para a central. Esse processo, que compõe o chamado problema de roteirização de veículos (PRV), deve ser realizado de forma ótima, ou seja, de modo a minimizar o custo de transporte pela redução do tempo de viagem e/ou pela redução da distância percorrida.

Um problema de roteirização de veículos (PRV) pode ser definido por três fatores fundamentais: decisões, objetivos e restrições. As decisões dizem respeito à alocação de um grupo de endereços (geradores e pontos de coleta) que devem ser visitados por um conjunto de veículos, envolvendo também a programação e o seqüenciamento das visitas. Como objetivos principais, o processo de roteirização visa a propiciar um serviço de coleta ou de entrega eficiente, mas ao mesmo tempo, os custos de operação e de capital devem manter-se tão baixos quanto possível (NOVAES, 2004).

#### **4.2. O problema de roteirização de veículos e suas variantes**

A roteirização de veículos (PRV), segundo TOTH e VIGO (2002), é um dos problemas de otimização combinatória mais estudados, devido a sua relevância prática e considerável dificuldade. O PRV deve ser solucionado com a determinação da rota ótima, realizada por uma frota de veículos que devem atender a um ou mais depósitos e servir a um conjunto de clientes. Muitas exigências e restrições adicionais e operacionais são impostas no processo de construção das rotas, principalmente quando é necessário reduzir a diferença entre o modelo teórico e a situação prática.

Esses modelos teóricos são comumente empregados para representar não somente sistemas de transporte de coleta, mas também sistemas de distribuição física de produtos e de serviços. Como exemplos, têm-se a entrega, em domicílio, de produtos comprados nas lojas de varejo ou pela *internet*, a distribuição de produtos dos centros de distribuição para lojas de varejo, a distribuição de bebidas em bares e restaurantes, a distribuição de dinheiro para caixas eletrônicos de bancos, a distribuição de combustíveis para postos de gasolina, a coleta de lixo urbano, a entrega domiciliar de correspondência e outros (NOVAES, 2004).

Segundo MARTINHON *et al.* (2004), o PRV é o nome genérico dado a uma classe vasta de problemas envolvendo a coleta e a distribuição física de mercadorias, serviços, informações e pessoas. O objetivo mais comum, requerido pela frota de veículos para satisfazer aos pedidos dos clientes, é minimizar a distância total (ou tempo total). As decisões de roteirização envolvem a alocação de clientes para veículos e a determinação da seqüência de atendimento.

Conforme mencionado por CUNHA (2003), o primeiro problema de roteirização a ser estudado foi o problema do caixeiro viajante. Este consiste em encontrar o roteiro ou a seqüência de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante, que minimize a distância total percorrida, assegurando que cada cidade seja visitada exatamente uma vez. Analogamente, o PRV é um problema do caixeiro viajante que pode ser relacionado com o gerenciamento do transporte de coleta e de distribuição dentro da área de operações logísticas.

Visto dessa forma, esse problema parece ser empregado sempre de maneira genérica. No entanto, na prática, é mais comum encontrar esse mesmo problema modificado ou adaptado a uma situação específica. Isso quer dizer que a solução para uma determinada situação não necessariamente poderá ser utilizada em outra. GLADYS (2006) ressalta que pequenas modificações no problema básico de roteirização de veículos podem originar outros problemas de roteirização. Sendo assim, apresenta-se na Tabela 4.1 algumas variantes do PRV com o intuito de gerar conhecimento sobre as possíveis restrições que podem ser aplicadas a um modelo teórico para que este se torne mais próximo da realidade.

GLADYS (2006) sugere dez variantes que diferem sobre os mais variados aspectos. O primeiro deles é o número de roteiros que são múltiplos para todos os PRV's devido à restrição de capacidade do veículo. No problema do caixeiro viajante não há esse tipo de restrição, sendo realizado apenas um roteiro. Os PRV's são geralmente classificados como estáticos, ou seja, conforme definição de PSARAFTIS (1995) *apud* GLADYS (2006), um problema de roteirização é estático se a solução de determinada formulação é um conjunto de rotas pré-planejadas que não serão re-otimizadas. Nesse caso, a entrada de dados não evolui em tempo real, o que acontece no problema dinâmico de roteirização de veículos.

**Tabela 4.1:** Variantes do problema de roteirização de veículos.

	Denominação	Número de roteiros	Planejamento Estratégico	Período do planejamento	Limite de capacidade	Limite de tempo	Restrições	Demanda cliente x capacidade veículo	Número de bases	Atendimento	Demanda
0	Problema do caixeiro viajante (PCV)	um	estático	1 dia	não	não	processo	irrelevante	uma	entrega	determinística
1	Problema de roteirização de veículos com restrição de capacidade (PRVC)	múltiplos	estático	1 dia	sim	não	processo	menor	uma	entrega ou coleta	determinística
2	Problema de roteirização de veículos com restrição de capacidade e tempo máximo de rotas (PRVCTMR)	múltiplos	estático	1 dia	sim	sim	processo	menor	uma	entrega ou coleta	determinística
3	Problema de roteirização de veículos com janelas de tempo (PRVJT)	múltiplos	estático	1 dia	sim	sim	cliente	menor	uma	entrega ou coleta	determinística
4	Problema de roteirização de veículos com múltiplos depósitos (PRVMD)	múltiplos	estático	1 dia	sim	não	processo	menor	múltiplas	entrega ou coleta	determinística
5	Problema de roteirização de veículos periódico (PRVP)	múltiplos	estático	D dias	sim	sim	cliente	menor	uma	entrega ou coleta	determinística
6	Problema de roteirização de veículos com entrega particionada (PRVEP)	múltiplos	estático	1 dia	sim	não	cliente	pode ser maior	uma	entrega ou coleta	determinística
7	Problema de roteirização de veículos com cargas de retorno (PRVCR)	múltiplos	estático	1 dia	sim	não	cliente	menor	uma	entrega e coleta	determinística
8	Problema de roteirização de veículos com pedidos de coleta e entrega (PRVCE)	múltiplos	estático	1 dia	sim	não	cliente	menor	uma	entrega e coleta simultânea	determinística
9	Problema probabilístico de roteirização de veículos (PPRV)	múltiplos	estático	1 dia	sim	não	cliente	menor	uma	entrega ou coleta	probabilística
10	Problema Dinâmico de roteirização de veículos (PDRV)	múltiplos	dinâmico	1 dia	sim	não	processo	menor	uma	entrega ou coleta	probabilística

Fonte: elaboração própria a partir de TOTH e VIGO (1999 e 2002), MARTINHON *et al.* (2004), GLADYS (2006), TARANTILIS (2005), PRINS (2004), RUSSELL e CHIANG (2006), BRĂYSI *et al.* (2004), RENAUD *et al.* (1996), ANGELELLI e SPERANZA (2002), DRUMMOND *et al.* (2001), HO e HAUGLAND (2004), FRIZZELL e GIFFIN, (1995), ZHONG e COLE (2005), WADE e SALHI (2002), NAGY e SALHI (2005), MONTANÉ e GALVÃO (2006), GENDREAU *et al.* (1996), SECOMANDI (2000), TIMON *et al.* (2005) e HAGHANI e JUNG (2005).

Quanto ao período de planejamento, a maioria dos problemas é formulada para ser solucionada em um dia específico. Entretanto, o tempo de planejamento é maior que um dia no caso do problema de roteirização de veículos periódico. Nesse tipo de problema, um conjunto de clientes tem que ser visitado uma ou várias vezes nesse horizonte de tempo. O número de dias em que um veículo atende a um gerador ou ponto de coleta não é fixo, mas um conjunto de datas para possíveis atendimentos é associado a cada um desses fornecedores. Outros problemas possuem restrições com limites de tempo. O PRV com restrições de capacidade e tempo máximo de rotas, por exemplo, possui limitações no processo de coleta ou de entrega quanto à distância total (tempo total) a ser percorrida por cada veículo. Esta não pode exceder um limite pré-especificado.

Outro problema que considera limites temporais é o de roteirização com janelas de tempo. Esse problema possui restrições que definem os limites inferior e superior do tempo de serviço dos clientes, bem como a explicitação dessa duração. Segundo BRAYSI *et al.* (2004), as janelas de tempo consideradas podem ser de dois tipos: (1) janelas de tempo rígidas, em que as restrições de janelas de tempo não podem ser violadas e (2) janelas de tempo flexíveis, quando é permitido o serviço adiantado ou atrasado em relação à janela de tempo. Para modelar alguns problemas práticos, algumas vezes são empregadas as restrições que consideram como probabilísticos os tempos de viagem.

Dentro do sistema logístico, muitas restrições são consideradas no problema por exigências de clientes. Isso fica bem claro, por exemplo, no problema com restrições de janelas de tempo. Por outro lado, algumas restrições são inseridas na análise, pois são essenciais para efetuar o processo que atenderá esses clientes. No caso do PRV com cargas de retorno, alguns clientes demandam produtos que se encontram no depósito central e outros necessitam que seus produtos sejam coletados e levados para esse mesmo depósito. Nesse problema clássico, os clientes de coleta são visitados após todos os clientes de entrega terem sido atendidos. Entretanto, também podem ser encontrados problemas em que a coleta e a entrega devem acontecer de modo aleatório ao longo da rota.

O caso do PRV com múltiplos depósitos também surge devido às necessidades do processo. Muitas vezes, faz parte da estratégia das empresas inserir mais depósitos para

umentar a satisfação dos clientes com entregas mais rápidas ou para obter vantagem competitiva com a redução dos custos frente aos concorrentes. É fundamental para as empresas atender aos clientes de forma adequada. Existem clientes, por exemplo, que demandam uma quantidade de carga que é superior à capacidade do veículo. Esse problema é conhecido como PRV com entrega particionada e permite que o cliente possa ser atendido por vários veículos, desde que o custo total seja reduzido por esse tipo de atendimento.

Outros clientes, ao mesmo tempo em que demandam entrega, demandam coleta. Esse é o PRV com pedidos de coleta e entrega que, diferentemente do PRV com cargas de retorno, exige que a entrega e a coleta sejam efetuadas simultaneamente em um determinado cliente. Esse problema, segundo MONTANÉ e GALVÃO (2006), é geralmente encontrado na indústria de refrigerantes, onde as garrafas vazias devem ser coletadas, enquanto que as cheias devem ser entregues. Isso acontece sempre quando os clientes não podem aceitar serem atendidos em uma hora com entrega e em outra com coleta, pois isso aumentaria o esforço de manuseio e conseqüentemente os custos.

A abordagem das variantes do PRV, realizada até aqui, contemplou, muitas vezes, termos como demanda e tempo de viagem. Essas variáveis, na prática, são quase sempre probabilísticas. Segundo SECOMANDI (2000), casos probabilísticos podem ser encontrados em diversas áreas de negócio, principalmente nas relacionadas com transporte de distribuição. No entanto, a aleatoriedade das variáveis, muitas vezes, não é considerada em modelos teóricos, pois segundo GENDREAU *et al.* (1996), o PRV probabilístico é complexo e apenas problemas de pequeno porte podem ser solucionados até a obtenção do resultado ótimo. Após esse entendimento do PRV e de suas variantes, expostas com mais detalhes no Anexo 4, será apresentado, no próximo item, um método que possibilitará a realização da caracterização do problema de coleta de óleo residual de fritura.

#### **4.3. Método para caracterização do problema de coleta de óleo residual de fritura**

Com o intuito de detalhar as características do problema de coleta de óleo residual de fritura já esquematizado no capítulo anterior, será empregada a classificação proposta por PELIZARO (2000). Essa classificação, apresentada na Tabela 4.2, lista um conjunto de requisitos de caracterização e possíveis opções que podem se adequar à maioria dos

problemas de roteirização reais. Os requisitos de caracterização podem ser divididos em quatro grupos. São eles: (1) endereço, que descreve as características e as restrições que são relevantes para um conjunto de locais representado, no caso abordado neste estudo, pelos grandes geradores, pelos pontos de coleta e pela central; (2) veículo, que especifica as características relevantes para o(s) veículo(s) que efetua(m) o transporte; (3) características do problema, que contêm todas as características não identificadas com os endereços ou veículos e (4) objetivo, que define a função objetivo e as restrições que podem ser aplicadas a ela.

O primeiro grupo, relativo aos endereços, pode ser dividido em quatro subcampos. Após a definição do primeiro, representado pelo (1) número de depósitos, são apresentados os aspectos sobre (2) a demanda como, por exemplo, a localização, o tipo, a natureza, o volume e a necessidade de atendimento. Quanto à localização, os endereços podem ser representados por meio de nós, arestas ou ambos. O tipo de demanda, por sua vez, especifica se o processo é de coleta ou de entrega ou se ambos são executados de forma aleatória ou simultânea. Já o volume demandado em cada um dos endereços pode ser maior ou menor que a capacidade do veículo. No caso da necessidade de atendimento da demanda, esta pode ser em apenas um dia ou em vários, dependendo da quantidade de carga. E com relação à natureza, a demanda pode ser determinística ou probabilística. Considerando agora o terceiro subcampo, correspondente à (3) restrição de programação, este especifica os aspectos temporais da demanda, e o último subcampo, relativo à (4) restrição de seleção, especifica se os endereços serão ou não visitados de acordo com sua contribuição no ganho total do processo logístico.

No grupo relativo às características do veículo, são considerados três subcampos: quantidade, características físicas do veículo e restrições temporais. A (1) quantidade de veículos é considerada constante quando é pré-definida e não é variável do modelo. Já as (2) características físicas do veículo são definidas pela capacidade e pela existência de compartimentos no transporte. A frota de veículos pode ter a mesma capacidade e, assim, ser descrita como homogênea, ou ter diferentes capacidades, que é a designação da frota heterogênea. Quanto aos compartimentos do veículo, estes podem ser comuns, sem condições especiais, como um caminhão-tanque; intercambiáveis, usados para separar a carga, tais como acontece no transporte de animais; ou especiais, usados para armazenar, por exemplo, comidas congeladas e vegetais frescos. No último subgrupo,

que especifica as (3) restrições temporais, é possível encontrar os intervalos de disponibilidade dos veículos e os limites inferiores e superiores na duração da rota.

O terceiro grupo trata de outras características do problema ao definir o tipo de grafo, a estratégia de serviço e as restrições nas relações entre os endereços e os serviços. O (1) tipo de grafo pode ser classificado como direcionado, não direcionado ou misto. Já a (2) estratégia de serviço pode comportar a quebra da demanda, como acontece no PRV com entrega particionada, as decisões sobre o atendimento (primeiro entregar para depois coletar ou executar os dois simultaneamente), o número de rotas por veículo e onde começará e terminará a rota. Quanto ao último requisito desse grupo, este considera (3) as possíveis relações entre dois endereços, entre um endereço e um veículo ou entre dois veículos. A mais conhecida dessas relações é a de precedência entre dois endereços: o veículo deve visitar obrigatoriamente um cliente antes de visitar o outro. A relação entre endereços e veículos pode acontecer quando um endereço deve ser atendido por veículos específicos e a relação entre dois veículos é comum quando é necessário trocar cargas ou um prestar assistência ao outro.

O último grupo a ser abordado é aquele que detalha os objetivos. O mais comum encontrado é o de minimizar o custo total das viagens. No entanto, para que o modelo se torne o mais próximo da realidade, algumas restrições são adicionadas à função objetivo. Estas podem ser adicionadas para compensar o custo do veículo; o custo do endereço, representado pelo custo incorrido ao divergir do nível de serviço pretendido; uma penalidade do veículo ou uma penalidade do endereço. As funções penalidades permitem modelar o custo incorrido com a violação de restrições flexíveis, como horas extras de motoristas. O próximo passo deste estudo é caracterizar o problema de coleta de óleo residual de fritura com base nos requisitos apresentados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2:** Requisitos para caracterização do problema de roteirização de veículos.

Requisitos de Caracterização			Possíveis Características do Problema		
Endereço	Número de depósitos		Único	Múltiplos	-
	Demanda	Localização	Nós	Arestas	Mista
		Tipo	Coleta ou Entrega	Coleta e entrega aleatória	Coleta e entrega simultânea
		Natureza	Determinística	Probabilística	-
		Volume	Menor que a capacidade do veículo	Maior que a capacidade do veículo	-
		Necessidade de atendimento	1 dia	"M" dias	-
	Restrição de programação		Nenhuma	Janela de tempo simples	Janela de tempo múltipla
Restrição de seleção		Todos os endereços devem ser visitados	Um dado subconjunto de endereços deve ser visitado e os outros serão visitados se for vantajoso	Pelo menos um endereço de cada subconjunto particionado deve ser visitado	
Veículo	Quantidade de veículos		Constante	Variável	-
	Características físicas	Restrição de capacidade	Nenhuma	Frota homogênea	Frota heterogênea
		Compartimentos	Comuns	Intercambiáveis	Especiais
	Restrições temporais	Disponibilidade dos veículos	Integral	Com durações constantes	Com durações variáveis
		Duração das rotas	Sem restrição	Limites constantes de tempo	Limites variáveis de tempo
Características do problema	Tipo de grafo		Não direcionado	Direcionado	Misto
	Estratégia de serviço	Quebra da demanda	Não é permitida	É permitida no princípio	É permitida no final
		Restrição de atendimento	Nenhuma	Primeiro entrega, depois coleta	Entrega e coleta simultaneamente
		Rota por veículo	Única	Mais de uma	-
		Começo e término da rota	Mesmo depósito	Diferentes depósitos	-
	Restrições nas relações	Endereço-endereço	Sim	Não	-
		Endereço-veículo	Sim	Não	-
Veículo-veículo		Sim	Não	-	
Objetivos	Tipos	Minimização do tempo total de viagem e atendimento	Minimização da distância total percorrida	Minimização do número total de veículos utilizados	Minimização do custo total da viagem
	Restrições adicionais à função objetivo		Nenhuma	Custo do veículo ou do endereço	Penalidade do veículo ou do endereço

Fonte: adaptado de PELIZARO (2000). Obs.: (-) não se aplica.

#### **4.4. Caracterização do problema de coleta de óleo residual de fritura**

No item anterior, foram apresentados vários requisitos de caracterização para problemas de roteirização de veículos. Ao realizar uma análise crítica desses requisitos, resumidos na Tabela 4.2, pode-se apontar, em cada um dos grupos, qual melhor se aplica ao problema de coleta de óleo residual de fritura. A base do problema foi estabelecida no modelo preliminar estabelecido no capítulo anterior. A partir deste item, as características desse modelo serão detalhadas, para que os requisitos operacionais do processo de coleta de óleo residual de frituras possam ser definidos, a fim de auxiliar na sugestão das ferramentas computacionais mais adequadas a efetuar o processo de otimização. A Tabela 4.3 apresentará um resumo dessas características.

Recapitulando as premissas básicas do PRV e aplicando-as ao problema exposto neste estudo, tem-se que o veículo partirá de uma central, visitará todos os endereços fornecedores de óleo residual de fritura (grandes geradores e pontos de coleta) e voltará para a mesma central. Assim sendo, ao analisar os requisitos de caracterização, observa-se que o número de depósitos é um (única central), os endereços são localizados em nós com coleta determinística e a necessidade de coleta é atendida em apenas um dia. A restrição de programação resume-se a janelas de tempo simples, pois muitos dos grandes geradores, como restaurantes, não podem atender em determinadas faixas de horário (hora do almoço, por exemplo). Quanto à restrição de seleção dos endereços que devem ser visitados, é considerado que todos os grandes geradores ou pontos de coleta devem ter suas demandas atendidas.

Já nos aspectos ligados à característica do veículo, nota-se que a quantidade destes é constante, ou seja, não é variável de decisão para esse problema. Considera-se que essa quantidade é definida previamente. Entretanto, a capacidade desses veículos é sempre a mesma compondo uma frota dita como homogênea. Com relação aos compartimentos onde os recipientes com óleo residual de fritura serão alocados, estes são classificados como comuns. Esse resíduo é transportado em recipientes para agilizar as operações de carga e descarga e minimizar o tempo de ciclo em cada viagem, melhorando o aproveitamento da frota. No que se refere às restrições de tempo, é considerado que os veículos são responsabilidade da central e, por isso, podem ter disponibilidade integral para efetuar o transporte de coleta. Também não há restrição para a duração das rotas, pois estas são sempre realizadas dentro do tempo de funcionamento dos endereços

conforme mencionado.

**Tabela 4.3:** Detalhamento das características do problema de coleta de óleo residual de fritura.

Requisitos de Caracterização		Características do Problema Tratado	
Endereço	Número de depósitos		Único
	Demanda	Localização	Nós
		Tipo	Coleta e entrega simultânea
		Natureza	Determinística
		Volume	Menor que a capacidade do veículo
		Necessidade de atendimento	1 dia
	Restrição de programação		Janela de tempo simples
Restrição de seleção		Todos os endereços devem ser visitados	
Veículo	Quantidade de veículos		Constante
	Características físicas	Restrição de capacidade	Frota homogênea
		Compartimentos	Comum
	Restrições temporais	Disponibilidade dos veículos	Integral
		Duração das rotas	Sem restrição
Características do problema	Tipo de grafo		Direcionado
	Estratégia de serviço	Quebra da demanda	Não é permitida
		Restrição de atendimento	Nenhuma
		Rota por veículo	Única
		Começo e término da rota	Mesmo depósito
	Restrições nas relações	Endereço-endereço	Não
		Endereço-veículo	Não
Veículo-veículo		Não	
Objetivos	Tipo		Minimização da distância total percorrida
	Restrições adicionais à função objetivo		Nenhuma

Fonte: elaboração própria a partir de PELIZARO (2000).

O tipo de grafo que compõe o sistema de coleta é considerado como direcionado (vias com mão de direção). Como estratégia de serviço, considera-se que não há a necessidade de particionar a demanda, partindo da premissa que o volume de óleo residual de fritura demandado em cada endereço será sempre menor que a capacidade do veículo. Também não há restrição de atendimento, uma vez que o problema comporta apenas o processo de coleta. Outra premissa que compõe a estratégia de serviço é o número de rotas por veículo, considerado único nesse caso. Já a última parte da estratégia adotada confirma que o início e o fim da rota têm que ser o depósito (central). No caso de relações entre endereços e veículos, estas não foram encontradas no estudo realizado no capítulo anterior, não interferindo nas características do problema. E como objetivo do problema de coleta de óleo residual de fritura, define-se a

minimização da distância total percorrida que reduzirá, também, o custo total da operação (admitido como proporcional a quilometragem percorrida). Considera-se também que não há a necessidade de adicionar nenhuma restrição à função objetivo.

Após a determinação das características detalhadas e atreladas ao modelo básico do capítulo anterior, conforme Tabela 4.3, pode-se definir com qual variante do PRV, dentre as apresentadas na Tabela 4.1, terá melhor semelhança ao problema de coleta abordado neste estudo. Como o problema tratado possui apenas um depósito (central) e a natureza da demanda é determinística, este não pode ser classificado como PRV com múltiplos depósitos, probabilístico ou dinâmico. O problema, também, é somente o de coletar o óleo residual de fritura, o que permite concluir que os PRV's com cargas de retorno e com pedidos de coleta e entrega aleatória não são adequados. Com relação às restrições temporais atuantes no veículo, estas são inexistentes. Neste sentido, o PRV com restrições de tempo máximo de rotas não é apropriado para representar o problema em questão.

Um aspecto importante, considerado na Tabela 4.3, é que o volume demandado por cada endereço será sempre menor que a capacidade do veículo. Assim sendo, este também não pode ser considerado um problema com entrega ou coleta particionada. Já o PRV periódico também não é adequado para representar o problema em questão, pois, nessa variante, há endereços que necessitam de atendimento em mais de um dia.

Observa-se, então, que três itens da Tabela 4.3 definem o tipo de problema tratado neste estudo. O primeiro (1) diz respeito à restrição de capacidade do veículo. O processo analítico para a elaboração do modelo básico do capítulo anterior revelou que a frota de veículos que efetua o transporte do resíduo é predominantemente homogênea, ou seja, tem-se que considerar a restrição de capacidade. No caso da restrição de programação dos endereços (2), parte-se da premissa que os grandes geradores, geralmente restaurantes, possuem uma janela de tempo simples, normalmente no horário entre 11h00min e 14h00min, em que não há a possibilidade de efetuar a visita. Quanto ao tipo de demanda (3), esta é caracterizada como coleta e entrega simultânea, parecido com o que acontece no sistema de transporte de bebidas. A diferença é que, nesse caso, os recipientes vazios são entregues e simultaneamente os recipientes cheios com o óleo residual de fritura são coletados. Neste sentido, o PRV tratado neste estudo é do tipo

com pedidos de coleta e entrega simultâneas, que já são considerados com restrição de capacidade do veículo conforme Tabela 4.1, adequados com a inserção das restrições de janelas de tempo simples para os endereços que necessitarem.

No próximo capítulo, algumas ferramentas computacionais serão analisadas. Com a definição do tipo de problema e de sua variante mais adequada, espera-se encontrar um conjunto de ferramentas que possam efetuar a roteirização e a minimização da distância percorrida pelo veículo de coleta atendendo a esse tipo de problema. A determinação de um conjunto de ferramentas de otimização será imprescindível para a etapa do estudo de caso. Nessa etapa, o processo de coleta de uma central será acompanhado e registrado. Neste sentido, a ferramenta computacional realizará a roteirização com o intuito de fornecer os dados de um processo teórico que, posteriormente, será comparado com os dados do processo real.

## **5. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS**

No capítulo anterior, o detalhamento do sistema de coleta de óleo residual de fritura foi realizado para identificar suas características peculiares de modo a melhor definir qual tipo de problema deve ser tratado. Após a determinação do tipo de problema (PRV com pedidos de entrega e coleta simultânea), a próxima etapa é a sugestão de ferramentas computacionais capazes de solucionar esse mesmo problema. Neste sentido, o processo de roteirização deve minimizar a distância percorrida, partindo do princípio que os procedimentos meramente empíricos incorrem em desperdícios.

Assim sendo, numa primeira parte este capítulo apresenta uma introdução sobre o emprego de *softwares* fechados<sup>5</sup> de roteirização no Brasil, considerando os motivos de sua baixa efetividade, em alguns casos, mesmo em se tratando de produtos consagrados no mercado. Em seguida, serão apresentadas algumas ferramentas de roteirização para que seja efetuada uma análise baseada em critérios pré-estabelecidos. Após essa análise, serão sugeridas algumas dessas ferramentas para efetuar a otimização de um processo de coleta de óleo residual de fritura encontrado na prática.

### **5.1. O emprego de *softwares* fechados de roteirização no Brasil**

O problema de roteirização de veículos (PRV) pode ser classificado como do tipo NP-difícil (MACULAN e CAMPELLO, 1994), isto é, esse problema não pode ser solucionado por algoritmos exatos em um tempo computacional relativamente baixo. Sendo assim, são utilizados os algoritmos heurísticos ou meta-heurísticos que não asseguram a obtenção da solução ótima e, geralmente, possuem caráter específico e particular, pois não conseguem obter boas soluções para os problemas um pouco diferentes daqueles para os quais foram desenvolvidos. Mais informações sobre a complexidade computacional do PRV, bem como dos tipos de algoritmos existentes (exatos, heurísticos e meta-heurísticos) podem ser encontradas no Anexo 5, conforme pesquisa bibliográfica relativa aos autores LORETO *et al.* (2005), COELHO e CARDOSO (2003), MACULAN e CAMPELLO (1994), CUNHA (2003), SANTOS (2006), CHAVES (2003), TOTH e VIGO (2002), TARANTILIS (2005), GLADYS

---

<sup>5</sup> *Software* fechado: *software* que emprega um algoritmo que não pode ser alterado. Apenas os dados de entrada podem ser modificados para a obtenção de resultados na saída. Esses algoritmos de programação, desenvolvidos pelas empresas produtoras dos *softwares*, geralmente não são divulgados.

(2006), BELLO *et al.* (2006), GLOVER (1986) *apud* SUBRAMANIAN *et al.* (2006), GLOVER e LAGUNA (1997) *apud* SCHOPF *et al.* (2004), GLOVER *et al.* (1995), LIN *et al.* (2007), MIRANDA (2008), SOUZA FILHO *et al.* (2006) e PEREIRA (2004).

Segundo CUNHA (2003), a qualidade das soluções pode ser assegurada por meio da customização dos algoritmos heurísticos, obtida quando estes são criados especificamente para solucionar um determinado problema. No entanto, quando a roteirização de veículos é realizada em *softwares* fechados, com algoritmos heurísticos que o próprio usuário desconhece, é pouco provável alcançar tais níveis de customização.

Embora a seleção e a implantação dos *softwares* de roteirização tenham crescido e sido feitas com critério nos últimos anos, tem-se observado, em algumas aplicações, principalmente no caso brasileiro, que os benefícios obtidos com a sua utilização podem ficar abaixo das expectativas iniciais, mesmo quando se trata de produtos consagrados no mercado. Os motivos de uma possível baixa efetividade dos *softwares* comerciais decorrem principalmente de condicionantes locais e de particularidades dos problemas que não podem ser considerados, assim como da fragilidade dos dados de entrada que alimentam os modelos. Nem sempre isso ocorre a partir da fragilidade dos algoritmos de solução, que na maioria das vezes são extensivamente testados e validados com inúmeras histórias de sucesso nos seus países de origem. Também devem ser destacadas as dificuldades na etapa de escolha do produto (CUNHA, 2003).

O fato da maioria dessas ferramentas terem seus algoritmos de solução ocultos ou não especificados e também o pouco conhecimento técnico especializado por parte dos representantes locais pode levar a escolhas que posteriormente se mostram equivocadas, uma vez que os *softwares* nem sempre conseguem atender às necessidades para os quais foram adquiridos. Entretanto, há um crescimento da utilização dessas ferramentas, mesmo com esses problemas, devido a fatores provenientes do mercado, como as exigências dos clientes com relação a prazos, datas e horários de atendimento (principalmente entregas); o agravamento dos problemas de trânsito, acesso e circulação; o aumento da competição pelo mercado e a busca de eficiência trazida pela necessidade de redução de custos operacionais; o custo de capital levando à redução de

estoques e o aumento da frequência de entregas.

Apesar das limitações dos *softwares* comerciais, muitos pacotes de roteirização disponíveis no mercado brasileiro são bastante sofisticados e poderosos por considerar diversos tipos de restrições. Também foram exaustivamente testados e validados em diferentes tipos de problemas. Razões pelas quais se entende que um dos *softwares* que será apresentado poderá ser utilizado para otimizar um processo prático de coleta de óleo residual de fritura no modelo representado pela Figura 3.2 do Capítulo 3. Conforme abordado neste estudo, esse *software* escolhido deverá solucionar o PRV com pedidos de coleta e entrega simultânea, traduzido na coleta em pontos pré-estabelecidos espalhados em um meio urbano. Dentre inúmeras ferramentas que podem ser encontradas no mercado, serão apresentadas, no próximo item, aquelas que foram mencionadas em uma pesquisa sobre *softwares* de roteirização de veículos.

## **5.2. Softwares comerciais de roteirização de veículos**

Segundo HALL e PARTYKA (2008), há dez anos, as ferramentas de roteirização de veículos estavam surgindo em mercados estrangeiros como resultados do desenvolvimento dos sistemas de informação geográfica (SIG). Atualmente, pode-se encontrar uma grande quantidade dessas ferramentas voltadas para atender a variadas necessidades.

Neste item serão apresentados alguns *softwares* de roteirização de veículos que participaram de uma pesquisa desenvolvida pelo *Institute for Operations Research and the Management Sciences*. Essa pesquisa foi publicada na revista americana *OR/MS Today* em fevereiro de 2008 e pode ser acessada por completo no Anexo 6. Além da pesquisa 2008, também serão apresentados alguns *softwares* mencionados na pesquisa publicada no ano de 2000<sup>6</sup> pelo mesmo instituto. Nessa pesquisa, as informações relativas às ferramentas foram verificadas e tiveram que ser atualizadas. Outros *softwares* mencionados em pesquisas de anos anteriores não serão apresentados, por

---

<sup>6</sup> A primeira pesquisa publicada pelo *Institute for Operations Research and the Management Sciences* foi realizada no ano de 1997. Outras também foram publicadas nos anos de 2000, 2002 (apresentada resumidamente por NOVAES (2004) em sua obra), 2004, 2006 e 2008.

estarem com informações obsoletas, que não puderam ser atualizadas<sup>7</sup>. Neste sentido, será apresentado, na Tabela 5.1, um resumo de toda a pesquisa de 2008 com as informações mais relevantes, incluindo outros *softwares* mencionados na pesquisa realizada em 2000. Esse resumo contempla 22 *softwares* de roteirização de veículos desenvolvidos por empresas pertencentes a vários países; o ano em que foram lançados no mercado; os sistemas operacionais onde essas ferramentas podem ser processadas; o tamanho máximo do problema medido pelo número de paradas, número de veículos, número de terminais, *hardware*, velocidade do processador, memória e espaço no disco; a performance da ferramenta medida pelo tempo de processamento computacional e os tipos de algoritmos empregados; a roteirização que pode ser em nós ou em arcos ou ainda ser monitorada em tempo real e as informações sobre preços dos *softwares* e sua instalação.

Pode-se observar na Tabela 5.1 que o *Windows* é o sistema operacional dominante empregado pela quase totalidade dos *softwares* de roteirização avaliados. Outro fato importante é que, embora nenhuma empresa tenha oferecido um *software* que possa ser processado por meio da plataforma *Macintosh*, há um aumento da tendência em se utilizar o sistema operacional da plataforma *Web*. Essa plataforma permite conectar múltiplos usuários por meio da *internet* ou de redes locais e é habilitada, geralmente, pelas tecnologias *ASP (Active Server Page)* e *J2EE (Java2 Enterprise Edition)*. Outros sistemas operacionais apontados na pesquisa foram os relativos às plataformas *Unix* e *Linux*.

Nota-se, também, quanto ao tamanho máximo do problema e à performance do *software*, que embora as empresas afirmem que seus algoritmos são capazes de solucionar problemas com tamanho ilimitado, numa perspectiva prática, também devem ser considerados o tempo de processamento e a quantidade de memória e de espaço em disco necessários para a solução do problema real. Sendo assim, para um problema de tamanho médio, caracterizado por 50 rotas, 1000 paradas (20 paradas por veículo) e duas horas de janela de tempo, algumas empresas afirmaram que o tempo de processamento de seus *softwares* varia de um a dez minutos. Com relação ao *hardware* empregado, as empresas geralmente recomendam um microcomputador que opera entre

---

<sup>7</sup> Faltou a informação no *site* dos fabricantes.

2 e 4 GHz (giga-hertz), que possua memória entre 1 e 4 GB (giga-bytes) e que tenha mais de 60 GB (giga-bytes) de espaço no disco rígido.

Quanto aos algoritmos utilizados na programação dos *softwares*, estes representam informação sigilosa para a maioria das empresas fabricantes, embora envolvam tipicamente uma combinação de métodos de programação inteira, heurísticas e meta-heurísticas, como os algoritmos genéticos e o recozimento simulado (*simulated annealing*). Em todas as ferramentas citadas, os algoritmos são capazes de promover a roteirização em nós, enquanto que, em muitos casos, também são capazes de efetuar a roteirização em arcos. Outra preocupação aparente da maioria das empresas é capacitar seus *softwares* para roteirizar em tempo real, uma necessidade de várias empresas usuárias que almejam a redução de custos.

Já os preços dos *softwares*, que foram citados pelas empresas, podem ser negociáveis por depender do tamanho da frota. A expectativa de pagamento é por volta de \$10.000 para a aquisição do *software*. Produtos mais caros geralmente oferecem um serviço mais especializado, atendendo a um conjunto maior de necessidades e permitindo interfaces mais robustas. A comparação entre os *softwares* deve considerar os custos totais, incluindo taxas de licença e de instalação e custos de manutenção, de *hardware* e de mapas digitais. Entretanto, o usuário também deve considerar a experiência da empresa na aplicação desejada. Por fim, a maioria dessas características, apresentadas na Tabela 5.1, será utilizada para ajudar na sugestão dos *softwares* mais adequados para realizar a otimização do processo de coleta de óleo residual de fritura.

**Tabela 5.1 (a):** Pesquisa 2008 de *softwares* de roteirização de veículos.

Produto	Empresa	Ano	Sistema Operacional	Tamanho máximo do problema							Performance		Roteirização			Informações de preço	
				Número de paradas	Número de veículos	Número de terminais	Hardware recomendado	Velocidade do processador	Memória	Espaço no disco	Tempo computacional	Tipos de algoritmos empregados	Nós	Arcos	Tempo real	Valor da licença (50 Rotas)	Custo da instalação (\$/hora)
ORTEC Routing and Scheduling	ORTEC	1981	Windows	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	n/e	3.0 GHz	4 GB	100 GB	2-15 minutos	Busca Local	sim	sim	sim	n/e	n/e
Roadnet Transportation Suite	UPS Logistics Technologies	1983	Windows, Linux, Unix, Web	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	n/e	n/e	n/e	n/e	No mínimo 30 segundos	n/e	sim	sim	sim	n/e	US\$ 120
TruckStops Routing and Scheduling Software	MicroAnalytics	1984	Windows	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	PC ou servidor	1.4 GHz	256 MB	1 GB	1-5 minutos	n/e	sim	sim	sim	US\$ 9.500	n/e
The LogiX Suite	Distribution Planning Software	1985	Windows, Web, ASP	50.000	999	Ilimitado	PC ou servidor	n/e	1 GB	40 GB	n/e	n/e	sim	não	sim	De US\$ 450 a US\$ 45.000	15% do preço de compra
Roadshow	The Descartes Systems Group	1985	Windows	32.000	n/e	256	PC com Pentium II ou III	300 MHz	64 MB	9 GB	n/e	n/e	sim	não	sim	n/e	n/e
TransCAD Transportation GIS	Caliper Corporation	1988	Windows, Unix, Web	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	PC com Pentium	400 MHz	256 MB	1 GB	n/e	Clarke and Wright	sim	sim	não	US\$ 9.995	US\$ 995
RouteSmart Route Optimization	RouteSmart Technologies	1989	Windows	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	PC com Pentium III	n/e	256 MB	1 GB	n/e	n/e	sim	sim	não	US\$ 10.000	n/e
DISC	MJC2 Limited	1990	Windows, Linux, Unix, Web, ASP	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	n/e	n/e	n/e	n/e	n/e	n/e	sim	sim	sim	n/e	n/e
REACT	MJC2 Limited	1990	Windows, Linux, Unix, Web, ASP	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	n/e	n/e	n/e	n/e	n/e	n/e	sim	sim	sim	n/e	n/e
STARS 5.0	SAITECH, Inc.	1995	Windows, Unix, Web, ASP	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	PC ou servidor	3.0 GHz	2 GB	1 GB	30 segundos a 2 minutos	Busca Local	sim	sim	sim	n/e	US\$ 100 - US\$ 125
Direct Route	Appian Logistics Software, Inc.	1996	Windows, Web, ASP	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	PC ou servidor	1.8 GHz	1 GB	40 GB	3-5 minutos	n/e	sim	sim	sim	US\$ 28.000	US\$ 100

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*; o ano mencionado é o de lançamento.

Fonte: *OR/MS TODAY (Institute for Operations Research and the Management Sciences)*, 2008.

Tabela 5.1 (b): Pesquisa 2008 de *softwares* de roteirização de veículos (continuação).

Produto	Empresa	Ano	Sistema Operacional	Tamanho máximo do problema							Performance		Roteirização			Informações de preço	
				Número de paradas	Número de veículos	Número de terminais	Hardware recomendado	Velocidade do processador	Memória	Espaço no disco	Tempo computacional	Tipos de algoritmos empregados	Nós	Arcos	Tempo real	Valor da licença (50 Rotas)	Custo da instalação (\$/hora)
ILOG Dispatcher	ILOG, Inc.	1997	Windows, Linux, Unix, Web, ASP	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	n/e	2 GHz	500 MB	n/e	n/e	Busca Local	sim	sim	sim	n/e	n/e
Paragon Routing and Scheduling System	Paragon Software Systems	1997	Windows, Web	500	20	3	PC com Pentium IV	3.6 GHz	512 MB	2 GB	2 minutos	Clarke and Wright	sim	sim	não	US\$ 70.000 para 100 veículos	US\$ 755 ou US\$ 930 por dia
Prophecy Total Transportation System	Prophecy Transportation	1999	Windows, ASP	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	PC com Windows 2000 ou mais recentes	1 GHz	512 MB	100 MB	10 minutos	n/e	sim	sim	sim	n/e	n/e
ArcLogistics Route	ESRI	1999	Windows	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	PC com Pentium	233 MHz	128 MB	1 GB	n/e	n/e	sim	sim	sim	US\$ 8.995	US\$ 150
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	Optrak Distribution Software	2002	Windows	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	PC com Windows XP	3 GHz	2 GB	60 GB	20 minutos	n/e	sim	sim	sim	n/e	US\$ 1.000 por dia
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	Magellan Ingenierie	2002	Windows	n/e	n/e	n/e	PC com Pentium IV dedicado	n/e	1 GB	5 GB	n/e	n/e	sim	não	não	A partir de US\$ 4.000	n/e
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	Spatial Decisions Support Systems	2003	Web, ASP	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	n/e	n/e	n/e	n/e	1-5 minutos	Meta-heurística Simulated Annealing	sim	não	não	n/e	n/e
StreetSync Desktop	RouteSolutions, Inc.	2005	Windows	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	PC Intel com Windows	1 GHz	512 MB	1 GB	No mínimo 15 minutos	n/e	sim	não	não	US\$ 10.000	US\$ 125 por hora
Roadnet Anywhere	UPS Logistics Technologies	2006	Windows, Web, ASP	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	PC com acesso à Internet	n/e	n/e	n/e	No mínimo 30 segundos	n/e	sim	sim	sim	n/e	n/e
Descartes Routing & Scheduling	The Descartes Systems Group	n/e	Windows	100	10.000	Ilimitado	n/e	n/e	n/e	n/e	Menos de 3 segundos	n/e	sim	sim	sim	n/e	n/e
JOpt.SDK	DNA Evolutions	n/e	Windows, Linux, Unix, Web, ASP	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	PC Intel	2 GHz	4 GB	10 MB	20 minutos	Meta-heurística Algoritmo Genético	sim	não	não	US\$ 6.400	incluído

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*; o ano mencionado é o de lançamento.

Fonte: *OR/MS TODAY (Institute for Operations Research and the Management Sciences)*, 2008.

### 5.3. Sugestão de *softwares* para roteirizar a coleta de óleo residual de fritura

No capítulo anterior, o processo de coleta de óleo residual de fritura foi definido como um problema de roteirização de veículos com pedidos de entrega e coleta simultânea. Por meio da Tabela 4.3 e da Figura 3.2, essa questão foi caracterizada de modo a possibilitar uma análise dos *softwares* computacionais até aqui apresentados. No entanto, não é suficiente o fato dessas ferramentas atenderem apenas às exigências do problema em si. É necessário também estarem aptas a serem processadas nos computadores disponíveis ao usuário. A Tabela 5.2 apresenta uma análise desses dois requisitos com a finalidade de sugerir os *softwares* que atendam a todos os requisitos do processo de coleta e a todos os requisitos computacionais. Uma limitação encontrada para essa análise foi a falta de algumas informações sobre os *softwares* na pesquisa apresentada no item anterior, como o *hardware* recomendado, a velocidade do processador, a memória e o espaço no disco rígido.

Conforme citado no capítulo anterior, o problema de coleta de óleo residual de fritura trata de um terminal (depósito ou central) que precisa recolher resíduos localizados em nós (ou endereços ou grandes geradores ou pontos de coleta) espalhados pela malha urbana. O veículo deve partir do terminal, visitar todos os pontos de fornecimento apenas uma vez e voltar para o mesmo terminal. A quantidade coletada deve ser menor ou igual à capacidade do veículo. Se a quantidade total de resíduo fornecido for maior que essa capacidade pré-estabelecida, há a formação de bolsões (NOVAES, 2004) ou *clusters* de coleta. Assim, para verificar se os *softwares* atendem a essas premissas, foi observado se essas ferramentas efetuam a roteirização em nós, conseqüentemente minimizando a distância total percorrida, e se geralmente são utilizadas por frotas para otimizar processos de coleta local, no requisito relativo ao problema de coleta de óleo residual de fritura da Tabela 5.2.

Verificou-se, então, que todos os *softwares* apresentados são capazes de efetuar a roteirização em nós, satisfazendo às premissas básicas do problema tratado neste estudo. Quanto à utilização das ferramentas por frotas de coleta local, apenas a PTM Pro Online não é empregada para esse fim. Além desses dois requisitos, foram verificados, também, o número de paradas e o número de veículos indicando, respectivamente, a quantidade de nós fornecedores de óleo residual de fritura e a quantidade de veículos disponíveis ou necessários para efetuar a coleta. Para esses dois casos, é desejável que essas

quantidades sejam ilimitadas, pois o tamanho do problema de coleta abordado ainda é desconhecido. Esses dois requisitos inviabilizam o uso de cinco ferramentas, como o Descartes Routing & Scheduling, o Paragon Routing and Scheduling System, o The LogiX Suíte, o TourSolver for MapPoint e o Roadshow.

Quanto aos requisitos computacionais, serão adotados como padrão de *hardware* do usuário os microcomputadores localizados no laboratório de informática do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ. Esses microcomputadores são do modelo C521 da empresa DELL Inc. com processador AMD Athlon 64 3500+ e velocidade de 2.2 GHz. O sistema operacional utilizado é o *Windows XP Professional* versão 2002 com memória RAM de 512 MB e espaço em disco de 80 GB. O estabelecimento desses parâmetros permitiu a comparação com as exigências de *hardware* das ferramentas apresentadas. Se essas exigências, para um bom funcionamento dos *softwares*, estiverem acima do potencial oferecido pelo microcomputador tomado como padrão, a escolha desses *softwares* não será sugerida. Como exemplo, as ferramentas Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling e Stars 5.0 exigem velocidade do processador e memória acima do potencial do microcomputador padrão e, por isso, não serão sugeridas.

Continuando a análise, o *software* ORTEC Routing and Scheduling também não será sugerido por exigir, além da velocidade do processador e memória, um espaço em disco maior que 80 GB. Já as ferramentas Direct Route e JOpt.SDK serão reprovadas por demandar um microcomputador com memória acima de 512 MB. Conforme mencionado, essa análise não pôde ser estendida a todas as ferramentas, pois algumas empresas participantes da pesquisa apresentada no item anterior não revelaram as informações de exigências de *hardware* de seus produtos. Sendo assim, por falta de informação, tais *softwares* também serão descartados, como o DISC, o REACT, o ILOG Dispatcher, o Roadnet Anywhere, o Roadnet Transportation Suíte e o RouteSmart Route Optimization. Um outro requisito, que foi utilizado para verificar se os *softwares* poderiam ser processados em ambiente *Windows XP*, identificou que apenas o PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager, não aceita esse sistema operacional.

**Tabela 5.2:** Requisitos para o uso dos *softwares* de roteirização de veículos.

Produto	Ano	Requisitos do problema de coleta de óleo residual de fritura				Requisitos computacionais			
		Permite roteirização em nós	Usado por frotas de coleta local	Permite número de paradas ilimitado	Permite número de veículos ilimitado	O sistema operacional Windows XP pode ser empregado?	Exige velocidade do processador menor que 2.2 GHz?	Exige memória menor que 512 MB?	Exige espaço no disco menor que 80 GB?
ORTEC Routing and Scheduling	1981	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	não
Roadnet Transportation Suite	1983	sim	sim	sim	sim	sim	n/e	n/e	n/e
TruckStops Routing and Scheduling Software	1984	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
The LogiX Suite	1985	sim	sim	não	não	sim	n/e	não	sim
Roadshow	1985	sim	sim	não	n/e	sim	sim	sim	sim
TransCAD Transportation GIS	1988	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
RouteSmart Route Optimization	1989	sim	sim	sim	sim	sim	n/e	sim	sim
DISC	1990	sim	sim	sim	sim	sim	n/e	n/e	n/e
REACT	1990	sim	sim	sim	sim	sim	n/e	n/e	n/e
STARS 5.0	1995	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	sim
Direct Route	1996	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim
ILOG Dispatcher	1997	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	n/e
Paragon Routing and Scheduling System	1997	sim	sim	não	não	sim	não	sim	sim
Prophesy Total Transportation System	1999	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
ArcLogistics Route	1999	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	2002	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	sim
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	2002	sim	sim	não	não	sim	n/e	não	sim
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	2003	sim	não	sim	sim	não	n/e	n/e	n/e
StreetSync Desktop	2005	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Roadnet Anywhere	2006	sim	sim	sim	sim	sim	n/e	n/e	n/e
Descartes Routing & Scheduling	n/e	sim	sim	não	não	sim	n/e	n/e	n/e
JOpt.SDK	n/e	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim

Fonte: elaboração própria. Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*; o ano mencionado é o de lançamento.

Por fim, como resultado da análise, cinco produtos da Tabela 5.2 atendem aos requisitos necessários para efetuar a roteirização do processo de coleta de óleo residual de fritura. São eles, o Prophesy Total Transportation System, o StreetSync Desktop, o TruckStops Routing and Scheduling Software, o ArcLogistics Route e o TransCAD Transportation GIS. Entretanto, dessas cinco ferramentas, apenas as três últimas serão recomendadas por serem, segundo MELO (2001), sistemas disponíveis comercialmente no mercado nacional. Esses três produtos também foram citados por VECCHINI (2006) como principais roteirizadores encontrados no mercado. Conforme mostrado na Tabela 5.1, os preços desses *softwares* são \$9.500 para o TruckStops, \$8.995 para o ArcLogistics e \$9.995 para o TransCAD, o que indica uma paridade de preços em função das tarefas que executam.

#### **5.4. Benefícios dos *softwares* de roteirização de veículos**

Em sua dissertação de mestrado, PELIZARO (2000) utilizou dois *softwares*, o *Delivery* e o TransCAD, para solucionar os mesmos problemas teste. O intuito foi o de realizar uma comparação entre os desempenhos desses dois *softwares*. Para isso, foram analisados o esforço computacional para obter tais soluções, a qualidade das soluções e a robustez medida pela habilidade das heurísticas em executar bem uma grande variedade de problemas teste. Como resultado da análise, dos 51 problemas testados com características distintas, em apenas três deles o *software* Delivery apresentou melhor desempenho que o *software* TransCAD. Nesse estudo, concluiu-se também, com um nível de significância de 2%, que a heurística do *software* TransCAD obteve uma performance melhor que a heurística do *software* Delivery. Ainda segundo PELIZARO (2000), o *software* TransCAD demonstrou ser uma ferramenta bastante robusta apresentando, para todas as classes de problemas testados, soluções que desviam em aproximadamente 20% acima da média das melhores soluções encontradas na literatura revisada.

Outro estudo que empregou o *software* TransCAD como ferramenta de otimização foi o desenvolvido por BRASILEIRO e AGUIAR (2001). Nesse trabalho, o objetivo dos autores foi o de efetuar a otimização do processo de coleta de resíduos provenientes do serviço de saúde oferecido na cidade de Ilha Solteira no estado de São Paulo. O processo empírico foi substituído pelo processo planejado no *software* TransCAD. Como resultados dessa mudança, o município atingiu uma economia de

aproximadamente 22% na distância percorrida e 15% no tempo de coleta. Ainda segundo os autores, essa economia foi significativa em termos de custo de operação para esse tipo de serviço. Esse fato reforça os benefícios da aplicação de *softwares* computacionais em várias áreas de atuação. No ponto de vista empresarial de GUIMARÃES e PACHECO (2005), os *softwares* roteirizadores desempenham um papel importante na cadeia de suprimentos, não apenas reduzindo substancialmente os custos, mas permitindo a realização de análises e de simulações de estratégias de coleta.

A importância das ferramentas de roteirização tem incentivado o desenvolvimento de novos *softwares*. TOIGO *et al.* (2007), por exemplo, criou o chamado SISROTEN (Sistema de Roteirização de Entregas). Esse sistema foi baseado na heurística de Clarke and Wright e nos métodos de melhoria n-opt e vem trazendo benefícios para as empresas transportadoras. Já as empresas que possuem seus *softwares* no mercado buscam o aperfeiçoamento contínuo de acordo com as necessidades de seus clientes. HALL e PARTYKA (2008) lembram o exemplo da empresa que produz o *software* Paragon Routing. Seu objetivo foi o de atender a inúmeros clientes preocupados com as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de suas operações. Um de seus clientes conseguiu uma economia de mais de 4 milhões de quilômetros por ano, representando 3.700 toneladas de CO<sub>2</sub> que deixaram de ser emitidas ao meio ambiente.

Não importa se o motivo é ambiental, econômico ou operacional. O fato é que o emprego dos *softwares* de roteirização de veículos pode trazer benefícios. E isso será conferido na próxima etapa deste estudo. Sendo assim, o objetivo do próximo capítulo é utilizar uma das três ferramentas de roteirização definidas neste capítulo para otimizar um processo de coleta de óleo residual de fritura na prática. Esse processo, efetuado de forma empírica, será planejado com o auxílio da ferramenta computacional, com a finalidade de medição dos ganhos com a nova metodologia. Também será revelado o custo do transporte de coleta de óleo residual de fritura para esse caso específico, com o intuito de medir esse impacto no custo total do biodiesel, conforme mencionado no Capítulo 2.

## **6. ANÁLISE QUANTITATIVA DO CASO – CENTRAL ALFA DE COLETA**

No capítulo anterior, cinco ferramentas de roteirização foram sugeridas para otimizar a logística de coleta de um modelo apresentado no Capítulo 3 e caracterizado no Capítulo 4. Neste capítulo, um caso prático que adere ao modelo apresentado, com as mesmas características, será abordado e analisado quantitativamente de acordo com os dados registrados durante um processo de observação. Assim sendo, cinco coletas foram acompanhadas e os dados de tempo e de distância percorrida foram analisados.

Como objetivos desta etapa, têm-se a comparação entre duas opções para o produtor de biodiesel: coletar o óleo residual de fritura ou comprar o mesmo resíduo no mercado com o frete incluído; a investigação do benefício de um *software* de roteirização quanto à redução do custo logístico; a definição do impacto da coleta do óleo residual de fritura no preço total do biodiesel; a apresentação e a comparação entre os tempos reais e teóricos e a observação da grandeza dos tempos de serviço.

### **6.1. Um caso envolvendo a coleta de óleo residual de fritura**

O caso que será abordado neste e no próximo capítulo trata de um programa de coleta de óleo residual de fritura apoiado por uma entidade governamental. Esse programa é composto por cooperativas de catadores localizadas na região metropolitana do Rio de Janeiro. A existência desse programa de coleta visa a favorecer três diferentes setores.

O primeiro setor é o ambiental, com a criação de um novo destino para o óleo, antes descartado na rede de esgoto. Essa prática, além de poluir os rios e os mares, onera o tratamento de água. Já o segundo setor trata do aspecto social com a geração de renda em comunidades sem oportunidade de trabalho. Por sua vez, o último setor favorecido é o energético, com a produção do biodiesel, um biocombustível potencialmente menos poluente que o óleo diesel de petróleo.

Quanto à gestão do programa, a associação de cooperativas elegeu um corpo administrativo. Fazem parte dessa equipe, um presidente, um vice-presidente, uma secretária e um tesoureiro. A principal função dessa equipe é controlar e registrar as operações do programa que incluem os processos de contas a pagar e a receber, de vendas e, o principal, de coleta de óleo residual de fritura.

Além da venda do óleo proveniente das cooperativas, também é realizada a venda do óleo proveniente dos grandes geradores. Cada cooperativa que contribui com um volume de óleo para uma determinada venda recebe seu pagamento referente a esse volume. Já o capital conquistado pela venda do óleo coletado nos grandes geradores é voltado para pagar as despesas do programa. O que sobra é rateado entre todas as cooperativas associadas.

Neste estudo, optou-se por não revelar o nome dessa associação que se encontra em um período de crescimento e de padronização de suas práticas. Neste sentido, como a principal função da equipe eleita pela associação de cooperativas é efetuar a coleta do óleo residual de fritura, a sede e o programa serão chamados de central Alfa de coleta.

O processo utilizado para o desenvolvimento do estudo de caso foi o de observação das práticas da central Alfa. Isso inclui a participação nas reuniões semanais com todas as cooperativas associadas, bem como do planejamento e da execução da coleta realizada nas próprias cooperativas e nos grandes geradores. Assim sendo, cinco coletas foram acompanhadas e registradas quanto aos pontos visitados, aos tempos de viagem, aos tempos de alocação da carga no veículo e às distâncias percorridas.

## **6.2. Roteirização de cinco coletas realizadas pela central Alfa**

No capítulo 4, ficou definido que o objetivo do problema que este estudo trata é a minimização da distância percorrida. Durante a observação realizada no acompanhamento de cinco coletas da central Alfa, foi possível registrar as distâncias reais percorridas entre todos os pontos visitados, conforme Tabela 6.1.

Já o capítulo 5 ajudou a definir as ferramentas computacionais mais adequadas para efetuar o processo de roteirização caracterizado como de pedidos de coleta e entrega simultânea com janelas de tempo. Cinco ferramentas foram sugeridas, dentre elas, o TransCAD Transportation GIS. Essa ferramenta será a utilizada neste estudo por estar disponível no Programa de Engenharia de Transportes (PET) da COPPE/UFRJ.

**Tabela 6.1:** Dados de distância percorrida (km) de cinco coletas da central Alfa.

Coletas	Dados extraídos por observação					Roteirização TransCAD				
	Paradas	Doador	Bairro	Arcos	Real	Transcad <sup>(1)</sup>	Paradas	Doador	Arcos	Transcad <sup>(2)</sup>
1ª	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	P0 - P1	11,0	4,3	P0	Central ALFA	P0 - P1	4,3
	P1	Restaurante	Bonsucesso (RJ)	P1 - P2	11,0	8,3	P1	Restaurante	P1 - P6	8,5
	P2	Cooperativa	Engenho da Rainha (RJ)	P2 - P3	7,0	5,0	P6	Escola	P6 - P4	5,6
	P3	Bar	Complexo do Alemão (RJ)	P3 - P4	3,0	2,0	P4	Condomínio	P4 - P5	7,6
	P4	Condomínio	Del Castilho (RJ)	P4 - P5	18,0	7,6	P5	Escola	P5 - P2	5,6
	P5	Escola	Quintino Bocaiúva (RJ)	P5 - P6	20,0	17,2	P2	Cooperativa	P2 - P3	5,0
	P6	Escola	Caju (RJ)	P6 - P0	8,0	7,2	P3	Bar	P3 - P0	6,4
<b>Total coleta (1)</b>				-	<b>78,0</b>	<b>51,5</b>	-	-	-	<b>43,0</b>
2ª	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	P0 - P1	23,0	12,9	P0	Central ALFA	P0 - P1	12,9
	P1	Condomínio	Irajá (RJ)	P1 - P2	11,0	9,0	P1	Condomínio	P1 - P2	9,0
	P2	Cooperativa	Engenho da Rainha (RJ)	P2 - P3	11,0	4,6	P2	Cooperativa	P2 - P3	4,6
	P3	Cooperativa	Piedade (RJ)	P3 - P4	7,0	6,0	P3	Cooperativa	P3 - P4	6,0
	P4	Casa	Engenho Novo (RJ)	P4 - P5	3,0	0,8	P4	Casa	P4 - P5	0,8
	P5	Condomínio	Engenho Novo (RJ)	P5 - P6	9,0	7,8	P5	Condomínio	P5 - P6	7,8
	P6	Cooperativa	Tijuca (RJ)	P6 - P0	14,0	13,2	P6	Cooperativa	P6 - P0	13,2
<b>Total coleta (2)</b>				-	<b>78,0</b>	<b>54,2</b>	-	-	-	<b>54,2</b>
3ª	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	P0 - P1	12,0	9,6	P0	Central ALFA	P0 - P1	9,6
	P1	Restaurante	Vila da Penha (RJ)	P1 - P2	5,0	5,0	P1	Restaurante	P1 - P2	5,0
	P2	Condomínio	Irajá (RJ)	P2 - P3	9,0	4,2	P2	Condomínio	P2 - P3	4,2
	P3	Cooperativa	Irajá (RJ)	P3 - P4	11,0	9,2	P3	Cooperativa	P3 - P4	9,2
	P4	Igreja	Piedade (RJ)	P4 - P5	2,0	1,7	P4	Igreja	P4 - P5	1,7
	P5	Clube	Engenho de Dentro (RJ)	P5 - P6	3,0	3,5	P5	Clube	P5 - P6	3,5
	P6	Cozinha ind.	Engenho Novo (RJ)	P6 - P7	10,0	8,0	P6	Cozinha ind.	P6 - P7	8,0
P7	Apartamento	Rio Comprido (RJ)	P7 - P0	12,0	11,0	P7	Apartamento	P7 - P0	11,0	
<b>Total coleta (3)</b>				-	<b>64,0</b>	<b>52,2</b>	-	-	-	<b>52,2</b>
4ª	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	P0 - P1	11,0	9,1	P0	Central ALFA	P0 - P1	9,1
	P1	Cooperativa	Brás de Pina (RJ)	P1 - P2	7,0	5,8	P1	Cooperativa	P1 - P2	5,8
	P2	Cooperativa	Engenho da Rainha (RJ)	P2 - P3	10,0	5,0	P2	Cooperativa	P2 - P3	5,0
	P3	Bar	Complexo do Alemão (RJ)	P3 - P4	6,0	5,0	P3	Bar	P3 - P4	5,0
	P4	Cooperativa	Maria da Graça (RJ)	P4 - P5	8,0	5,8	P4	Cooperativa	P4 - P6	5,3
	P5	Condomínio	Andaraí (RJ)	P5 - P6	5,0	2,1	P6	Vila	P6 - P5	2,1
	P6	Vila	Vila Isabel (RJ)	P6 - P7	16,0	12,2	P5	Condomínio	P5 - P7	11,7
	P7	Cozinha ind.	Botafogo (RJ)	P7 - P8	2,0	1,4	P7	Cozinha ind.	P7 - P8	1,4
	P8	Buffet	Botafogo (RJ)	P8 - P9	7,0	4,1	P8	Buffet	P8 - P9	4,1
P9	Condomínio	Flamengo (RJ)	P9 - P0	23,0	16,1	P9	Condomínio	P9 - P0	16,1	
<b>Total coleta (4)</b>				-	<b>95,0</b>	<b>66,6</b>	-	-	-	<b>65,6</b>
5ª	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	P0 - P1	19,0	14,8	P0	Central ALFA	P0 - P4	7,5
	P1	Cooperativa	Tijuca (RJ)	P1 - P2	13,0	10,8	P4	Cooperativa	P4 - P5	8,8
	P2	Cooperativa	Piedade (RJ)	P2 - P3	10,0	6,3	P5	Cooperativa	P5 - P1	24,6
	P3	Cooperativa	Inhaúma (RJ)	P3 - P4	14,0	9,8	P1	Cooperativa	P1 - P2	10,8
	P4	Cooperativa	Penha Circular (RJ)	P4 - P5	9,0	8,8	P2	Cooperativa	P2 - P3	6,3
P5	Cooperativa	Jardim Gramacho (DC)	P5 - P0	49,0	13,9	P3	Cooperativa	P3 - P0	6,1	
<b>Total coleta (5)</b>				-	<b>114,0</b>	<b>64,3</b>	-	-	-	<b>64,0</b>
<b>Total Geral (cinco coletas)</b>				-	<b>429,0</b>	<b>288,9</b>	-	-	-	<b>278,9</b>

Obs.: <sup>(1)</sup> Dados do TransCAD seguindo o roteiro real observado na coleta.

<sup>(2)</sup> Dados do TransCAD seguindo o roteiro determinado por ele.

(-) não se aplica.

DC: Duque de Caxias.

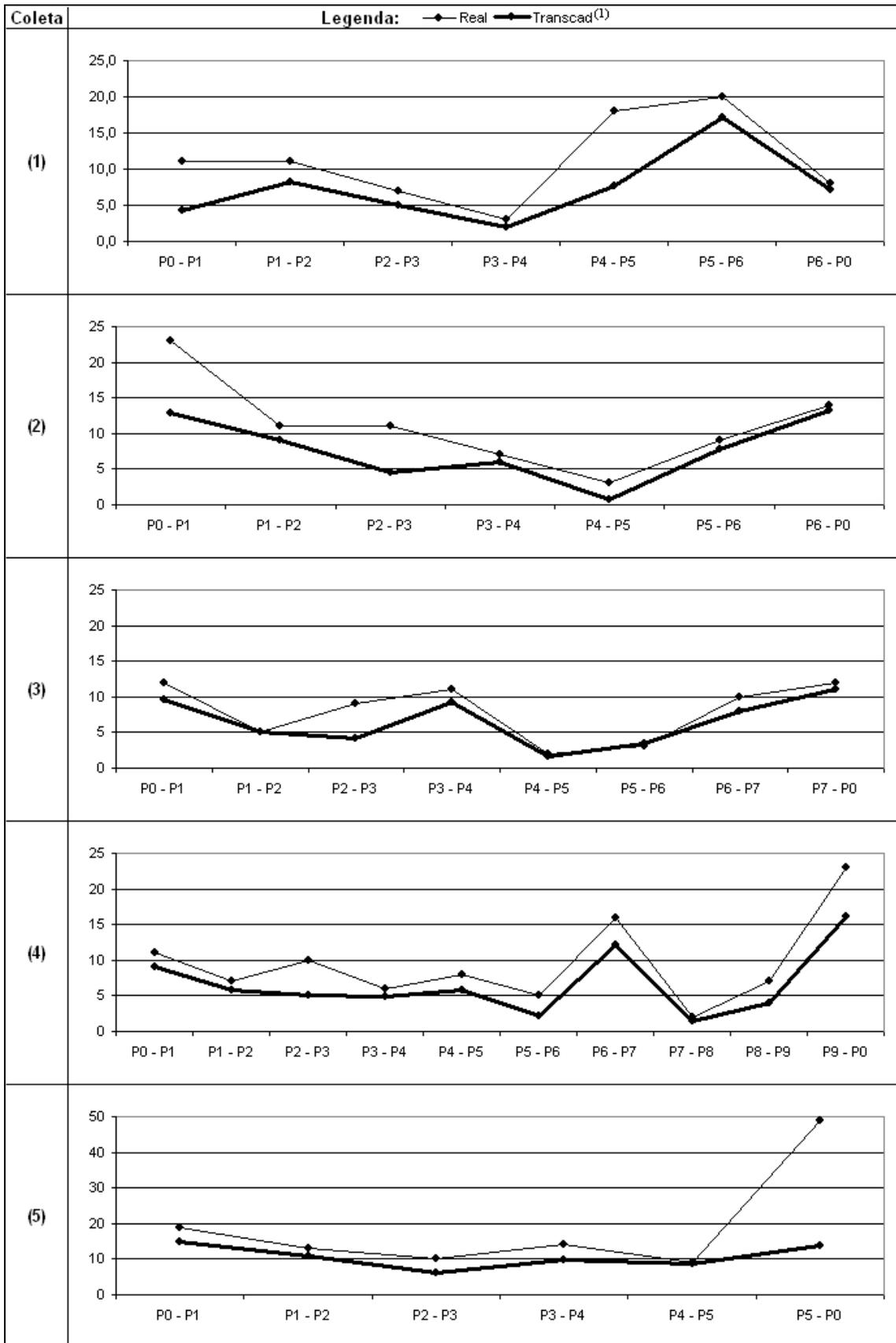
Cozinha ind.: cozinha industrial.

Fonte: elaboração própria.

Após a coleta e o registro dos dados reais, as informações de localização dos pontos, de demanda e de tempo de serviço serviram de entrada para que o *software* TransCAD Transportation GIS realizasse a roteirização segundo uma base de vias da região metropolitana do Rio de Janeiro (os desenhos das cinco rotas fornecidas pelo TransCAD são apresentados no Anexo 7). O objetivo primeiro foi a comparação do processo real (prático) com o processo planejado pela ferramenta (teórico), conforme Figura 6.1.

Em todos os gráficos apresentados na Figura 6.1, pode-se notar a oportunidade de redução da distância percorrida. Na realização de todo o roteiro da primeira coleta, por exemplo, o motorista percorreu 78,0 quilômetros. Segundo o TransCAD<sup>(1)</sup>, para a mesma seqüência, essa distância poderia ter sido apenas 51,5 quilômetros (redução de 34%). E mais, o TransCAD<sup>(2)</sup> reprova a seqüência realizada e apresenta a que seria ideal, com uma distância percorrida ainda menor de 43,0 quilômetros (redução de 45%).

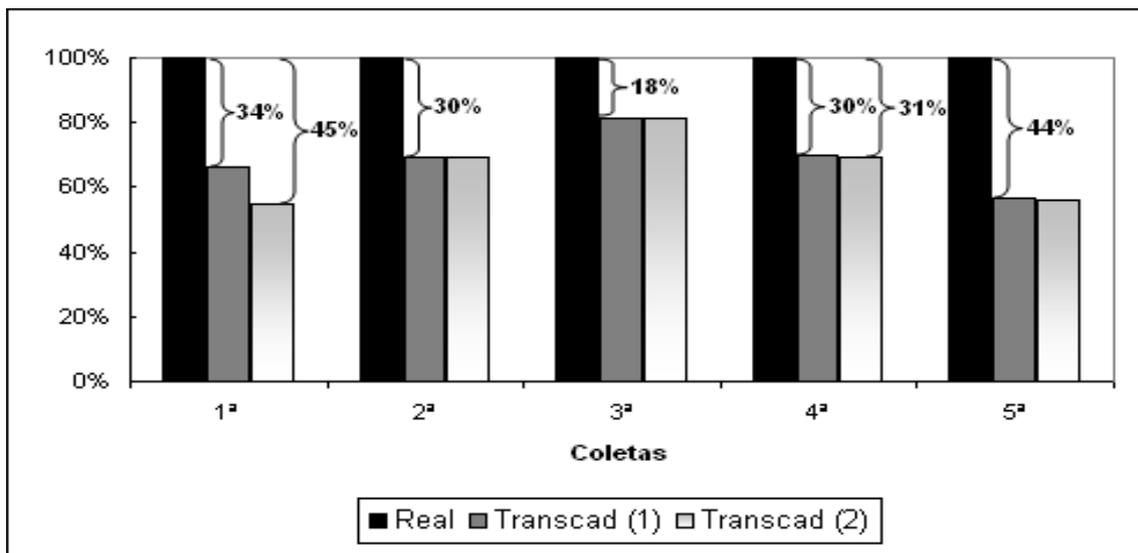
Na prática, tais reduções observadas não aconteceram, por motivos como a inexperiência do motorista, a definição de roteiros de forma empírica e/ou a mudança do plano durante o trajeto. Essa última razão pôde ser ilustrada no gráfico (5) da Figura 6.1. No plano, após a visita do ponto P5, o motorista deveria retornar para a central. No entanto, decidiu desviar da rota para resolver problemas pessoais e, somente após isso, voltou para o ponto de partida.



Fonte: elaboração própria.

**Figura 6.1:** Gráficos de comparação entre a distância real e a obtida pelo TransCAD<sup>(1)</sup>.

A Figura 6.2 apresenta um gráfico de barras com as distâncias reais totais percorridas durante a realização das cinco coletas observadas (parâmetro equivalente a 100%). As distâncias otimizadas obtidas pelo TransCAD<sup>(1)</sup> e pelo TransCAD<sup>(2)</sup> (em porcentagem) também são apresentadas. Pode-se observar, por meio dessa figura, os potenciais de redução das distâncias percorridas com o emprego do TransCAD como ferramenta de roteirização.



Fonte: elaboração própria.

**Figura 6.2:** Gráficos de barras com a indicação das reduções na distância percorrida alcançadas com o emprego do TransCAD<sup>(1)</sup> e do TransCAD<sup>(2)</sup>.

### 6.3. Características dos veículos que efetuaram as cinco coletas observadas

O veículo que efetuou a primeira coleta foi uma caminhonete com o ano de fabricação em 1981. Este possuía alguns problemas, como a falta do cinto de segurança e uma falha no sistema de freio. Mesmo sem condições de trafegar, o veículo foi utilizado por ser a única opção para efetuar o transporte.

Na segunda coleta, um membro de uma cooperativa disponibilizou seu veículo do tipo caminhonete, modelo Saveiro e ano de fabricação em 1998. Esse veículo possuía condições ideais para trafegar, mas sua capacidade foi insuficiente para atender à demanda referente ao dia em que o processo foi observado.

Para a realização das três últimas coletas observadas, a central Alfa utilizou dois veículos fornecidos por uma entidade governamental. Estes são furgões da marca Renault, conforme Figura 6.3, movidos a óleo diesel, com ano de fabricação em 2008 e condições ideais para trafegar.



**Figura 6.3:** Imagens de um dos veículos da central Alfa estacionado em frente a um ponto de coleta (restaurante na Vila da Penha).

Os furgões da marca Renault são novos (com menos de 1.000 km rodados). Entretanto, devido à indisponibilidade de dados de campo desses veículos, optou-se por utilizar como referência o furgão do tipo carroceria teto alto da marca Mercedes-Benz Sprinter 313 – 2.2 com 2.000 quilômetros rodados, por ser o que melhor se assemelha com o veículo utilizado nas últimas três coletas.

Após essa definição, pode-se apresentar a composição de custos desse veículo, conforme Tabela 6.2. O custo total mensal igual a 2,6850 R\$/km será utilizado no próximo item, na Tabela 6.3, para encontrar o custo total de cada coleta a partir das distâncias reais registradas e das distâncias fornecidas pelo TransCAD.

**Tabela 6.2:** Custo operacional do veículo Mercedes-Benz Sprinter 313 – 2.2.

Custo	Itens	2.000 km rodados		10.000 km rodados	
		Valor (R\$/km)	Participação	Valor (R\$/km)	Participação
Fixo	Depreciação operacional	0,2565	9,6%	0,0513	5,7%
	Remuneração do capital	0,3665	13,7%	0,0733	8,1%
	Salário do motorista	0,7625	28,4%	0,1525	16,9%
	Salário do ajudante	0,3813	14,2%	0,0763	8,4%
	Licenciamento e seguro obrigatório	0,0815	3,0%	0,0163	1,8%
	Seguro facultativo	0,181	6,7%	0,0362	4,0%
	Despesas administrativas	0,197	7,3%	0,0394	4,4%
<b>Subtotal custos fixos</b>		<b>2,2263</b>	<b>82,9%</b>	<b>0,4453</b>	<b>49,3%</b>
Variável	Combustível	0,2875	10,7%	0,2875	31,8%
	Pneus, câmaras e recapagens	0,0397	1,5%	0,0397	4,4%
	Manutenção (peças e mão-de-obra)	0,0781	2,9%	0,0781	8,6%
	Lubrificante do motor	0,0128	0,5%	0,0128	1,4%
	Lubrificante da transmissão	0,0006	0,0%	0,0006	0,1%
	Lavagem e lubrificação	0,0400	1,5%	0,0400	4,4%
<b>Subtotal custos variáveis</b>		<b>0,4587</b>	<b>17,1%</b>	<b>0,4587</b>	<b>50,7%</b>
<b>Custo total</b>		<b>2,6850</b>	<b>100%</b>	<b>0,9040</b>	<b>100%</b>

Fonte: TRANSPORTE MODERNO, 2008.

Para efetuar uma comparação, a Tabela 6.2 apresenta ainda os custos para 10.000 quilômetros rodados. Pode-se observar que, para 2.000 quilômetros rodados, os custos fixos são os mais representativos (82,9% do total). Com 10.000 quilômetros rodados, os custos fixos têm um impacto menor igual a 49,3% (TRANSPORTE MODERNO, 2008). Esse fato justifica a preocupação da central em não deixar o veículo parado para “diluir” os custos fixos com o aumento da quilometragem percorrida. No caso dos custos variáveis, o de maior impacto no custo total é aquele com o combustível representando 31,8% (TRANSPORTE MODERNO, 2008). Esse fato justifica o esforço da central Alfa em reduzir a distância percorrida nas coletas para, assim, reduzir o consumo de combustível.

#### 6.4. Os custos incorridos nas cinco coletas observadas da central Alfa

Na Tabela 6.3, as distâncias totais reais percorridas pelo veículo da central são apresentadas resumidamente. As distâncias obtidas por meio do TransCAD, que correspondem às distâncias ideais, também são apresentadas, tanto no caso da rota real quanto da rota planejada pelo *software*. Com essas distâncias (km) e com o custo total obtido por meio da Tabela 6.2 igual a R\$ 2,6850 por quilômetro, foi possível calcular o custo de cada coleta. A obtenção das distâncias encontradas por meio do TransCAD e a comparação com as distâncias reais indicam que o processo de coleta incorreu em perdas. Isso pode ser melhor visualizado por meio da Figura 6.4.

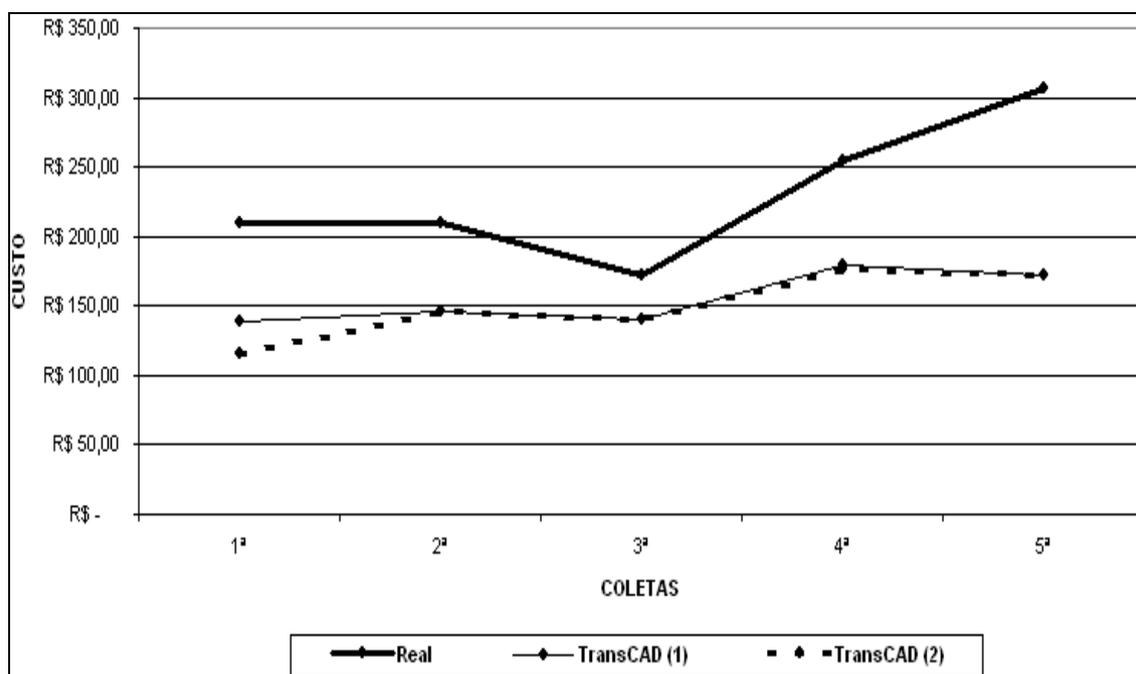
**Tabela 6.3:** Custos e perdas no processo de coleta da central Alfa.

Coletas	Percorrido (km)			Custo (R\$)		
	Real	Transcad <sup>(1)</sup>	Transcad <sup>(2)</sup>	Real	Transcad <sup>(1)</sup>	Transcad <sup>(2)</sup>
1ª	78,0	51,5	43,0	R\$ 209,43	R\$ 138,38	R\$ 115,40
2ª	78,0	54,2	54,2	R\$ 209,43	R\$ 145,61	R\$ 145,61
3ª	64,0	52,2	52,2	R\$ 171,84	R\$ 140,08	R\$ 140,08
4ª	95,0	66,6	65,6	R\$ 255,08	R\$ 178,90	R\$ 176,08
5ª	114,0	64,3	64,0	R\$ 306,09	R\$ 172,67	R\$ 171,79
<b>Total</b>	<b>429,0</b>	<b>288,9</b>	<b>278,9</b>	<b>R\$ 1.151,87</b>	<b>R\$ 775,64</b>	<b>R\$ 748,95</b>
<b>Média</b>	<b>85,8</b>	<b>57,8</b>	<b>55,8</b>	<b>R\$ 230,37</b>	<b>R\$ 155,13</b>	<b>R\$ 149,79</b>
Coletas	Perda (%)		Volume de coleta (l)	Custo (R\$/l)		
	Transcad <sup>(1)</sup>	Transcad <sup>(2)</sup>		Real	Transcad <sup>(1)</sup>	Transcad <sup>(2)</sup>
1ª	34%	45%	285	R\$ 0,73	R\$ 0,49	R\$ 0,40
2ª	30%	30%	885	R\$ 0,24	R\$ 0,16	R\$ 0,16
3ª	18%	18%	190	R\$ 0,90	R\$ 0,74	R\$ 0,74
4ª	30%	31%	405	R\$ 0,63	R\$ 0,44	R\$ 0,43
5ª	44%	44%	350	R\$ 0,87	R\$ 0,49	R\$ 0,49
<b>Média</b>	<b>31%</b>	<b>34%</b>	<b>423</b>	<b>R\$ 0,68</b>	<b>R\$ 0,46</b>	<b>R\$ 0,45</b>

Obs.: <sup>(1)</sup> Dados do TransCAD seguindo o roteiro real observado na coleta.

<sup>(2)</sup> Dados do TransCAD seguindo o roteiro determinado por ele.

Fonte: elaboração própria.



Fonte: elaboração própria.

**Figura 6.4:** Custo das coletas observadas – central Alfa.

Na análise em que o roteiro do TransCAD<sup>(1)</sup> segue a mesma seqüência do roteiro real, a perda média foi de 31%. Em todas as cinco coletas acompanhadas houve perdas,

indicando que a distância percorrida entre os pontos não foi a mínima. Como a roteirização real não seguiu a indicada pelo TransCAD<sup>(2)</sup>, a perda média é ainda maior, correspondendo a 34%. Essa análise aponta os benefícios de um *software* de roteirização para alcançar o objetivo de minimização da distância percorrida.

A economia obtida com o emprego dessa ferramenta, levando-se em conta todas as rotas, seria a de R\$ 402,91. Considerando que o custo médio das cinco rotas programadas pelo TransCAD<sup>(2)</sup> foi o de R\$ 149,79, essa economia (R\$ 402,91) seria capaz de pagar o custo de quase três rotas. Assim sendo, pode-se reconhecer que as perdas incorridas nas cinco coletas foram expressivas.

A Tabela 6.3 também apresenta o custo de cada coleta por litro. O volume mencionado é o planejado e não o que realmente foi recolhido. Vários foram os problemas que impediram a coleta em determinados pontos, contudo isso será abordado com mais detalhes no próximo capítulo. A média dos custos por litro das cinco coletas observadas foi R\$ 0,68. Se as rotas fossem programadas pelo TransCAD<sup>(2)</sup> e executadas conforme o programa, a média dos custos seria R\$ 0,45.

Após a visualização da prática, é possível definir duas opções para a fábrica de biodiesel: (1) comprar e coletar o óleo residual de fritura ou apenas (2) comprar o óleo com o frete incluído. O preço máximo do resíduo encontrado foi o de R\$ 1,00 por litro, conforme Tabela 2.5. Esse preço é o relativo à opção (2), isto é, a fábrica de biodiesel paga R\$ 1,00 pelo litro do resíduo e o recebe em sua planta de produção.

Na opção (1), que trata do caso abordado neste estudo, o resíduo é coletado a um determinado custo, R\$ 0,68 ou R\$ 0,45 (otimizado e 34% menor) por litro, e o preço é igual a zero. Analisando-se as duas opções do ponto de vista da fábrica de biodiesel, pode-se concluir que a opção (1) é a mais viável. Mesmo se o resíduo não fosse doado e fosse vendido a um preço abaixo da diferença entre o preço de mercado da opção (2) e o custo da coleta por litro, seria viável a escolha pela opção (1).

No capítulo 2, estimou-se que o óleo residual de fritura teria um impacto de apenas 14% no custo total do biodiesel, com preço médio encontrado no mercado de R\$ 0,50 por litro. Esse fato ressaltou o potencial desse resíduo para a redução do custo total do

biodiesel frente às outras matérias-primas cultiváveis e extrativas. No entanto, é necessário observar, também, o custo para coletar esse resíduo, pois este encontra-se disperso na malha urbana.

Neste contexto, a questão apresentada tratou da definição do impacto do transporte de coleta do óleo residual de fritura no custo total do biodiesel. Para esse cálculo serão considerados: o preço médio de compra desse biocombustível igual a R\$ 1,75 por litro, segundo o terceiro e o quarto leilões da ANP ocorridos em 2006, e os custos de coleta por litro iguais a R\$ 0,68 (real) e R\$ 0,45 (otimizado).

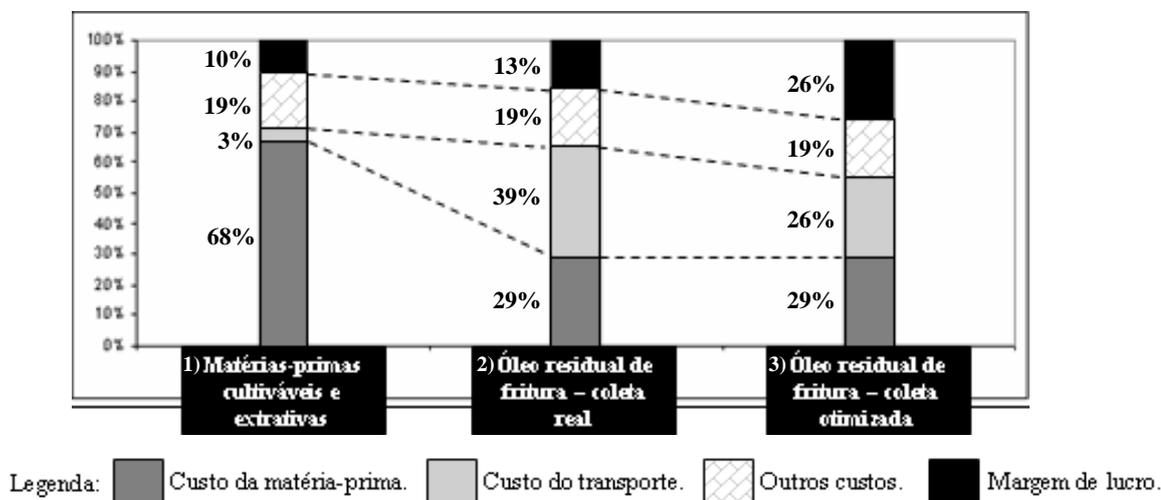
Se R\$ 1,75 por litro (preço médio do biodiesel) corresponde a 100%, o custo de coleta igual a R\$ 0,68 por litro (real) equivale a 39%. Considerando o preço do óleo residual de fritura igual a R\$ 0,50 por litro, este impacta em 29%. As participações do óleo residual de fritura (29%) e do transporte desse resíduo (39%) no preço do biodiesel somam um total de 68%.

Seguindo o mesmo raciocínio, pode-se calcular o impacto do custo de coleta otimizado obtido por meio do TransCAD igual a R\$ 0,45 por litro. Se R\$ 1,75 por litro corresponde a 100%, o custo de coleta igual a R\$ 0,45 por litro (otimizado) equivale a 26%. Assim sendo, a participação total do custo do resíduo (29%) e do custo de coleta (26%) no preço total do biodiesel corresponde a 55%.

No caso das matérias-primas cultiváveis e extrativas, segundo o Capítulo 2, essas participações foram 68% (óleo virgem) e 3% (transporte), resultando em um total de 71%. Esta pode ser definida como opção (1) em que o biodiesel é produzido a partir do óleo virgem. A opção (2) trata do biodiesel produzido a partir do óleo residual de fritura com coleta real (não otimizada). Na opção (3), a coleta do resíduo para a produção do biodiesel é otimizada.

Por meio da Figura 6.5, é possível visualizar melhor essas três opções. Analisando-se as duas primeiras, pode-se observar que o custo da coleta real é significativo, mas não inviabiliza a produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura. Nesse caso, o lucro aumenta de 10% para 13%. Já a análise das duas últimas opções revela a importância do emprego do *software* de roteirização que conseguiu, no caso estudado,

reduzir a participação do resíduo mais o transporte de 68% para 55%<sup>8</sup> (dobrando o lucro de 13% para 26%).



Obs.: outros custos: compra de insumos (álcool e catalisador), custos de produção de biodiesel (energia e mão-de-obra) e custos com impostos.

Fonte: elaboração própria.

**Figura 6.5:** Distribuição percentual do custo do biodiesel.

Ao se observar as opções (1) e (3), é possível notar a vantagem em se produzir o biodiesel a partir do óleo residual de fritura obtido por meio de coleta otimizada comparativamente com as matérias-primas cultiváveis e extrativas. O lucro quase triplica, saltando de 10% (opção 1) para 26% (opção 3).

### 6.5. Tempos de viagem nas cinco coletas da central Alfa

Embora não faça parte do objetivo proposto neste estudo, tratar da otimização da distância percorrida, faz-se necessário e é importante apresentar os tempos de viagem e de serviço observados durante o acompanhamento das cinco coletas da central Alfa. Durante o trajeto, o horário de saída de um ponto de coleta e o horário de chegada em outro foram registrados. Com esses dados, foi possível calcular os tempos de viagem e de serviço, conforme Tabela 6.4.

<sup>8</sup> A diferença desses valores iguais a 33% (100% menos 67%) e a 45% (100% menos 55%) correspondem à margem de lucro; à compra de insumos, como álcool e catalisador; à custos de produção de biodiesel, como energia e mão-de-obra e à custos com impostos.

**Tabela 6.4:** Tempos de viagem obtidos por observação e por meio do TransCAD.

Coleta	Tempos registrados durante o trajeto								Roteirização <i>TransCAD</i>					
	Paradas	Doador	Bairro	Chegada	Saída	Serviço	Arcos	Viagem	Paradas	Chegada	Saída	Serviço	Arcos	Viagem
1ª	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	-	11:35	-	P0 - P1	0:24	P0	-	8:00	-	P0 - P1	0:04
	P1	Restaurante	Bonsucesso (RJ)	11:59	12:06	0:07	P1 - P2	0:34	P1	8:04	8:11	0:07	P1 - P6	0:09
	P2	Cooperativa	Engenho da Rainha (RJ)	12:40	13:05	0:25	P2 - P3	0:30	P6	8:20	8:30	0:10	P6 - P4	0:05
	P3	Bar	Complexo do Alemão (RJ)	13:35	13:50	0:15	P3 - P4	0:25	P4	8:35	8:42	0:07	P4 - P5	0:08
	P4	Condomínio	Del Castilho (RJ)	14:15	14:22	0:07	P4 - P5	1:03	P5	8:50	9:45	0:55	P5 - P2	0:06
	P5	Escola	Quintino Bocaiúva (RJ)	15:25	16:20	0:55	P5 - P6	0:50	P2	9:51	10:16	0:25	P2 - P3	0:05
	P6	Escola	Caju (RJ)	17:10	17:20	0:10	P6 - P0	0:15	P3	10:21	10:36	0:15	P3 - P0	0:06
	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	17:35	-	-	-	-	P0	10:42	-	-	-	-
<b>Total coleta (1)</b>						<b>1:59</b>	<b>-</b>	<b>4:01</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1:59</b>	<b>-</b>	<b>0:43</b>
2ª	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	-	10:22	-	P0 - P1	0:40	P0	-	8:00	-	P0 - P1	0:13
	P1	Condomínio	Irajá (RJ)	11:02	11:19	0:17	P1 - P2	0:30	P1	8:13	8:30	0:17	P1 - P2	0:09
	P2	Cooperativa	Engenho da Rainha (RJ)	11:49	12:03	0:14	P2 - P3	0:33	P2	8:39	8:53	0:14	P2 - P3	0:05
	P3	Cooperativa	Piedade (RJ)	12:36	13:37	1:01	P3 - P4	0:28	P3	8:58	9:59	1:01	P3 - P4	0:05
	P4	Casa	Engenho Novo (RJ)	14:05	14:19	0:14	P4 - P5	0:19	P4	10:04	10:18	0:14	P4 - P5	0:01
	P5	Condomínio	Engenho Novo (RJ)	14:38	14:59	0:21	P5 - P6	0:28	P5	10:19	10:40	0:21	P5 - P6	0:08
	P6	Cooperativa	Tijuca (RJ)	15:27	16:21	0:54	P6 - P0	0:57	P6	10:48	11:42	0:54	P6 - P0	0:13
	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	17:18	-	-	-	-	P0	11:55	-	-	-	-
<b>Total coleta (2)</b>						<b>3:01</b>	<b>-</b>	<b>3:55</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>3:01</b>	<b>-</b>	<b>0:54</b>
3ª	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	-	10:31	-	P0 - P1	0:20	P0	-	8:00	-	P0 - P1	0:10
	P1	Restaurante	Vila da Penha (RJ)	10:51	11:14	0:23	P1 - P2	0:12	P1	8:10	8:33	0:23	P1 - P2	0:05
	P2	Condomínio	Irajá (RJ)	11:26	11:31	0:05	P2 - P3	0:18	P2	8:38	8:43	0:05	P2 - P3	0:04
	P3	Cooperativa	Irajá (RJ)	11:49	11:54	0:05	P3 - P4	0:27	P3	8:47	8:52	0:05	P3 - P4	0:09
	P4	Igreja	Piedade (RJ)	12:21	12:28	0:07	P4 - P5	0:11	P4	9:01	9:08	0:07	P4 - P5	0:02
	P5	Clube	Engenho de Dentro (RJ)	12:39	13:01	0:22	P5 - P6	0:09	P5	9:10	9:32	0:22	P5 - P6	0:03
	P6	Cozinha ind.	Engenho Novo (RJ)	13:10	13:24	0:14	P6 - P7	0:37	P6	9:35	9:49	0:14	P6 - P7	0:08
	P7	Apartamento	Rio Comprido (RJ)	14:01	14:14	0:13	P7 - P0	0:30	P7	9:57	10:10	0:13	P7 - P0	0:11
P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	14:44	-	-	-	-	P0	10:21	-	-	-	-	
<b>Total coleta (3)</b>						<b>1:29</b>	<b>-</b>	<b>2:44</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1:29</b>	<b>-</b>	<b>0:52</b>
4ª	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	-	12:27	-	P0 - P1	0:27	P0	-	8:00	-	P0 - P1	0:09
	P1	Cooperativa	Brás de Pina (RJ)	12:54	13:07	0:13	P1 - P2	0:18	P1	8:09	8:22	0:13	P1 - P2	0:06
	P2	Cooperativa	Engenho da Rainha (RJ)	13:25	13:35	0:10	P2 - P3	0:35	P2	8:28	8:38	0:10	P2 - P3	0:05
	P3	Bar	Complexo do Alemão (RJ)	14:10	14:20	0:10	P3 - P4	0:20	P3	8:43	8:53	0:10	P3 - P4	0:05
	P4	Cooperativa	Maria da Graça (RJ)	14:40	14:54	0:14	P4 - P5	0:21	P4	8:58	9:12	0:14	P4 - P6	0:05
	P5	Condomínio	Andaraí (RJ)	15:15	15:20	0:05	P5 - P6	0:20	P6	9:17	9:22	0:05	P6 - P5	0:02
	P6	Vila	Vila Isabel (RJ)	15:40	15:45	0:05	P6 - P7	0:34	P5	9:24	9:29	0:05	P5 - P7	0:12
	P7	Cozinha ind.	Botafogo (RJ)	16:19	16:21	0:02	P7 - P8	0:15	P7	9:41	9:43	0:02	P7 - P8	0:01
	P8	Buffet	Botafogo (RJ)	16:36	16:41	0:05	P8 - P9	0:29	P8	9:44	9:49	0:05	P8 - P9	0:04
	P9	Condomínio	Flamengo (RJ)	17:10	17:14	0:04	P9 - P0	1:03	P9	9:53	9:57	0:04	P9 - P0	0:17
	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	18:17	-	-	-	-	P0	10:14	-	-	-	-
<b>Total coleta (4)</b>						<b>1:08</b>	<b>-</b>	<b>4:42</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1:08</b>	<b>-</b>	<b>1:06</b>
5ª	P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	-	11:36	-	P0 - P1	0:41	P0	-	8:00	-	P0 - P4	0:08
	P1	Cooperativa	Tijuca (RJ)	12:17	12:22	0:05	P1 - P2	0:33	P4	8:08	8:18	0:10	P4 - P5	0:08
	P2	Cooperativa	Piedade (RJ)	12:55	13:23	0:28	P2 - P3	0:24	P5	8:26	8:57	0:31	P5 - P1	0:25
	P3	Cooperativa	Inhaúma (RJ)	13:47	13:58	0:11	P3 - P4	0:53	P1	9:22	9:27	0:05	P1 - P2	0:11
	P4	Cooperativa	Penha Circular (RJ)	14:51	15:01	0:10	P4 - P5	0:22	P2	9:38	10:06	0:28	P2 - P3	0:06
	P5	Cooperativa	J. Gramacho (D. Caxias)	15:23	15:54	0:31	P5 - P0	1:02	P3	10:12	10:23	0:11	P3 - P0	0:06
P0	Central ALFA	Cidade Universitária (RJ)	16:56	-	-	-	-	P0	10:29	-	-	-	-	
<b>Total coleta (5)</b>						<b>1:25</b>	<b>-</b>	<b>3:55</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1:25</b>	<b>-</b>	<b>1:04</b>

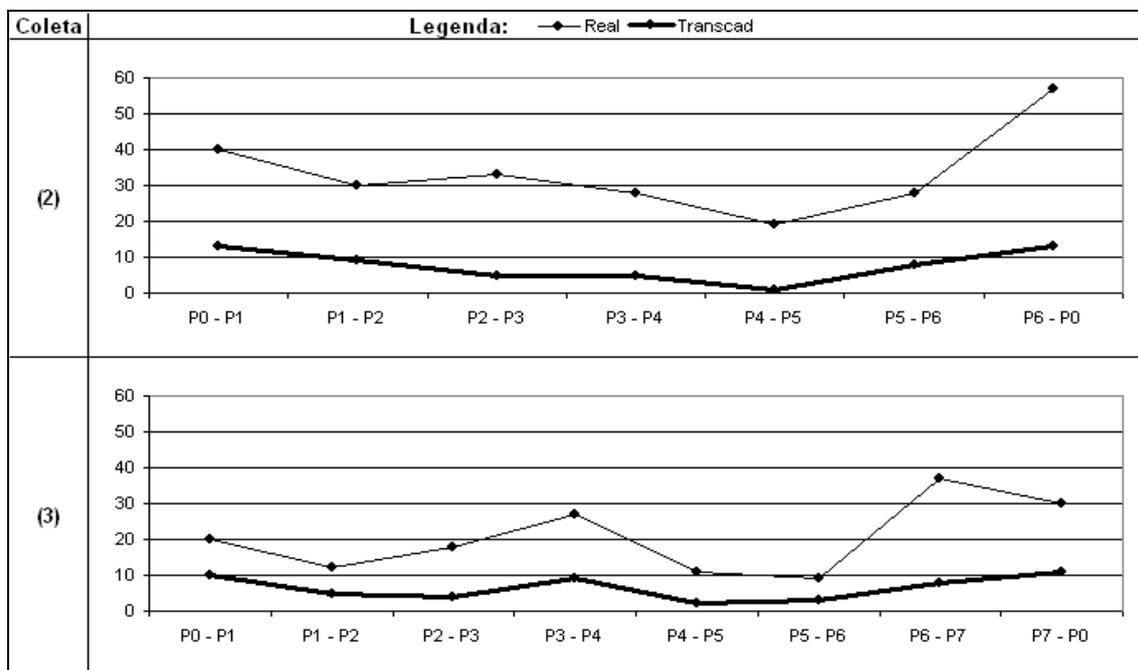
Obs.: (-) não se aplica.

Fonte: elaboração própria.

Como o TransCAD também apresenta em seu relatório os tempos de saída e de chegada nos pontos, estes são apresentados da mesma forma na Tabela 6.4. Os tempos de viagem foram calculados para que a comparação com os tempos reais pudesse ser realizada. As diferenças entre os tempos de viagem reais e teóricos (obtidos por meio do TransCAD) nas cinco coletas foram, respectivamente, 3h18min, 3h01min, 1h52min, 3h36min e 2h51min.

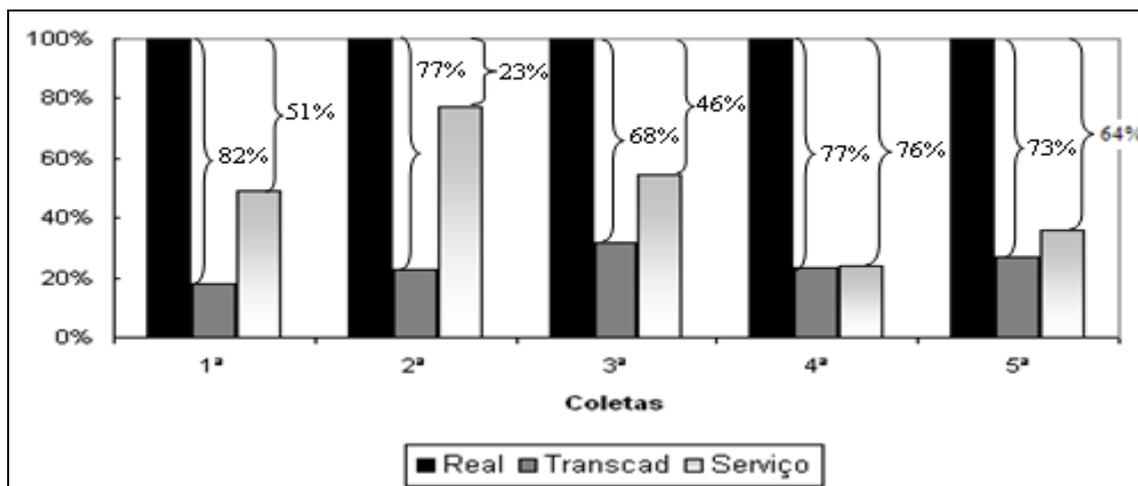
Essas diferenças são consideráveis e podem ser explicadas por dois motivos principais. O primeiro é relativo ao tempo de viagem real que foi excessivo, pois os motoristas geralmente se perdiam durante o trajeto. O segundo é o curto tempo obtido pelo TransCAD, pois este utiliza a distância percorrida e uma velocidade associada, de alto valor, para efetuar o cálculo dos tempos entre os pontos.

A Figura 6.6 apresenta uma comparação dos tempos de viagem real e teórico da segunda e da terceira coleta, pois estas possuem a mesma seqüência de visitas, o que permite o confronto de dados. Já a Figura 6.7 mostra um gráfico de barras que permite notar a grande diferença entre os tempos reais e os obtidos pelo TransCAD nas cinco coletas da central Alfa.



Fonte: elaboração própria.

**Figura 6.6:** Gráficos de comparação (tempo de viagem real e o obtido pelo TransCAD).



**Figura 6.7:** Gráfico de barras com os tempos reais, teóricos (obtidos por meio do TransCAD) e de serviço das cinco coletas da central Alfa.

Quanto ao tempo de serviço, estes podem ser definidos como o tempo de operação no ponto pré-estabelecido, isto é, o tempo entre a chegada no ponto de coleta e a partida do veículo. Os tempos totais de serviço das cinco coletas são, respectivamente, 1h59min, 3h01min, 1h29min, 1h08min e 1h25min. No segundo roteiro, esse tempo de serviço quase se equipara ao tempo de viagem igual a 3h55min. Por meio da Figura 6.7 é possível comparar os tempos de serviço e de viagem nas cinco coletas observadas.

Por meio desses dados, pode-se reconhecer que os tempos reais de serviço foram altos. Vários são os problemas de cunho operacional ou de planejamento que levam a central a esse desempenho. A baixa efetividade das atividades no ponto de coleta (identificar o ponto, parar, identificar o contato, conferir a situação da carga, carregar o veículo, entregar o recipiente vazio, anotar dados, fornecer instruções e partir) pode levar a conseqüências desastrosas que impactam diretamente no lucro empresa.

Todo diagnóstico quantitativo apresentado confirma que a coleta de óleo residual de fritura para a produção de biodiesel é vantajosa e que o custo dessa operação pode ser reduzido. Também há a comprovação do benefício de um *software* de roteirização quanto à redução do custo logístico. O próximo capítulo será a contribuição do estudo quanto às práticas realizadas pela central Alfa. Os problemas enfrentados durante as cinco coletas observadas serão analisados para que dois fluxogramas sejam criados: um para a etapa de planejamento e outro para a execução da operação logística.

## **7. ANÁLISE QUALITATIVA DO CASO – CENTRAL ALFA DE COLETA**

O capítulo anterior apresentou um diagnóstico quantitativo obtido por meio da observação de cinco coletas realizadas pela central Alfa. Ficou constatado que o TransCAD, como ferramenta de roteirização, se utilizado, poderia auxiliar na redução dos custos de coleta ligados à distância percorrida e, conseqüentemente, no aumento do lucro da empresa. Outra constatação seria a possibilidade de otimização da rota, que também faria o lucro da empresa aumentar.

No entanto, vários problemas que poderiam impedir tal melhoria foram observados na execução das práticas de coleta da central Alfa quanto à sua padronização. Estes serão discutidos neste capítulo em quatro etapas distintas. Com isso, pretende-se construir dois fluxogramas que representem a prática ideal para a central Alfa quanto suas atividades de planejamento e de operação da coleta de óleo residual de fritura em área urbana.

### **7.1. Rotina de execução das atividades da central Alfa**

Conforme mencionado, foram acompanhadas cinco coletas nos dias 23/10/2008 (quinta-feira), 13/11/2008 (quinta-feira), 26/11/2008 (quarta-feira), 03/12/2008 (quarta-feira) e 11/12/2008 (quinta-feira). Em todas essas coletas, um relatório foi criado de modo a registrar os fatos observados. Durante essa experiência, foi constatado que o processo de coleta da central Alfa é composto por duas fases.

A primeira fase é a criação do plano de coleta e a segunda é a execução da operação. Em todos os exemplos observados, essas duas fases foram realizadas no mesmo dia. O processo de planejamento em todos os casos iniciou por volta de 10h00min e foi executado apressadamente. A equipe responsável pela criação do plano de coleta foi a mesma que compõe o setor administrativo.

As atividades que compuseram o processo de planejamento foram basicamente duas. A primeira delas contemplou a anotação em uma folha em branco das cooperativas e dos grandes geradores que contataram a central por meio do telefone. A segunda, por sua vez, foi a definição da seqüência de coleta.

Na primeira coleta observada, a equipe da central Alfa decidiu sobre a seqüência de visita com a ajuda de um mapa. Na mesma folha em que anotaram os pontos a serem visitados, citaram o roteiro que o motorista deveria seguir. Nas outras quatro coletas, essa decisão ficou a cargo do motorista. Após esse processo, o motorista recebeu a incumbência de separar os recipientes vazios, que seriam trocados por cheios nos pontos de coleta.

Na execução da operação, podem-se observar várias conseqüências indesejáveis provenientes de falhas no processo logístico. Na primeira rota, por exemplo, observou-se que não foi possível realizar a coleta em quatro locais dentre os seis visitados; um doador não estava presente em dois dos seis pontos; outro ponto não foi localizado; um doador não pôde atender à central; em um local também foi encontrado um recipiente que não estava cheio completamente; no ponto em que se depararam com um recipiente cheio de 50 litros, não havia um carrinho que ajudasse no transporte do local até o veículo e o rádio que o motorista portava foi utilizado poucas vezes para pedir auxílio.

Na segunda coleta, a comunicação entre a central e o motorista aconteceu mais freqüentemente, ajudando-o em um local que estava fechado. A central, por saber do fato, retornou a ligação e orientou o motorista a seguir para um ponto próximo, onde os recipientes estavam armazenados. Um deles estava sem a tampa, impedindo a coleta.

Na terceira coleta aconteceu um fato significativo. Em um restaurante, o resíduo estava sendo armazenado em um recipiente de “boca” larga que não era o da central. O dono afirmou que é mais fácil usar tal recipiente. O ajudante, por sua vez, não teve alternativa senão transferir o resíduo para o recipiente da central. Como não possuía funil, improvisou com uma garrafa PET, mas não conseguiu evitar que um pouco de resíduo derramasse no chão.

A importância do fluxo de informação entre a operação e a administração foi comprovada na quarta coleta. No primeiro ponto, o doador não foi encontrado. Por isso, o motorista contatou a central, que avisou o doador sobre a chegada do veículo na sede da cooperativa. O doador, então, comunicou-se com sua casa para que a sede da cooperativa fosse aberta e o recipiente fosse entregue ao ajudante.

Na quinta coleta, duas falhas graves de operação foram verificadas: as cargas não foram vistoriadas em todos os pontos e, como os recipientes não estavam vedados, o resíduo derramou com o chacoalhar do veículo em trânsito. A outra foi a amarração inadequada dos recipientes, que tombaram no trajeto em uma ladeira, provocando a perda de 100 litros de óleo residual de fritura.

O motorista responsável pela primeira coleta havia sido contratado recentemente pela central. Por essa razão, não possuía experiência nesse tipo de processo. Com isso, perdeu-se várias vezes durante o trajeto. Já o motorista da segunda coleta possuía experiência, pois já realizara anteriormente outras dez coletas. Mesmo assim, não conseguiu encontrar os pontos com facilidade, tendo que parar algumas vezes para pedir auxílio.

Quanto ao motorista do terceiro e do quinto casos, este possuía experiência e conhecia a cidade do Rio de Janeiro. Por essa razão, encontrou todos os pontos com muita facilidade. Já o motorista da quarta coleta, também experiente, pediu auxílio para a central e para o ajudante em seus momentos de dúvida quanto ao trajeto que deveria seguir.

Frente à experiência observada e registrada em relatório, foi possível descrever o processo prático da central Alfa. Essa experiência de realização das cinco coletas acompanhadas será chamada de situação 0. Nessa situação, as atividades relativas ao planejamento e à operação não são padronizadas e possuem falhas. Mais detalhes sobre o acompanhamento dos cinco processos de coleta podem ser encontrados no Anexo 8.

No próximo item, as falhas encontradas no processo de planejamento serão discutidas. Essa será a situação 1, em que somente as atividades de operação são padronizadas. A situação 2, oposta à situação 1, também será analisada. Quanto à situação 3, objetivo para a central Alfa, o planejamento e a operação são realizados de acordo com um padrão.

## **7.2. Situação 1 – Quando o planejamento falha**

Nesta situação, o processo de operação está fundamentado e padronizado. O motorista e o ajudante realizam todas as suas atividades conforme um padrão pré-estabelecido. Já as atividades de planejamento são mal executadas ou simplesmente não existem. A Tabela 7.1 apresenta alguns fatos observados no acompanhamento de cinco coletas da central Alfa. A partir dos fatos observados, foram discriminadas as possíveis conseqüências e a sugestão de ações capazes de solucionar os problemas atrelados a esses fatos.

Os principais problemas enfrentados nessa etapa são problemas que afetam todo o sistema logístico e prejudicam ou inviabilizam a operação de coleta. São basicamente relativos à (1) procedimento, (2) mão-de-obra e (3) informação. Quanto ao primeiro (1), é necessário definir todas as atividades estritamente necessárias para alcançar o principal objetivo da central: coletar o óleo residual de fritura para a venda. E essas atividades podem ser as mais simples, como preparar um documento de coleta organizado, com informações verídicas.

**Tabela 7.1:** Práticas observadas na etapa de planejamento de cinco coletas da central Alfa.

Coletas	Fato observado	Possível consequência	Ação sugerida
1ª	As informações referentes aos pontos estavam ilegíveis, faltando letra e/ou faltando itens importantes como o nome do contato.	O motorista não vai encontrar o ponto de coleta, vai perder tempo e, conseqüentemente, não vai coletar o volume planejado.	Captar as informações sobre a doação e o doador, registrar em um banco de dados e confirmar sempre que forem incluídas em um roteiro de visita.
	A roteirização foi realizada com a ajuda de um mapa após um debate confuso entre os participantes da equipe.	A rota pode não ser adequada impedindo a minimização da distância percorrida.	Definir a seqüência de coleta com a ajuda de um <i>software</i> de roteirização, considerando a existência de prioridades.
2ª	A equipe da central Alfa decidiu quais seriam os pontos a serem visitados sem considerar a capacidade do veículo.	Alguns doadores que foram avisados do dia da coleta e que eventualmente são prioridades podem não ser visitados.	Verificar se o volume total a ser coletado é menor que a capacidade do veículo.
	O processo de roteirização ficou a cargo do motorista que não conhecia a cidade do Rio de Janeiro.	A rota pode não ser adequada impedindo a minimização da distância percorrida.	Orientar o motorista, principalmente o inexperiente, quanto ao trajeto a ser percorrido.
3ª	Mais uma vez o processo de planejamento demora a começar e é realizado no mesmo dia do processo de operação.	A operação logística começa tarde e poucos pontos podem ser visitados.	Executar as atividades de planejamento no dia anterior à coleta.
	Os recipientes vazios já estavam alocados no veículo e ainda não se sabia quem trabalharia na coleta como ajudante.	O início da operação logística é atrasado e, conseqüentemente, poucos pontos podem ser visitados.	Contratar um ajudante que fique à disposição da central para realizar as coletas e que, de preferência, conheça a cidade do Rio de Janeiro.
4ª	A função de programação das viagens fica a cargo da secretária e não de um programador.	A rota pode não ser adequada impedindo a minimização da distância percorrida.	Definir um programador responsável pelo planejamento da logística de coleta.
	Foram definidos os ajudantes para cada dia de coleta, mas a divulgação não aconteceu e, por isso, foi necessário encontrar um ajudante às pressas.	A operação logística começa tarde e poucos pontos podem ser visitados.	Implantar uma rede de contatos por telefone e por e-mail para restaurar o fluxo de informação entre os membros da central Alfa.
5ª	A central Alfa possuía dois veículos, mas contratou apenas um ajudante.	A operação logística começa tarde e poucos pontos podem ser visitados.	Contratar mão-de-obra de acordo com as necessidades das práticas de planejamento e de operação.
	Um dos endereços estava errado no documento de coleta.	O motorista não vai encontrar o ponto de coleta, vai perder tempo e, conseqüentemente, não vai coletar o volume planejado.	Preparar um documento com as informações (verificadas) dos doadores na ordem de coleta.

Fonte: elaboração própria.

Na seqüência (2), devem ser definidos os atores que serão responsáveis por uma atividade ou um conjunto delas. Por meio da Tabela 7.1, pode-se observar que a partida do veículo foi atrasada pela falta de um colaborador que exercesse a função de ajudante. Foi possível notar, também, que a falta de treinamento e/ou orientação pode fazer com que o processo incorra em perdas de tempo, de combustível e de volume coletado. E ainda, faltou a alocação dos cargos de acordo com a competência do colaborador.

Já o último problema (3), tão importante quanto os outros, contempla a informação. Nesse caso, aquela que é registrada, ou seja, um plano escrito que deve ser seguido por quem efetuará a operação logística. Se esse documento não existir ou existir com informações incompletas ou incorretas, todo o processo pode fracassar.

As ações sugeridas correspondem ao primeiro passo a partir do entendimento das práticas da central Alfa, seus principais problemas e suas possíveis conseqüências. Essas ações darão suporte para a criação de um fluxograma que terá a função de representar as práticas logísticas da central Alfa. No próximo item, o foco será no processo operacional que se inicia com a partida do veículo para efetuar a coleta.

### **7.3. Situação 2 – Quando a operação falha**

Nesta etapa, o que foi planejado deve ser executado. Considera-se, então, que um plano de coleta foi criado por meio de atividades padronizadas e realizadas por mão-de-obra competente e treinada. As falhas, nesse caso, pertencem à operação propriamente dita observadas no mesmo processo de coleta apresentado no item anterior. A Tabela 7.2, seguindo a mesma lógica da Tabela 7.1, apresenta cada fato observado, sua conseqüência mais provável e a ação que deve ser tomada para a solução do problema.

**Tabela 7.2:** Práticas observadas na etapa de operação de cinco coletas da central Alfa.

<b>Coletas</b>	<b>Fato observado</b>	<b>Possível consequência</b>	<b>Ação sugerida</b>
1ª	O motorista não conhecia a cidade do Rio de Janeiro e se perdeu várias vezes, tendo que parar o veículo para pedir informação.	A distância percorrida provavelmente não será a mínima e o roteiro poderá ser atrasado, impedindo que todos os pontos sejam visitados.	Orientar e/ou treinar o motorista para que possa ser capaz de encontrar cada ponto com facilidade percorrendo o caminho mínimo.
	O motorista não solicitou a ajuda da central para solucionar os problemas que enfrentou no trajeto.	A dificuldade para a obtenção da solução do problema será maior e, em caso de fracasso, o motorista será responsabilizado.	Comunicar à central todos os problemas encontrados na operação de coleta para que os mesmos não voltem a acontecer.
2ª	O doador não foi encontrado no local.	O volume previsto poderá não ser coletado.	Entrar em contato com a central que avisará o doador da chegada do veículo no ponto combinado.
	Em alguns pontos, os recipientes foram encontrados sem a tampa.	O motorista não poderá efetuar a coleta se não possuir uma tampa que substitua a perdida.	Levar as tampas substitutas em todas as coletas e utilizá-las caso seja necessário.
3ª	Em um ponto, o resíduo estava armazenado em um recipiente que não era da central.	Se o recipiente estiver sem a tampa ou estiver vazando, não haverá tampa para substituição e o mesmo não poderá ser coletado.	Orientar o doador ou cooperado para armazenar o resíduo no recipiente da central.
	O ajudante não trazia acessórios, como luvas e funil, para auxiliar no processo de transferência do resíduo de um recipiente para outro.	A coleta poderá não ser realizada se o ajudante não conseguir improvisar um funil.	Levar todos os acessórios necessários dentro do veículo para auxiliar a operação de coleta.
4ª	Em um dos pontos, o resíduo estava vazando do recipiente. O ajudante não possuía outras tampas e plásticos de vedação.	O motorista poderá não efetuar a coleta se não conseguir vedar o recipiente.	Levar os plásticos capazes de vedar o recipiente em todas as coletas e utilizá-los caso seja necessário.
	O motorista teve dificuldade em encontrar o último ponto do roteiro, mesmo com o auxílio do ajudante.	O objetivo de minimização da distância percorrida poderá não ser alcançado.	Entrar em contato com a central para exaurir todas as dúvidas pertinentes ao trajeto para se chegar a um ponto de coleta.
5ª	O ajudante não amarrou adequadamente os recipientes dentro do veículo.	Os recipientes podem tombar durante o trajeto perdendo o resíduo.	Amarrar corretamente os recipientes dentro do veículo.
	O ajudante não verificou se os recipientes estavam completamente vedados.	Os recipientes podem vazar durante o trajeto perdendo o resíduo.	Verificar os recipientes e, seja o caso, trocar a tampa e/ou vedar o recipiente.

Fonte: elaboração própria.

Nesse processo de execução do que foi planejado, observa-se, como no caso da etapa de planejamento, os mesmos três elementos. São eles: (1) o procedimento, (2) a mão-de-obra e (3) a informação. As práticas relativas à operação também devem ser padronizadas e todos os envolvidos devem ser treinados. Falhas de procedimento podem ser observadas quando o ajudante não verifica a vedação dos recipientes e não efetua a amarração destes corretamente dentro do veículo. A consequência dessas más práticas pode ser desastrosa, como o tombamento dos recipientes durante o trajeto (além da perda do resíduo ainda há a contaminação do solo).

Outra observação importante, apresentada na Tabela 7.2, refere-se ao treinamento dos colaboradores envolvidos, pois não basta existir um procedimento estruturado se a mão-de-obra não está capacitada ou não segue o plano. O motorista, por exemplo, precisa conhecer o campo de atendimento da central para que possa efetuar o caminho mínimo entre cada ponto registrado no documento de coleta. O ajudante, por sua vez, deve realizar todo o procedimento de vistoria da carga antes da coleta.

Somente por meio da organização de toda a operação será possível orientar e educar os doadores e cooperados quanto à manutenção da carga nas condições apropriadas para o transporte. Isso quer dizer que o recipiente deve estar com a tampa, vedado e que esse recipiente deve ser o que a central disponibilizou para a armazenagem do resíduo.

Outra causa de problemas na operação é a falta do fluxo de informação. O contato com a central durante o trajeto é fundamental para a obtenção de auxílio no caso de eventualidades que não foram consideradas durante o planejamento. Se o motorista tem dúvidas sobre o roteiro, se o doador não foi encontrado ou se o recipiente não estava em condições adequadas para o transporte, tudo isso deve ser comunicado à central. Essa comunicação permitirá adequar o procedimento de coleta, se for o caso, e atuar para que esses problemas não voltem a acontecer.

A sugestão de ações, como no item anterior, servirá para auxiliar na criação de um fluxograma que representará o procedimento de coleta da central Alfa. No próximo item, esse fluxograma, composto por duas partes, será apresentado. Uma dessas partes está relacionada com a etapa de planejamento e a outra com a etapa de operação.

#### **7.4. Situação 3 – Sistema de coleta padronizado**

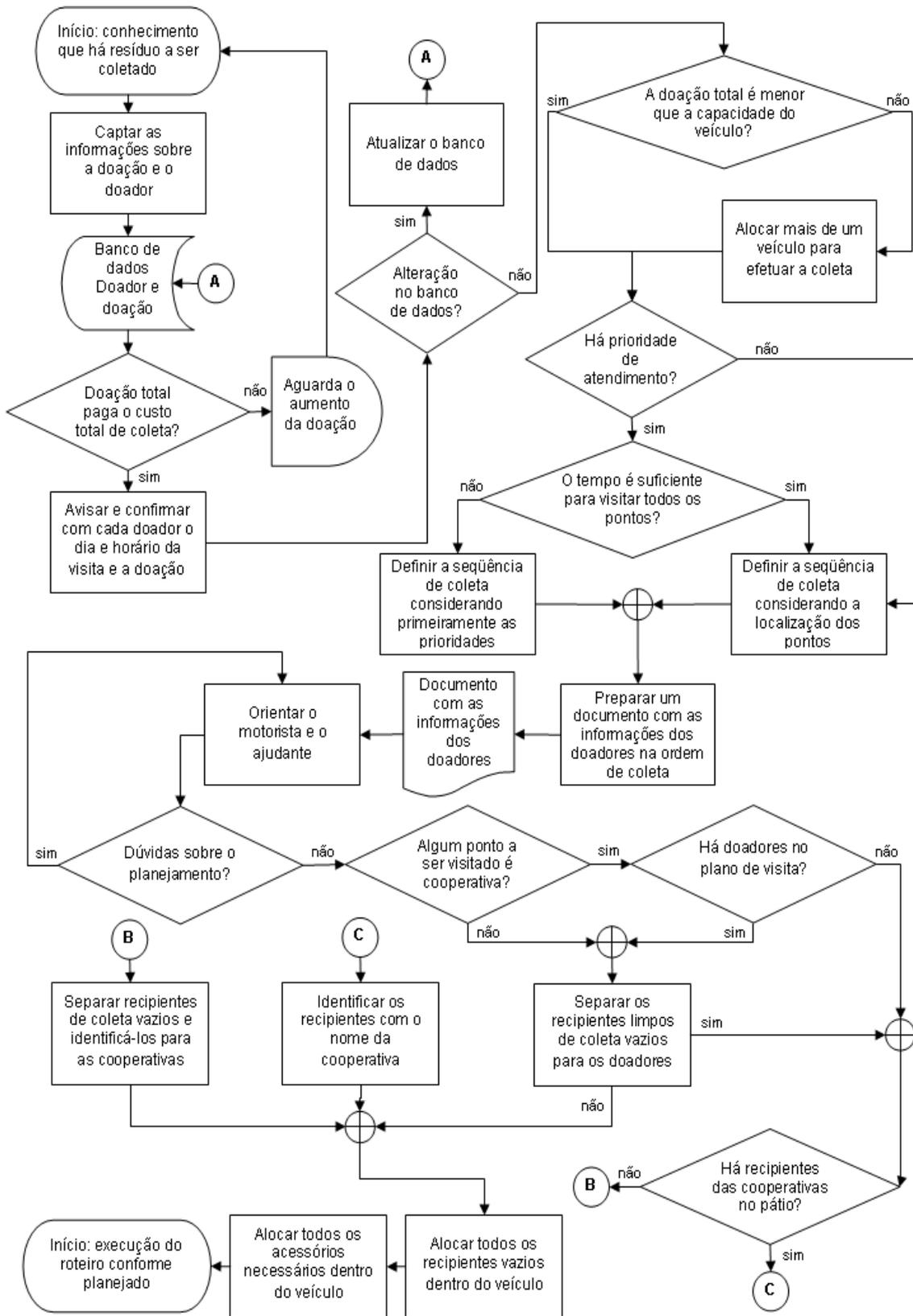
Em uma primeira parte, este item apresentará o fluxograma que discriminará o processo de planejamento da central Alfa visando à coleta, conforme Figura 7.1. O início do processo acontece com a comunicação à central da existência de óleo residual de fritura a ser coletado. A secretária deve, então, captar todas as informações sobre o doador e a doação por meio de contato telefônico. São elas: nome do doador, endereço completo com ponto de referência, outros contatos, como telefones e *e-mail*, se há restrição de dia e/ou horário para efetuar a coleta e a quantidade ofertada de óleo residual de fritura.

O próximo passo é armazenar essas informações em um banco de dados para que seja possível efetuar uma análise da viabilidade da coleta, ou seja, se o custo da coleta será menor que a receita obtida com a venda do resíduo. Em caso positivo, a coleta deve ser realizada e as informações devem, então, ser verificadas e atualizadas, se for o caso.

Nesse mesmo contato com o doador, a central deve avisar o dia da coleta e o horário estimado. Faz-se necessário, também, verificar o volume a ser coletado com relação à capacidade do veículo. Se o volume total for maior que essa capacidade, a central deve alocar mais veículos a fim de atender a toda demanda.

Na seqüência, deve-se considerar a existência de prioridades. Se há pontos com visita prioritária e o tempo reservado para efetuar a coleta é insuficiente, o roteiro deve atender primeiramente a essas prioridades. Se há tempo suficiente, todos os pontos são tratados igualmente e a roteirização deve ser realizada por um *software*, considerando apenas a localização destes.

A definição da seqüência da coleta por um programador permitirá a confecção de um documento que o motorista levará na viagem. Esse documento deve ser criado como uma tabela no *Microsoft Word* ou *Excel* com todas as informações dos doadores e a quantidade prevista para a coleta. Este também deve ser impresso e anexado ao formulário de entrega de recipientes, caso o doador e/ou a cooperativa estejam recebendo os recipientes da central pela primeira vez.



Fonte: elaboração própria.

**Figura 7.1:** Fluxograma do processo de planejamento logístico da central Alfa.

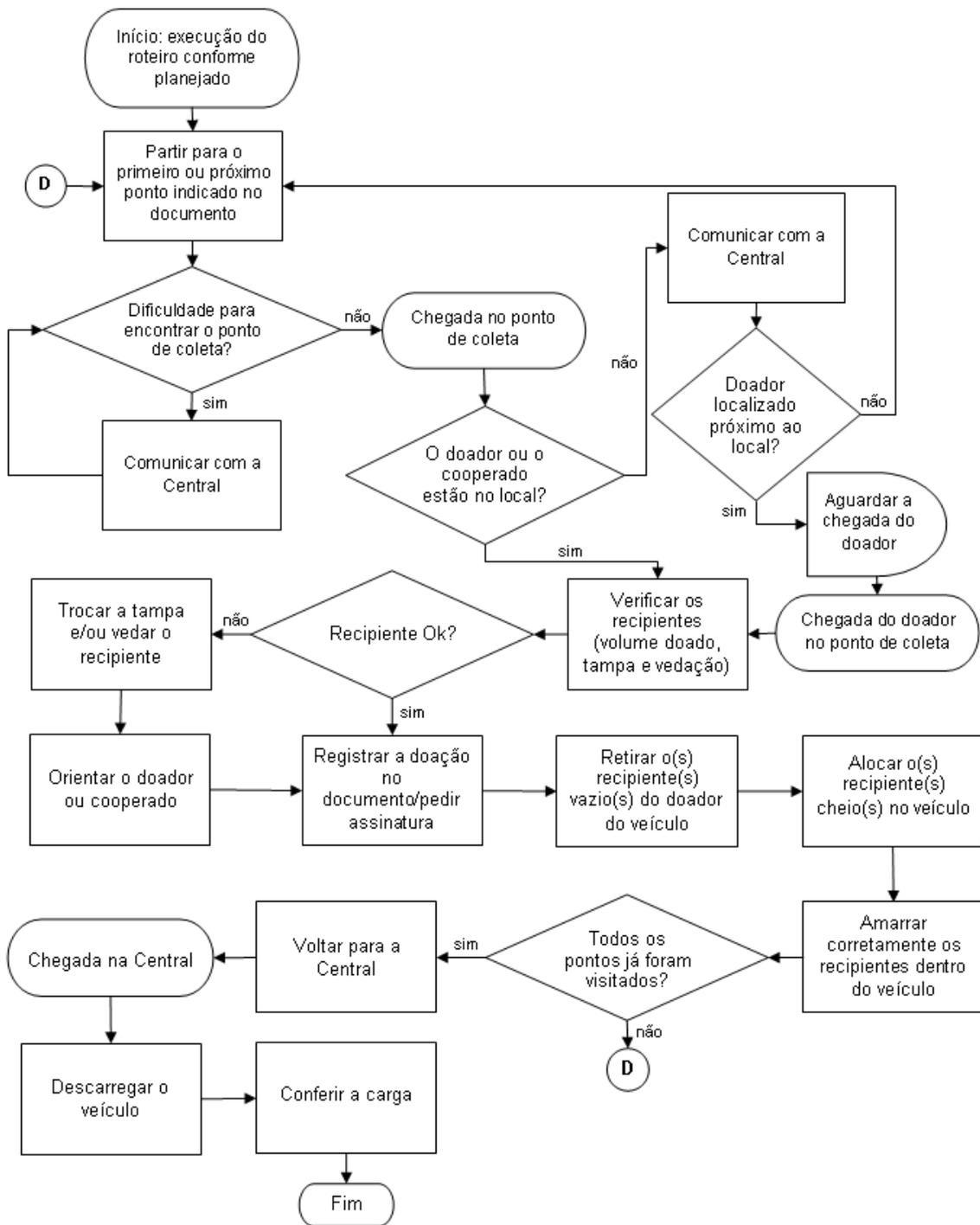
Com o documento, a secretária e o programador poderão orientar o motorista e o ajudante sobre todos os detalhes e as restrições que devem ser seguidos. Por meio do documento, também é possível conhecer a quantidade de recipientes vazios que devem ser alocados dentro do veículo para serem trocados por cheios nos pontos pré-especificados. Os recipientes vazios das cooperativas, identificados no pátio da central, devem ser encontrados e separados. Se não houver nenhum, um novo recipiente deve ser identificado para ser enviado. No caso dos doadores, o recipiente enviado deve ser sempre limpo.

Após a alocação dos recipientes vazios dentro do veículo, é necessário também alocar os acessórios que auxiliarão na etapa de operação. São eles: carrinhos para transportar os recipientes de 50 litros, luvas, funil, tampas extras, plástico para a vedação dos recipientes, capa de chuva, rádio para a comunicação com a central e cartão com o telefone, caso encontre algum doador que o peça. Outra sugestão importante trata-se do uniforme que o ajudante deve trajar. Como vários dos doadores são restaurantes, seria pertinente que o ajudante, representante da central, trajasse um uniforme que incluísse um avental e um crachá.

Após a padronização das atividades de planejamento, é a vez de criar o padrão das atividades de operação, conforme a Figura 7.2. Com o plano em mãos, o motorista deverá seguir para o primeiro ponto discriminado no documento de coleta. Durante o trajeto, até chegar a esse ponto, seu principal objetivo será o de percorrer o caminho mínimo. Qualquer dúvida deve ser comunicada à central que estará sempre pronta a auxiliar. No ponto de coleta, se o doador ou o cooperado não estiverem, o motorista ou o ajudante também devem entrar em contato com a central que avisará o doador da chegada do veículo no ponto combinado.

Caso o doador seja encontrado, o ajudante deve verificar o(s) recipiente(s). Se o recipiente estiver com a tampa, retirar e verificar se está completamente cheio. Após essa atividade, o ajudante deve colocar a tampa novamente e virar o recipiente observando se o mesmo está vazando. Se o recipiente estiver vazando, é necessário colocar o plástico de vedação e, após isso, rosquear a tampa. Caso o recipiente esteja sem a tampa, deve-se fornecer uma que esteja dentro do veículo junto aos acessórios da operação. Se o recipiente não for da central e estiver sem a tampa ou com a tampa, mas

sem a vedação, é preciso passar o conteúdo para um recipiente da central usando o funil.



Fonte: elaboração própria.

**Figura 7.2:** Fluxograma da operação de coleta da central Alfa.

Todas essas eventualidades devem ser comunicadas à central. O doador ou o cooperado deve ser orientado para que esses problemas não voltem a acontecer, compreendendo que o tempo de serviço no ponto será maior e prejudicará toda a operação. As atividades

do ajudante no ponto devem ser apenas estas: a de verificação dos recipientes, a de troca por vazios, a de transporte até o veículo, a de amarração no interior do veículo e a de registro no documento de coleta. Quanto às atividades de amarração, estas devem ser efetuadas de forma correta, passando a corda pelas alças do recipiente e pela barra de ferro no interior do veículo e "abraçando" todos os recipientes cheios.

Após a visita a todos os pontos, o motorista deverá voltar à central, sempre buscando percorrer o menor caminho como em todo o trajeto. É necessário que o motorista tenha cuidado principalmente em ladeiras para não tombar a carga. Ao chegar à central, o ajudante deverá descarregar o veículo para que o processo de conferência possa ser iniciado. Nesse processo, a secretária, o ajudante, o motorista e uma terceira pessoa não envolvida no processo devem estar presentes para validar o documento de coleta de acordo com a carga coletada. Esse documento será arquivado e comprovará a origem do óleo vendido para que a central possa efetuar o pagamento a quem de direito.

Neste item, uma análise qualitativa foi realizada com base na observação de cinco coletas da central Alfa. Observa-se por meio das Tabelas 7.1 e 7.2 que as possíveis conseqüências dos problemas quase sempre levam à redução do volume coletado ou ao aumento da distância percorrida. O primeiro reduz a receita obtida por meio da venda do resíduo e o segundo aumenta o custo total da coleta. Como o lucro é definido pela receita obtida com a venda do óleo residual de fritura subtraída do custo total da central (basicamente o custo total para efetuar a coleta), o resultado final é a redução do lucro, algo indesejado em qualquer que seja a empresa com fins capitalistas.

Neste contexto, buscou-se, então, criar dois fluxogramas como contribuição do presente estudo: um para a etapa de planejamento e outro para a etapa de operação, que representassem o padrão das atividades da central. Com a aplicação desses dois fluxogramas, espera-se auxiliar a central quanto à padronização de suas atividades, de modo a evitar que as falhas, hoje comuns, não sejam mais cometidas. O resultado esperado é o aumento do lucro (objetivo principal da central).

Após a observação das cinco coletas e de todo o processo para sua realização, foi possível diagnosticar que a central Alfa está em fase de aprendizado com seus próprios erros. Esta é uma fase em que se deve aplicar a administração da rotina, ou seja, os

métodos de execução e as atividades-padrão devem ser definidos. Os colaboradores, por sua vez, devem ser treinados e educados para a execução do trabalho. Na seqüência, os efeitos do trabalho são analisados para que se possa identificar o que ainda não está adequado. A central, então, deve atuar nas práticas indesejáveis de modo a corrigi-las. Esse raciocínio é contínuo e deve acompanhar a rotina da empresa.

Somente após o domínio da rotina, a central Alfa deverá planejar o crescimento, que poderá ser definido, por exemplo, como o aumento do volume coletado e vendido em um determinado período. Nessa fase, é necessária a definição do objetivo e das metas e a determinação dos métodos para alcançá-los. Todos os colaboradores devem estar cientes e, por esse motivo, devem ser orientados. Se o objetivo da central for, por exemplo, o de aumentar seu lucro, isso pode ser conseguido com o aumento da receita ou com a redução do custo. O processo de roteirização atrelado ao transporte pode auxiliar nessa redução de custo. Quanto ao aumento da receita, este pode ser alcançado com o aumento do volume coletado ou com o aumento do preço do resíduo.

Para aumentar o volume coletado, pode-se criar uma equipe de captação de novos doadores e de novas cooperativas. Estes devem ser identificados e um contato prévio deve ser realizado. Também se deve preparar um *folder* explicativo de modo a divulgar a coleta. Quando forem efetuar a visita, já devem levar os recipientes vazios para a entrega. Todo esse processo deve ser registrado. Vale lembrar que a captação de novos doadores deve ser realizada tanto pelas empresas que coletam o resíduo para a venda, quanto pelas empresas que produzem o biodiesel. O processo de melhoria intercalando com o processo de padronização da rotina serão capazes de promover o crescimento ordenado da central Alfa.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

No Capítulo 2, foi mencionado que antes da obrigatoriedade da mistura de 2% de biodiesel ao óleo diesel, o custo do biodiesel produzido por meio da maior parte das oleaginosas foi menor que o custo do óleo diesel. Esse fato torna viável a produção de biodiesel frente a seu antecessor. Quando entrou em vigor a lei da obrigatoriedade da mistura, em janeiro de 2008, os preços das matérias-primas cultiváveis e extrativas aumentaram a patamares que variam de R\$3,50 a R\$6,00 por litro. Com a alta dos preços dessas matérias-primas, o óleo residual de fritura tornou-se uma opção viável economicamente, com preço máximo de mercado igual a R\$1,00 (com frete incluído).

No entanto, existem outros consumidores desse resíduo no mercado além do produtor de biodiesel. A indústria do sabão, maior concorrente, oferece uma vantagem para o fornecedor do resíduo que é a não exigência por qualidade. Para ser utilizado na produção de biodiesel, o óleo residual de fritura tem que estar limpo. Assim sendo, o produtor desse biocombustível possui apenas duas opções: comprar o resíduo no mercado (sofrendo a concorrência) ou coletá-lo. Conforme abordado no Capítulo 6, é mais viável economicamente realizar a coleta do resíduo disperso em área urbana.

A partir dos resultados apresentados nos Capítulos 6 e 7, constatou-se a hipótese de ser possível reduzir o custo do biodiesel produzido a partir do óleo residual de fritura por meio de melhoria no processo da coleta de matéria-prima que se encontra dispersa em área urbana. É necessário que se entenda o processo da coleta não apenas como a elaboração de uma rota que minimize seu custo total, mas sim como um processo de gestão que envolve seu planejamento e sua operação em que a roteirização é uma de suas atividades.

O objetivo principal desta dissertação foi atingido no Capítulo 7 e os objetivos adicionais foram atingidos ao longo dos Capítulos 5, 6 e 7. Neste contexto, verificaram-se os benefícios da utilização de um *software* de roteirização de veículos. Neste estudo, a ferramenta empregada foi o TransCAD. Comparando-se os dados obtidos na experimentação prática com os dados teóricos adquiridos por meio dessa ferramenta, constatou-se que o custo da coleta (real) foi 34% maior em comparação com o custo do roteiro teórico. Esse fato reforça a viabilidade econômica da utilização do TransCAD no auxílio e na determinação das práticas de coleta.

Ficou ainda constatado que a dimensão do problema não se restringe apenas ao transporte. A questão é maior e engloba todo o processo administrativo e logístico. Por essa razão, somente a utilização da ferramenta computacional não garante o sucesso do processo de coleta. É necessário criar e estruturar os procedimentos de planejamento e de operação da coleta de resíduos. Após a padronização das atividades, os colaboradores devem ser treinados e orientados para que as práticas sejam realizadas de forma adequada. No caso da central Alfa, não existia sequer uma equipe responsável pelos processos logísticos.

Segundo BALLOU (2001), logística é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e economicamente eficaz de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes. Essa definição reforça a importância da logística para o caso estudado, principalmente no que diz respeito ao fluxo de informações.

Em um ponto de vista mais adequado, pode-se definir a coleta de óleo residual de fritura como um processo de logística reversa, definido por LEITE (2003) como uma área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros.

No caso tratado neste estudo, representado por um modelo apresentado no Capítulo 3, o óleo residual de fritura é um bem de pós-consumo que integra uma cadeia reversa de ciclo aberto, ou seja, esse resíduo é proveniente do consumo de uma classe de produtos (óleos vegetais comestíveis virgens refinados) com uma determinada natureza e é reintegrado na produção de bens de outra natureza (biodiesel, sabão, graxas, detergentes e outros). Pode-se citar, também, que a utilização do óleo residual de fritura como matéria-prima é um meio de reciclagem, uma vez que esse resíduo é normalmente descartado nas redes de esgoto.

Quanto às limitações, é possível identificar aquelas que podem estar ligadas à utilização do *software* TransCAD. Neste é utilizada uma base de dados viária, que no caso estudado, refere-se à região metropolitana do Rio de Janeiro. Esta, por sua vez, pode estar simplificada, o que pode gerar dados não condizentes com a realidade. Deve-se, então, verificar a base para que as devidas alterações possam ser efetuadas. No presente estudo, foi necessário inserir a mão das vias e inserir um maior número de logradouros. Buscou-se obter, por meio do TransCAD, um parâmetro consistente para que fosse possível efetuar uma comparação com os dados obtidos por experimentação.

Outra limitação está associada à especificidade do processo de planejamento e de operação apresentado nas figuras 7.1 e 7.2. Embora se admita certo grau de analogia entre as atividades da central Alfa e de outras centrais de coleta de resíduos urbanos, aqueles não são fluxogramas genéricos e sim específicos para o caso em estudo. Um esforço adicional deveria ser feito para verificar a possibilidade de generalizá-los. Quanto ao modelo apresentado na Figura 3.2, destaca-se que, embora direcionado para a coleta de óleo residual de fritura em área urbana, este pode ser adaptado para diferentes tipos de coletas de resíduos dispersos em área urbana, sendo o seu entendimento e a sua modelagem de uso muito mais abrangentes.

Ainda se deve considerar as limitações de escala do problema, tendo em vista que a quantidade de pontos de coleta por rota é insignificante se comparada às aplicações encontradas na literatura. Como se verificou a vantagem de utilizar as ferramentas de pesquisa operacional e de programação em problemas tão simples como estes, parece razoável considerar que em problemas de maior complexidade essas ferramentas seriam muito mais úteis. No entanto, é necessário testar a aplicação dessas ferramentas em problemas com maior número de pontos e complexidade (restrições de tempo, de capacidade, de demanda probabilística e outros).

Para trabalhos futuros, recomenda-se avançar nas limitações apresentadas nos parágrafos anteriores. Além disso, acredita-se ser possível desenvolver um trabalho para o acompanhamento de processos de coleta de outros resíduos, como pneus inservíveis, recipientes vazios de óleo lubrificante nos postos de abastecimento de veículos e lixo em geral. Nos processos que acontecem de forma empírica, pode-se utilizar um *software* de roteirização para verificar a efetividade das práticas reais. Em suma, cada tipo de

resíduo possui particularidades que fazem com que a coleta seja tratada de forma diferente. Além do que as exigências dos clientes também podem ser outras, assim como as características dos veículos empregados no trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOISSA, 2008, *Cotações de Mercado*, ABOISSA Óleos Vegetais, disponível em: <<http://www.aboissa.com.br/tabid/167/Year/2008/NewsModule/712/Default.aspx>> acesso em: 19 set 2008.
- ANGELELLI, E., SPERANZA, M. G., 2002, “The Periodic Vehicle Routing Problem with Intermediate Facilities”, *European Journal of Operational Research*, v. 137, pp. 233-247.
- ANGLIAN OILS LTD., 2008, *Site da empresa*. Disponível em: <<http://www.oilco.co.uk/services.htm>>. Acesso em: 20 jan 2008.
- ANP, 2006, *Resultado Final do 3ª e 4ª Leilões Públicos de Compra de Biodiesel*. Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/doc/biodiesel/Resultado\\_Geral\\_3o\\_e\\_4o\\_leiloes.pdf](http://www.anp.gov.br/doc/biodiesel/Resultado_Geral_3o_e_4o_leiloes.pdf)>. Acesso em: 15 mar 2009.
- ANP, 2008, *Resolução nº. 42*. Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis. Disponível em: <[http://200.179.25.1331NXT/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2004/dezembro/ranp%2042%20%202004.xml?f=emplates\\$fn=default.htm&sync=l&vid=anp:10.1048/enu](http://200.179.25.1331NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2004/dezembro/ranp%2042%20%202004.xml?f=emplates$fn=default.htm&sync=l&vid=anp:10.1048/enu)>. Acesso em: 07 mar 2008.
- AUSCOL, 2008, *Site da empresa Auscol Collection Service*. Disponível em: <<http://www.auscol.com.au/Services62/default.aspx>>. Acesso em: 21 jan 2008.
- BALLOU R. H., 2001, *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos*. 4 ed. Porto Alegre, Bookman.
- BELLO, F. R., VELARDE, J. L. G., ALVAREZ, A. M., 2006, “Greedy Randomized Adaptive Search Procedures”, *Operations Research*, v. 36, pp. 207-223.
- BIODIESELSPAIN, 2008, “*Porsiete*” *impulsa la recogida de aceite usado en Salamanca*. Disponível em: <<http://www.biodieselpain.com/about/>>. Acesso em: 17 jan 2008.
- BRASILEIRO, L. A. e AGUIAR, J., 2001, “Uma Análise sobre a Utilização de SIG-T no Roteamento de Veículos de Coleta de Resíduos de Serviços de Saúde”. *XIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transportes*, New York, EUA.
- BRÄYSI, O., HASLE, G., DULLAERT, W., 2004, “A Multi-start Local Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows”, *European Journal of Operational Research*, v. 159, pp. 586-605.
- CHAVES, A. A., 2003, *Modelagens Exata e Heurística para Resolução do Problema do Caixeiro Viajante com coleta de Prêmios*, Monografia, UFOP-MG, Departamento de Ciência da Computação, Ouro Preto, MG, Brasil.
- COELHO, P. S. e CARDOSO, J. M., 2003, “Meta-heurísticas Aplicadas em Otimização Estrutural”. *Trabalho de síntese no âmbito das provas de aptidão pedagógica e capacidade científica*, Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- CUNHA, C. B., 2003, “Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais”. *Transportes*, V.8, n.2, p. 51-74.
- D’AGOSTO, M. A., 2004, *Análise da Eficiência da Cadeia Energética para as Principais Fontes de Energia Utilizadas em Veículos Rodoviários no Brasil*, D.Sc. Tese, COPPE/UFRJ, Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro, Brasil.
- DOVU, 2008, *Site da empresa Disque Óleo Vegetal Usado*. Disponível em: <<http://www.disqueoleo.com.br/>>. Acesso em: 01 Mar 2008.

- DRUMMOND, L. M. A., OCHI, L. S., VIANNA, D. S., 2001, “An Asynchronous Parallel Metaheuristic for the Period Vehicle Routing Problem”, *Future Generation Computer Systems*, v. 17, pp. 379-386.
- EBB, 2008, *what is biodiesel?*, European Biodiesel Board. Disponível em: <<http://www.ebheu.org/biodiesel.php>>. Acesso em: 08 mar 2008.
- EHRENGRUBER C., 2005, *Biodiesel production from waste cooking oil - the Austrian experience*. Disponível em: <<http://www.fedarene.org/publications/Projects/Contrat/Biodiesel/biofuels/conference/C.ehrenguber.pdf>>. Acesso em: 05 jan 2008.
- EMBRAPA, 2007, *Matérias-primas para a produção do biodiesel: priorizando alternativas*. Disponível em: <[www.embrapa.br/.../gpr/publicacoes/institucional/PalestraDiretoPresidenteProducaoBiodiesel.pdf](http://www.embrapa.br/.../gpr/publicacoes/institucional/PalestraDiretoPresidenteProducaoBiodiesel.pdf)>. Acesso em: 10 jan 2008.
- ESALQ/USP, 2006, *Quanto custa produzir Biodiesel?* Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) - Esalq. Universidade de São Paulo.
- ESTEVES G. R., SILVA E. e BARBOSA S. R., 2007, *Estimativa da Redução de Emissões na Região Metropolitana de São Paulo pela Introdução de Transportes Alternativos Limpos*, disponível em: <<http://www.abve.org.br/destaques/EstimativaReducaoEmissoesRMetropolitanaSP.pdf>> acesso em: 27 nov 2007.
- FRIZZELL, P. W., GIFFIN, J. W., 1995, “The Split Delivery Vehicle Scheduling Problem With Time Windows and Grid Network Distances”, *Computers & Operational Research*, v. 22, n. 6, pp. 655-667.
- FRYLITE, 2008, Free Waste oil collection service and Free Equipment. Disponível em: <<http://www.frylite.com/waste-oil-collection/>>. Acesso em: 19 jan 2008.
- GENDREAU, M., LAPORTE, G., SÉGUIN, S., 1996, “Stochastic Vehicle Routing”, *European Journal of Operational Research*, v. 88, n. 1, pp. 3-12.
- GEOGREEN BIOFUELS, 2008, *Site da empresa*. Disponível em: <<http://www.geogreenbiofuels.com/>>. Acesso em: 16 jan 2008.
- GLADYS, N., 2006, *Busca Dispersa Aplicada ao Problema de Roteamento de Veículos Básico*, D.Sc. Tese, COPPE/UFRJ, Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, Brasil.
- GLOVER, F., KELLY, J. P., LAGUNA M., 1995, “Genetic Algorithms and Tabu Search: Hybrids for Optimization”, *Computers*, v. 22, pp. 111-134.
- GTI, 2003, *Viabilidade de Utilização de Óleo vegetal – Biodiesel como Fonte Alternativa de Energia*. Grupo de Trabalho Interministerial.
- GUIMARÃES, G. S. e PACHECO, R. F., 2005, “Análise da viabilidade do uso de um software de roteirização de veículos em uma empresa agroindustrial”. *XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Porto Alegre, RS, Brasil.
- HAGHANI, A., JUNG, S., 2005, “A Dynamic Vehicle Routing Problem with Time-Dependent Travel Times”, *Computers & Operations Research*, v. 32, n. 11, pp. 2959-2986.
- HALL, R. e PARTYKA, J., 2008, *On the Road to Mobility – 2008 Survey of Vehicle Routing Software Spotlights Integration with Portable Phones*. Disponível em: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/orms-2-08/frvrss.html>>. Acesso em 07 Set 2008.

- HO, S. C., HAUGLAND, D., 2004, “A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Deliveries”, *Computers & Operations Research*, v. 31, pp. 1947-1964.
- IADB, 2007, *A Blueprint for Green Energy in the Americas*. Inter-American Development Bank.
- IBGE, 2008, *Dados IBGE Cidades* Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 12 mar 2008.
- IBP/COPPE/COPPEAD, 2007, “Aspectos Técnicos e Logísticos para a Produção de Biodiesel no Brasil”. *Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- IEE, 2008, *Developing a Network of Actors to Stimulate Demand for Locally Produced Biodiesel from Used Cooking Oils*, Intelligent Energy Europe. Disponível em: <[http://ieea.erba.hu/ieea/page/Page.jsp?op=project\\_detail&prid=1453](http://ieea.erba.hu/ieea/page/Page.jsp?op=project_detail&prid=1453)>. Acesso em: 24 Jan 2008.
- IPCC, 2007, “Quarto Relatório de Avaliação do GT”. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>> acesso em: 17 nov 2007.
- LEITE P. R., 2003, *Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade*. São Paulo, Pearson Prentice Hall.
- LIN, L., CAO, L., WANG, J., ZHANG, C., 2007, “The Applications of Genetic Algorithms in Stock Market Data Mining Optimization”. Faculty of Information Technology, Sydney, Austrália.
- LORETO, A. B., CAMPOS, M. A., CLÁUDIO, D. M., TOSCANI, L. V., 2005, “Analisando a Complexidade Computacional de Problemas de Medidas de Tendência Central e Dispersão”. *XXVIII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, São Paulo, Brasil.
- MACULAN, N. e CAMPELLO, R. E., 1994, *Algoritmos e Heurísticas: Desenvolvimento e Avaliação de Performance*. Niterói, EDUFF, 228 p.
- MARTINHON, C., LUCENA, A., MACULAN, N., 2004, “Stronger K-tree relaxations for the vehicle routing problem”, *European Journal of Operational Research* v. 158, n. 1, pp. 56-71.
- MELO, A. C. S., 2001, “Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos”, *Revista Pesquisa Operacional*, V.21, n.2, Rio de Janeiro, Brasil.
- MIRANDA, M. N., 2008, *Algoritmos Genéticos: Fundamentos e Aplicações*. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/~marcio/genetic.html>>. Acesso em: 10 set 2008.
- MME, 2009, *Balanço Energética Nacional*. Ministério de minas e Energia – Governo do Brasil, disponível em: <<http://www.mme.gov.br – Balanço Energético>> acesso em: 07 mar 2009.
- MME, 2009, *Matriz Energética Mundial*. Ministério de minas e Energia – Governo do Brasil, disponível em: <<http://www.mme.gov.br – Balanço Energético>> acesso em: 07 mar 2009.
- MONTANÉ, F. A. T., GALVÃO, R. D., 2006, “A Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-up and Delivery Service”, *Computers & Operations Research*, v. 33, n. 3, pp. 595-619.
- NAGY, G., SALHI, S., 2005, “Heuristic Algorithms for Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries”, *European Journal of Operational Research*, v. 162, n. 1, pp. 126-141.
- NBB, 2008, *what is biodiesel?*, National Biodiesel Board. Disponível em: <<http://www.biodiesel.org/resources/definitions/default.shtm>>. Acesso em: 08 mar 2008.

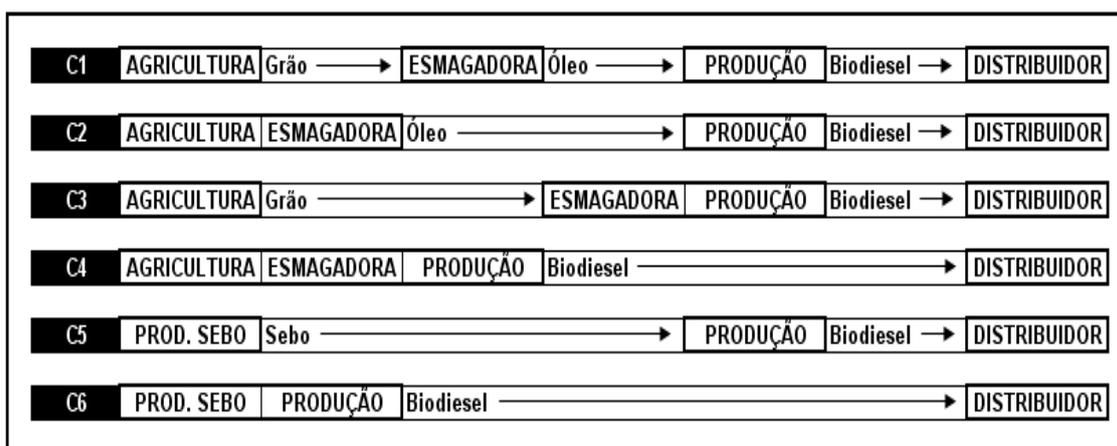
- NOVAES, A. G., 2004, *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição*. 2. ed. Rio de Janeiro, Editora Campus, v. 1. 500 p.
- OILCO, 2008, *Site da empresa*. Disponível em: <<http://www.oilco.co.uk/services.htm>>. Acesso em: 20 jan 2008.
- OR/MS TODAY, 2008, *Vehicle Routing Software Survey*. Institute for Operations Research and the Management Sciences. Geórgia, USA.
- PC, 2008, *Site da prefeitura de Curitiba*. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br>>. Acesso em: 25 Fev 2008.
- PCG, 2008, *Site da prefeitura de Campos dos Goytacazes*. Disponível em: <<http://www.campos.rj.gov.br/noticia.php?id=13061>>. Acesso em: 25 Fev 2008.
- PELIZARO, C., 2000, *Avaliação de Desempenho do Algoritmo de um Programa Comercial para Roteirização de Veículos*. M.Sc. Dissertação, USP - Engenharia Civil/Transportes, São Carlos, SP, Brasil.
- PENEDO P. L., 2008, *Informações a respeito da planta de produção de biodiesel da empresa Cesbra Química S/A*. Comunicação pessoal, gerência comercial. Cesbra Química S/A. Volta Redonda – RJ.
- PEREIRA, G. W., 2004, *Aplicação da Técnica de Recozimento Simulado em Problemas de Planejamento Florestal Multiobjetivo*. M.Sc. Dissertação, UFMG – Ciência da Computação, MG, Brasil.
- PI, 2008, *Indaiatuba produz Biodiesel Urbano desde Outubro de 2006*. Site da prefeitura de Indaiatuba. Disponível em: <<http://www.indaiatuba.sp.gov.br/gp/imprensa/noticias/5790/>>. Acesso em: 01 Mar 2008.
- PNAE, 2007, *Análise das Cadeias de Agro-Energia - Biodiesel*. Plano Nacional de Agro-Energia 2006-2011. República Federativa do Brasil.
- PNPB, 2004, *Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel*. Governo do Brasil.
- PP, 2008, *Site da prefeitura de Piracicaba*. Disponível em: <<http://www.piracicaba.sp.gov.br/>>. Acesso em: 25 Fev 2008.
- PPA, 2007, *Projeto: Destinação de Óleo de Fritura – Divulgação*. Enviado por e-mail pela Prefeitura de Porto Alegre.
- PPG, 2008, *Site da prefeitura de Ponta Grossa*. Disponível em: <<http://www.pontagrossa.pr.gov.br/node/3643>>. Acesso em: 25 Fev 2008.
- PRINS, C., 2004, “A Simple and Effective Evolutionary Algorithm for the Vehicle Routing Problem”, *Computers & Operations Research*, v. 31, n. 12, pp. 1985-2002.
- PROVE, 2007, *Estruturação e Modelagem Funcional*. Programa de Reaproveitamento de Óleos Vegetais do Estado do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- PRP, 2008, *Site da prefeitura de Ribeirão Preto*. Disponível em: <<http://www.ribeiraopreto.sp.gov.br/>>. Acesso em: 20 Fev 2008.
- PVR, 2008, *Informações a respeito do projeto de coleta de óleo residual na cidade de Volta Redonda*. Comunicação pessoal, Banco da Cidadania. Prefeitura de Volta Redonda – RJ.
- RENAUD, J., LAPORTE, G., BOCTOR, F. F., 1996, “A Tabu Search Heuristic for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem”, *Computers & Operations Research*, v. 23, n. 3, pp. 229-235.

- RICE, B., FROHLICH, A., LEONARD, R., 1997, "Biodiesel Production Based on Waste Cooking Oil: Promotion of the Establishment of an Industry in Ireland", *Final Report*. Agriculture and Food Development Authority, Oak Park Research Centre, Carlow, Ireland.
- RUSSELL, R. A., CHIANG, W. C., 2006, "Scatter Search for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", *European Journal of Operational Research*, v. 169, n. 2, pp. 606-622.
- SANTOS, R. L., 2006, *Uma aplicação de Algoritmos de Colônias de Formigas em Problemas de Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo*. M.Sc. Dissertação, PUC-RIO - Engenharia Industrial, RJ, Brasil.
- SCHOPF, E. C., CERA, M. C., TURCHETTI, R., VIEIRA, L. E., VAZ, C. A., MULLER, F. M., 2004, "Meta-heurísticas Aplicadas na Solução do Problema do Caixeiro Viajante com Demandas Heterogêneas", *XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Florianópolis, SC, Brasil.
- SECOMANDI, N., 2000, "Comparing Neuro-Dynamic Programming Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands", *Computers & Operations Research*, v. 27, n. 5, pp. 1171-1200.
- SOUZA FILHO, G. L., VASCONCELOS, M. M., ANJOS, T. C., CABRAL, L. A., 2006, "Aplicação da Meta-heurística Simulated Annealing para Otimização do Posicionamento de MCU's em uma Rede de Videoconferência Multiponto Centralizada", *XI Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional*, Curitiba, PR, Brasil.
- SUBRAMANIAN, A., MEDEIROS, J. M., CABRAL, L. A., SOUZA, M. J., 2006, "Aplicação da meta-heurística Busca Tabu na resolução do Problema de Alocação de Salas do Centro de Tecnologia da UFPB", *XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Fortaleza, CE, Brasil.
- TARANTILIS, C. D., 2005, "Solving the vehicle routing problem with adaptive memory programming methodology", *Computers & Operations Research*, v. 32, pp. 2309 – 2327.
- TIMON C. D., ELDON Y. L., DEFROSE C., 2005, "Dynamic Vehicle Routing for Online B2C Delivery", *Omega*, v. 33, n.1, pp. 33-45.
- TOIGO, R., VALLE, A. M., LAVRATTI, F. B., 2007, "Sistema de Roteirização de Entregas", *Revista Hifen*, v. 31, nº 59/60.
- TOTH, P., VIGO, D., 1999, "A Heuristic Algorithm for the Symmetric and Asymmetric Vehicle Routing Problems with Backhauls", *European Journal of Operational Research*, v. 113, pp. 528-543.
- TOTH, P., VIGO, D., 2002, "Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem", *Discrete Applied Mathematics* v. 123, pp. 487-512.
- TRANSPORTE MODERNO, 2008, *Custos Operacionais*. Revista, ano 45 – nº431.
- TRI-STATE BIODIESEL, 2008, *Site da empresa*. Disponível em: <<http://nyc.tristatebiodiesel.com/collect.htm>>. Acesso em: 16 jan 2008.
- UFOP, 2006, *Potentials for raw materials for the production of biodiesel* Associação de produtores de biodiesel da Alemanha. Disponível em: <[http://www.ufop.de/downloads/ufop\\_brochure\\_06.pdf](http://www.ufop.de/downloads/ufop_brochure_06.pdf)>. Acesso em: 08 mar 2008.
- UNICAMP, 2005, *Brasil já tem primeiro posto com biodiesel, mas ainda é preciso diminuir custos*, Reportagem. Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/noticias/2005/04/biodiesel.htm>>. Acesso em: 06 mar 2008.

- UPTOWN OIL, 2008, *Site da empresa*. Disponível em: <<http://www.oilco.co.uk/services.htm>>. Acesso em: 20 jan 2008.
- VECCHINI, D., 2006, *O Uso de Tecnologia na Cadeia de Suprimento e seus Impactos – Roteirizadores e Rastreadores*. Disponível em: <<http://www.esmb.ensino.eb.br/portalmnt/2jornlog/TIRastreamento&Roteiriza%E7%E3o.pdf>>. Acesso em: 24 set 2008.
- WADE, A. C., SALHI, S., 2002, “An Investigation Into a New Class of Vehicle Routing Problem with Backhauls”, *Omega*, v. 30, pp. 479-487.
- ZHANG Y., DUBÉ M.A., MCLEAN D.D. e KATES M., 2003, “Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis”, *Bioresource Technology*, v. 90, pp. 229-240.
- ZHONG, Y., COLE, M. H., 2005, “A Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows: A Guided Local Search Solution”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 41 n.2, pp. 131-144.

## ANEXO 1: DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DO CUSTO DO BIODIESEL NAS REGIÕES BRASILEIRAS

Este anexo apresenta, com detalhes, as distribuições percentuais do custo do biodiesel nas cinco regiões brasileiras, considerando algumas matérias-primas cultiváveis, como a soja, o algodão, o amendoim, o girassol, a mamona e o dendê. Também será apresentada a distribuição percentual do custo do biodiesel produzido a partir do sebo bovino nas regiões norte e nordeste.



Fonte: IBP/COPPE/COPPEAD, 2007.

**Figura 1a:** Cadeias de suprimento do biodiesel.

**Tabela 1a:** Distribuição percentual do custo do biodiesel na região Sul a partir das matérias-primas cultiváveis soja e algodão.

Oleaginosas	Soja				Algodão			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
Produção Grão	-	-	-	69%	-	-	-	45%
Compra Grão	-	-	76%	-	-	-	50%	-
Transporte Grão	-	-	2%	2%	-	-	6%	6%
Produção Óleo	-	-	5%	6%	-	-	10%	10%
Compra Óleo	64%	64%	-	-	56%	57%	-	-
Transporte Óleo	-	-	-	-	-	-	-	-
Compra Álcool	5%	5%	3%	3%	6%	6%	5%	5%
Transporte Álcool	-	-	-	-	-	-	-	-
Compra Catalisador	1%	1%	-	-	1%	1%	-	-
Produção Biodiesel	8%	8%	4%	4%	9%	9%	7%	7%
Transporte Biodiesel	2%	2%	1%	3%	1%	-	-	-
Custo ICMS	13%	13%	7%	7%	15%	15%	12%	12%
Custo PIS/COFINS	6%	6%	7%	7%	8%	9%	6%	11%
Outros	1%	1%	2%	2%	2%	2%	4%	4%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: IBP/COPPE/COPPEAD, 2007.

**Tabela 1b:** Distribuição percentual do custo do biodiesel na região Sudeste a partir das matérias-primas cultiváveis soja, algodão e amendoim.

Oleaginosas	Soja				Algodão				Amendoim			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
Produção Grão	-	-	-	69%	-	-	-	45%	-	-	-	62%
Compra Gão	-	-	78%	-	-	-	50%	-	-	-	72%	-
Transporte Grão	-	-	2%	2%	-	-	8%	8%	-	-	2%	2%
Produção Óleo	-	-	5%	6%	-	-	9%	9%	-	-	4%	4%
Compra Óleo	72%	72%	-	-	60%	61%	-	-	82%	82%	-	-
Transporte Óleo	2%	2%	-	-	2%	2%	-	-	1%	1%	-	-
Compra Álcool	6%	6%	3%	3%	7%	7%	5%	5%	4%	4%	4%	4%
Transporte Álcool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compra Catalisador	-	-	-	-	-	-	-	-	1%	1%	-	-
Produção Biodiesel	8%	8%	4%	4%	10%	9%	7%	7%	5%	5%	5%	6%
Transporte Biodiesel	1%	1%	-	-	2%	2%	-	-	1%	1%	-	-
Custo ICMS	5%	5%	5%	7%	8%	9%	12%	12%	6%	6%	9%	10%
Custo PIS/COFINS	5%	5%	1%	7%	9%	8%	6%	11%	-	-	2%	9%
Outros	1%	1%	2%	2%	2%	2%	3%	3%	-	-	2%	3%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: IBP/COPPE/COPPEAD, 2007.

**Tabela 1c:** Distribuição percentual do custo do biodiesel na região Centro-Oeste a partir das matérias-primas cultiváveis soja, algodão e girassol.

Oleaginosas	Soja				Algodão				Girassol			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
Produção Grão	-	-	-	68%	-	-	-	45%	-	-	-	51%
Compra Gão	-	-	75%	-	-	-	50%	-	-	-	57%	-
Transporte Grão	-	-	1%	1%	-	-	3%	3%	-	-	5%	5%
Produção Óleo	-	-	6%	7%	-	-	12%	12%	-	-	7%	7%
Compra Óleo	63%	63%	-	-	56%	56%	-	-	66%	65%	-	-
Transporte Óleo	2%	2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compra Álcool	5%	5%	3%	3%	6%	6%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Transporte Álcool	-	-	-	-	1%	1%	-	-	1%	1%	-	-
Compra Catalisador	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Produção Biodiesel	8%	8%	5%	5%	10%	10%	8%	8%	8%	8%	8%	7%
Transporte Biodiesel	2%	2%	1%	-	2%	2%	-	-	1%	2%	-	-
Custo ICMS	13%	13%	7%	7%	15%	15%	12%	12%	12%	12%	8%	11%
Custo PIS/COFINS	6%	6%	-	7%	8%	8%	6%	11%	5%	5%	5%	10%
Outros	1%	1%	2%	2%	2%	2%	4%	4%	2%	2%	5%	4%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: IBP/COPPE/COPPEAD, 2007.

**Tabela 1d:** Distribuição percentual do custo do biodiesel na região Nordeste a partir das matérias-primas cultiváveis soja, algodão e mamona.

Oleaginosas	Soja				Algodão				Mamona			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
Produção Grão	-	-	-	67%	-	-	-	45%	-	-	-	55%
Compra Gão	-	-	75%	-	-	-	50%	-	-	-	61%	-
Transporte Grão	-	-	1%	-	-	-	-	-	-	-	4%	4%
Produção Óleo	-	-	6%	6%	-	-	11%	11%	-	-	9%	9%
Compra Óleo	62%	62%	-	-	55%	55%	-	-	76%	76%	-	-
Transporte Óleo	3%	3%	-	-	3%	3%	-	-	2%	2%	-	-
Compra Álcool	5%	5%	3%	3%	6%	6%	5%	5%	4%	4%	4%	4%
Transporte Álcool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compra Catalisador	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Produção Biodiesel	8%	8%	4%	5%	9%	9%	8%	8%	5%	5%	7%	7%
Transporte Biodiesel	3%	3%	2%	2%	3%	3%	3%	3%	2%	2%	3%	-
Custo ICMS	12%	12%	7%	7%	15%	15%	12%	12%	8%	8%	10%	10%
Custo PIS/COFINS	6%	6%	-	7%	8%	8%	6%	11%	2%	2%	-	6%
Outros	1%	1%	2%	3%	1%	1%	5%	5%	1%	1%	2%	5%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: IBP/COPPE/COPPEAD, 2007.

**Tabela 1e:** Distribuição percentual do custo do biodiesel na região Norte a partir das matérias-primas cultiváveis soja e dendê.

Oleaginosas	Soja				Dendê			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
Produção Grão	-	-	-	65%	-	-	-	22%
Compra Gão	-	-	70%	-	-	-	31%	-
Transporte Grão	-	-	3%	3%	-	-	-	-
Produção Óleo	-	-	7%	7%	-	-	37%	39%
Compra Óleo	62%	62%	-	-	76%	76%	-	-
Transporte Óleo	8%	8%	-	-	6%	6%	-	-
Compra Álcool	5%	5%	3%	-	4%	4%	4%	5%
Transporte Álcool	-	-	-	-	-	-	-	-
Compra Catalisador	-	-	-	-	-	-	-	-
Produção Biodiesel	9%	9%	5%	5%	6%	6%	7%	8%
Transporte Biodiesel	5%	5%	3%	3%	3%	3%	4%	4%
Custo ICMS	4%	4%	7%	7%	1%	1%	10%	11%
Custo PIS/COFINS	5%	5%	-	6%	2%	2%	3%	7%
Outros	2%	2%	2%	4%	2%	2%	4%	4%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: IBP/COPPE/COPPEAD, 2007.

**Tabela 1f:** Distribuição percentual do custo do biodiesel nas regiões Norte e Nordeste a partir da matéria-prima residual sebo.

Região	NORTE		NORDESTE	
	Sebo		Sebo	
Resíduo	C5	C6	C5	C6
Cadeias	C5	C6	C5	C6
Produção Sebo	-	33%	-	34%
Compra Sebo	60%	-	59%	-
Transporte Sebo	3%	3%	3%	3%
Compra Álcool	7%	8%	7%	8%
Produção Biodiesel	11%	17%	11%	14%
Transporte Biodiesel	6%	4%	5%	6%
Custo ICMS	4%	14%	5%	16%
Custo PIS/COFINS	7%	18%	8%	17%
Outros	2%	3%	2%	2%
Total	100%	100%	100%	100%

Fonte: IBP/COPPE/COPPEAD, 2007.

## **ANEXO 2: DETALHAMENTO DAS EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA**

Este anexo apresenta uma das pesquisas utilizadas como base para a construção do Capítulo 3. Esta descreve algumas experiências internacionais de coleta de óleo residual de fritura. A primeira delas retrata o continente Europeu. Com a preocupação de incentivar a produção local em plantas de pequena escala, foi estabelecido um programa para o desenvolvimento de uma rede composta por 17 parceiros de 10 países com a finalidade de estimular a coleta de óleo residual de fritura (IEE, 2008).

O objetivo dessa rede é promover a troca de conhecimento, de informação e de experiência entre os atores envolvidos na produção de biodiesel que será utilizado como combustível no transporte público e privado. Neste sentido, são oferecidos *workshops*, seminários e materiais de estudo à distância. Os resultados almejados foram 12 novas plantas de produção em pequena escala, 30 novos postos de abastecimento de biodiesel e 2.000 veículos abastecidos com esse biocombustível (IEE, 2008).

Alguns países da Europa, como a Irlanda, se destacam quanto a programas de coleta de óleo residual de fritura. Em 1997, estimativas apontaram que 5.000 toneladas desse resíduo foram coletadas. Algumas estatísticas mostraram que 100.000 toneladas de óleo residual e gordura estavam sendo importadas a cada ano. Nesse país, a coleta de óleo residual de fritura foi estimulada pelo alto preço do óleo de colza, matéria-prima até então utilizada para a produção de biodiesel (RICE *et al.*, 1997).

Por essa razão, já se podia encontrar na Irlanda, em 2007, empresas especializadas em coletar o óleo residual de fritura. Uma dessas empresas é a *Frylite* que produz o óleo vegetal virgem e também cuida do retorno do produto por meio de um sistema de reciclagem. Esse sistema retira o óleo que acabou de ser utilizado e o submete a um processo de limpeza. Depois de limpo, o óleo retorna para ser utilizado novamente. Após alguns ciclos de uso, o óleo é coletado por um veículo ou é enviado por duto diretamente para uma planta de produção de biodiesel, se a mesma estiver próxima do local onde o óleo residual é gerado (FRYLITE, 2008).

Na Espanha (cidades de Montmeló e Torre Pacheco), são encontradas iniciativas para a produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura. O investimento para a

construção da planta de produção em Montmeló foi o de 3,6 milhões de euros e a planta tem capacidade anual de 18.000 toneladas. Esta é abastecida com o óleo residual de fritura proveniente de restaurantes e de outros estabelecimentos (BIODIESELSPAIN, 2008).

A experiência na cidade de Torre Pacheco envolve a realização de campanhas de conscientização dos moradores e dos estabelecimentos comerciais com o intuito de incentivar a doação. Nessa cidade não existia nenhum serviço de coleta doméstica de óleo residual de fritura e a única opção para sua reciclagem era depositar o resíduo em eco-parques, onde existem recipientes especiais para essa deposição. Já a responsabilidade de coleta fica a cargo da empresa Reagra. No total, são sete estações de coleta espalhadas na malha urbana. O destino é uma das três estações de tratamento que existem na Espanha, propriedades da empresa Bionet Europa (BIODIESELSPAIN, 2008).

Outra iniciativa é a do sindicato de trabalhadores de Aragon na Espanha que promovem a coleta de mais de 12.000 litros de óleo residual de fritura em um ano por meio da distribuição e do recolhimento de mil garrafas de um litro por mês. Já a cooperativa Porsiete na cidade de Salamanca coleta 30.000 litros de óleo residual de fritura por mês em restaurantes e residências (BIODIESELSPAIN, 2008).

No Reino Unido, 10.000 toneladas de óleo residual de fritura são coletadas por semana. Até recentemente, 90% desse volume eram usados para a produção de ração animal. No entanto, esse uso foi proibido por legislação européia e as empresas que coletam o óleo devem estar registradas para controle. Como exemplo de empresa que coleta o óleo residual de fritura no Reino Unido, tem-se a Oilco, que promove a coleta em escolas, estabelecimentos de *fast food* e restaurantes. Todo o óleo coletado é transformado em biodiesel (OILCO, 2008).

Outra empresa é a Anglian Oils Ltd, que coleta 4.500 toneladas de óleo por ano. Em cada coleta, o estabelecimento doador recebe um certificado comprovando o descarte legal do resíduo. A empresa fornece adequados recipientes com capacidades que variam de 15 a 1.000 litros. A coleta do óleo é realizada semanalmente, quinzenalmente ou mensalmente, mas a frequência da coleta também pode ser acordada entre as partes.

Antes de seguir para a produção de biodiesel, o óleo residual de fritura é aquecido, limpo e filtrado (ANGLIAN OILS, 2008).

Outro exemplo de empresa de coleta de óleo residual de fritura é a Uptown Oil em Londres. Os estabelecimentos doadores entram em contato para informar que há resíduo a ser coletado. A empresa, por sua vez, recebe gratuitamente o óleo e, ao mesmo tempo, fornece adesivos que mostram que o estabelecimento está contribuindo com a preservação do meio ambiente (UPTOWN OIL, 2008).

Outro país com tradição na coleta de óleo residual de fritura para a produção de biodiesel é a Áustria. O sistema de coleta de óleo residual de fritura, Oli System, adquiriu 151.000 toneladas em 2004. O sistema conta com 180 pontos de coleta e um centro de logística. O óleo residual de fritura pode ser acondicionado em recipientes de 3 litros, geralmente em domicílios, e 24 litros em restaurantes. Atualmente, 350.000 domicílios e 4.000 restaurantes participam do programa. Esse sistema traz mais comodidade para quem doa o óleo e para quem recolhe. O resultado é uma quantidade maior de doações e a redução dos custos de coleta (EHRENGRUBER, 2005).

Na Austrália, cidades como Adelaide possuem plantas de biodiesel que usam o óleo residual de fritura como matéria-prima. A cidade pretende receber o título de cidade verde no ano de 2010 e, por essa razão, incentiva a produção de biodiesel com a utilização do óleo residual de fritura que antes era descartado na rede de esgoto. No país, assim como na Europa, também existem empresas especializadas em coletar o óleo residual de fritura. Como exemplo, tem-se a empresa Auscol Collection Service (AUSCOL, 2008).

A coleta é geralmente realizada quando o recipiente já está cheio. A empresa recebe um telefonema do estabelecimento doador com essa informação, vai até o local e recolhe o recipiente cheio substituindo-o por um recipiente vazio. Para efetuar o recolhimento, a empresa analisa algumas informações antes de aceitar um cliente: a quantidade de óleo oferecido, a localização, questões de acesso, como o cliente está descartando o óleo e outras. Após visitar o cliente, a Auscol disponibiliza seu reservatório com capacidades de 210 ou 410 litros. Existem reservatórios de até uma tonelada de capacidade. Os reservatórios são entregues por motoristas da Auscol que são capacitados para promover

o treinamento dos clientes (AUSCOL, 2008).

O óleo residual de fritura gerado é drenado para dentro do reservatório por meio de uma mangueira do próprio reservatório. Os motoristas da Auscol visitam os clientes e esvaziam os reservatórios usando um tanque de vácuo. Toda visita é registrada num banco de dados. Após a coleta, o óleo é levado para um centro de processamento da Auscol mais próximo. Nesse centro, o óleo é filtrado, aquecido e tratado. Após essa etapa, o óleo residual de fritura é encaminhado para uma fábrica de produção de biodiesel (AUSCOL, 2008).

Já os Estados Unidos estão despertando para a reciclagem do óleo residual de fritura, em virtude de sua cultura alimentar, ainda baseada em frituras, com inúmeros restaurantes *fast food* espalhados pelo país. O fato é que vem crescendo o número de plantas de produção de biodiesel que utilizam exclusivamente o óleo residual de fritura como matéria-prima. Dependendo do volume e da logística de coleta, o emprego dessa matéria-prima torna-se viável em escala industrial, atraindo corporações empresariais (NBB, 2008).

Neste sentido, há um aumento do interesse pela produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura, que antes era restrito aos pequenos empreendedores (pessoas, entidades, associações e instituições ambientais). Além do apelo e da sensibilização da sociedade para as questões ambientais, surge a motivação comercial para essa produção. O suprimento de óleos residuais de fritura como matéria-prima para essas usinas é preponderantemente sustentado por meio de contratos de fornecimentos (NBB, 2008).

As organizações doadoras geralmente participam do ramo alimentício e possuem grandes redes de atuação (*fast foods*, restaurantes, indústria de alimentos fritos e outras), garantindo volumes mínimos e a continuidade indispensável para a auto-sustentabilidade dos empreendimentos. Como em outros países, existem várias iniciativas nos Estados Unidos para produção de biodiesel em pequeno-média escalas, até mesmo *in-house*, a partir de óleo residual de fritura (NBB, 2008).

Nos Estados Unidos também existem empresas especializadas na coleta do óleo residual de fritura, como a GeoGreen Biofuels na cidade de Los Angeles. O apelo da empresa

para adquirir novos doadores é baseado na preservação do meio ambiente e no oferecimento de um serviço de coleta grátis e com qualidade (GEOGREEN BIOFUELS, 2008).

Outro exemplo de empresa é a Tri-State Biodiesel na cidade de Nova York. Mais de 1.200 restaurantes em Manhattan, Brooklyn e Queens assinaram contrato para a doação do óleo residual de fritura. A empresa é certificada e licenciada para efetuar o serviço, fornece os recipientes sempre limpos para a armazenagem do óleo, trabalha com coletas programadas com profissionais devidamente uniformizados e possui banco de dados para agilizar o processo de coleta. A informação que o recipiente está cheio é propagada pela *internet* (TRI-STATE BIODIESEL, 2008).

### **ANEXO 3: DETALHAMENTO DAS EXPERIÊNCIAS NACIONAIS DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA**

Este anexo apresenta outra pesquisa utilizada como base para a construção do Capítulo 3. Esta descreve algumas experiências nacionais de coleta de óleo residual de fritura. A primeira delas acontece na região metropolitana do Rio de Janeiro, que possui área de 4.659 km<sup>2</sup>. A população é estimada em 11.351.937 habitantes, segundo censo do IBGE no ano 2007 (IBGE, 2008).

Uma das iniciativas para a coleta de óleo residual de fritura nessa região vem do programa Disque Óleo Vegetal Usado (DOVU), que funciona num galpão de 200 m<sup>2</sup>, no Trevo das Missões, em Duque de Caxias, no estado do Rio de Janeiro. Essa empresa coleta cerca de 80 mil litros de óleo por mês e armazena o resíduo em um galpão com capacidade de 100 mil litros (DOVU, 2008).

Os catadores, devidamente uniformizados e identificados, recolhem o óleo residual de fritura em estabelecimentos comerciais e em residências cadastradas alocado em galões ou em garrafas PET. O óleo coletado é despejado na cisterna de filtragem. Nessa etapa inicial, os principais resíduos do óleo são retirados por um sistema de peneiras. Após esse processo, o óleo é colocado no tanque de decantação, permanecendo por mais de duas horas, até que o óleo não contenha mais nenhum resíduo. Por fim, o óleo é armazenado em tanques e posteriormente vendido para as indústrias que produzem o sabão (DOVU, 2008).

Quanto à segurança, a Disque Óleo Vegetal Usado funciona dentro das normas estabelecidas pela FEEMA. Para evitar possíveis acidentes ambientais, foram construídos muros de contenção ao redor dos tanques. Todos os resíduos produzidos pela reciclagem do óleo residual de fritura são encaminhados para uma estação de tratamento da CEDAE e retirados da empresa por um caminhão com um sistema a vácuo. A Disque Óleo também utiliza galões com lacres de segurança. O cumprimento dessas exigências é obrigatório para a autorização e para a expedição da licença ambiental da FEEMA (DOVU, 2008).

Outro programa de destaque na coleta de óleo residual de fritura na região metropolitana do Rio de Janeiro é o Programa de Reaproveitamento do Óleo Vegetal –

PROVE. Com início no ano de 2007, o programa conta com a participação de cooperativas populares. O programa iniciou com 22 cooperativas. Além da rede de cooperativas populares, o programa conta com doadores, como empresas, colégios, instituições públicas, restaurantes, condomínios, vilas e residências. Algumas empresas, como o Banco Real, funcionam como eco-pontos ou pontos de coleta, tendo bastante representatividade dentro da coleta total (PROVE, 2007).

Para aderir ao programa, o doador deve assinar um termo de responsabilidade e compromisso em relação à doação e ligar sempre que o recipiente cedido pelo PROVE estiver cheio. O programa iniciou com 46 doadores sendo 26 eco-pontos, representados por 24 agências do Banco Real, uma filial do Grupo Wal-Mart e uma casa de espetáculos. Além dos eco-pontos, outros 20 doadores fornecem o óleo residual de fritura para o programa. São eles: quatro restaurantes, um clube, seis batalhões da Polícia Militar, três condomínios, três vilas, um colégio, um centro de reabilitação e uma residência (PROVE, 2007).

O programa conta com uma sala com computador e telefone, para receber as ligações dos doadores e 2.100 recipientes (bombonas) que são cedidos para o armazenamento do óleo residual de fritura. Para realizar a coleta, o programa conta com um veículo, um ajudante e um motorista que define a rota. Quanto aos clientes, a pretensão inicial era vender o óleo residual de fritura para a indústria de biodiesel representada pela refinaria de Manguinhos. O máximo que esta pagou foi R\$ 0,60 por litro quando o óleo foi considerado de boa qualidade. Já a indústria do sabão chegou a pagar R\$ 1,00 por litro independentemente da qualidade (PROVE, 2007).

Na cidade de Indaiatuba, localizada no estado de São Paulo e com área de 311 km<sup>2</sup>, a população estimada é de 173.508 habitantes, segundo censo do IBGE no ano de 2007 (IBGE, 2008). Um projeto criado na cidade, chamado Biodiesel Urbano, tem como objetivo coletar o óleo residual para a produção de biodiesel em planta na própria cidade. O projeto é uma parceria entre a Prefeitura de Indaiatuba, o Serviço Autônomo de Água e Esgotos (SAAE), a Universidade de Campinas e o Instituto Harpia Harpyia. No projeto Biodiesel Urbano, os equipamentos, a tecnologia e os catalisadores são patentes da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP (PI, 2008).

O óleo residual de fritura é recolhido em garrafas de plástico (PET), que podem ser entregues em 14 pontos de coleta distribuídos na cidade. Como forma de aumentar a doação de óleo, o SAAE lançou um concurso em 30 escolas públicas e privadas de Ensino Fundamental de Indaiatuba. Uma gincana foi realizada com 500 alunos do ensino fundamental que coletaram 4.000 litros de óleo, transportados em garrafas PET ou recipientes de plástico. Com um custo estimado de R\$ 0,80, o biodiesel produzido pela usina de Indaiatuba está sendo testado em vários veículos e equipamentos como retroescavadeiras da frota do SAAE. Alguns veículos são movidos exclusivamente a biodiesel, sem que se tenha identificado qualquer prejuízo para o desempenho do motor (PI, 2008).

Toda renda gerada pelo biodiesel produzido na usina de Indaiatuba é destinada ao Fundo Municipal de Alimentação e Nutrição, através da Lei Municipal 4.992, de 27 de setembro de 2006. Os recursos são empregados em projetos de inclusão social. A usina de biodiesel está instalada em um galpão da Secretaria Municipal dos Serviços Urbanos e Meio Ambiente (SEMURB) e tem a capacidade para produzir diariamente 1.000 litros de biodiesel, operando com dois funcionários. Estima-se que o potencial de coleta de óleo residual de fritura na cidade de Indaiatuba seja de aproximadamente 100 mil litros por mês (PI, 2008).

Na cidade de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul e com área de 497 km<sup>2</sup>, a população é estimada em 1.420.667 habitantes, segundo censo do IBGE no ano de 2007 (IBGE, 2008). O DMLU (Departamento Municipal de Limpeza Urbana) da cidade lançou o projeto de reciclagem de óleo residual de fritura. A Oleoplan e as empresas Celgon, Faros e Ecológica assinaram o convênio com o DMLU para o recolhimento e para a correta destinação dos óleos residuais (PPA,2008).

A Celgon utiliza o óleo para alimentar as caldeiras e também comercializa para fábricas de sabão e de biodiesel. Já a Faros produz uma farinha-base que servirá como pré-ração. A Oleoplan e a Ecológica são empresas de biodiesel. O projeto integra o Programa Pró-Dilúvio, que concentra diversas ações de saneamento e de educação ambiental visando à preservação do meio ambiente. Pelo convênio, a população poderá entregar o óleo residual de fritura acondicionado em uma garrafa plástica ou em um recipiente de vidro em um dos 24 postos do DMLU distribuídos em Porto Alegre (PPA, 2008).

A Oleoplan, tradicional indústria de esmagamento de soja, e as demais empresas recolherão os óleos dos postos e os encaminharão para reciclagem. A Oleoplan utilizará o óleo em sua usina de biodiesel, em Veranópolis, a primeira em operação na Região Sul. Ao chegar à usina, o óleo de fritura é limpo e tratado para então ser misturado a outros óleos que se transformam em biodiesel. A Oleoplan também tem convênio com a prefeitura de Veranópolis que disponibiliza postos de coleta. O volume de óleo residual de fritura coletado nessa cidade é de cerca de 1.000 litros e, com a adesão da população, poderá chegar a 10.000 litros por mês (PPA, 2008).

Já a cidade de Volta Redonda, localizada no sul do estado do Rio de Janeiro e com área de 182 km<sup>2</sup>, possui população estimada em 255.653 habitantes, segundo censo do IBGE no ano de 2007 (IBGE, 2008). Um projeto desenvolvido no município, chamado de Eco Óleo, iniciado em 15 de agosto de 2007, conta com a participação de 8 representantes de associações de moradores para a coleta de óleo residual de fritura para a produção de biodiesel. Campanhas de conscientização foram realizadas na cidade com intuito de incentivar a doação desse resíduo (PVR, 2008).

A estimativa para a quantidade de óleo que pode ser coletada na cidade foi realizada por meio da informação da venda mensal de óleo virgem pela rede de atacadistas e de supermercados. Essa quantidade mensal foi de aproximadamente 400.000 litros. Considerou-se que há a possibilidade de coleta de 20% desse total após o uso. Assim sendo, tem-se uma oferta de óleo residual de fritura mensal de 80.000 litros. No entanto, o programa coleta, em média, 10.000 litros por mês. O óleo é armazenado em recipientes (bombonas) e estes são transportados por meio de uma *pick-up*. O programa conta com 225 bombonas (PVR, 2008).

Aproximadamente 95 estabelecimentos comerciais doam o óleo residual de fritura. Outros pontos de coleta são 130 escolas, entre elas municipais, estaduais e particulares. Foi realizado um trabalho de conscientização com os alunos, funcionários e professores por meio de palestras e cartazes, com o intuito de aumentar a doação. O projeto também foi divulgado na cidade informando que qualquer pessoa pode doar na escola mais próxima ou de sua preferência. Todo o óleo coletado é vendido para a empresa Cesbra Química S/A (PVR, 2008).

Os únicos beneficiados financeiramente são as escolas e os coletores do programa Eco Óleo. Os coletores vendem o litro do óleo por R\$ 0,60 para a Cesbra. Os coletores ficam com R\$ 0,40 e repassam R\$ 0,20 para as escolas. Quando o óleo é proveniente de um estabelecimento comercial, o mesmo deve escolher uma escola para a qual será repassada os R\$ 0,20 por litro. Os estabelecimentos comerciais não recebem dinheiro, mas recebem um selo verde da prefeitura de Volta Redonda, indicando que esse estabelecimento está contribuindo para a preservação do meio ambiente (PVR, 2008).

Já a coleta do recipiente é realizada sempre quando o mesmo estiver cheio. Quando isso acontece, o responsável pela escola ou pelo estabelecimento liga para a sede da Eco Óleo. Por conseguinte, um veículo busca o recipiente e o deixa na sede em estoque para a sujeira do óleo decantar. Então, o óleo é despejado em um recipiente maior, com capacidade de mil litros, que depois de cheio é levado para a Cesbra (PVR, 2008).

A cidade de Ribeirão Preto, localizada no estado de São Paulo e com área de 650 km<sup>2</sup>, possui população estimada em 547.417 habitantes, segundo censo do IBGE no ano de 2007 (IBGE, 2008). Na cidade, o programa atuante é o "Biodiesel em Casa e nas Escolas", desenvolvido pelo Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas (LADETEL) da Universidade de São Paulo (USP). O projeto conta com mais de 80 parceiros em Ribeirão Preto, Franca, São Carlos, Jaboticabal, Matão, Araraquara e com as cidades mineiras de Passos e Itaú de Minas, além da participação de escolas de toda a região (PRP, 2008).

Ao todo são mais de 25 mil alunos participantes do projeto. Os parceiros no recolhimento do óleo residual de fritura exibem cartazes sobre o projeto e são identificados como amigos do meio ambiente, por meio do personagem "Bio", um químico caricaturado na forma de boneco. Nas escolas, palestras são realizadas e cartilhas explicativas do projeto são distribuídas. Alguns parceiros estimulam os alunos na troca do óleo residual de fritura por cupons para concorrer a prêmios e, em estabelecimentos comerciais, a cada quatro litros de óleo residual, a população pode trocar por um litro de óleo de soja comestível (PRP, 2008).

Outra cidade no estado de São Paulo com um programa de reciclagem de óleo residual de fritura é Piracicaba, com 1.370 km<sup>2</sup> de área e população estimada em 358.108

habitantes (IBGE, 2008). O programa, chamado Reciclador Solidário, conta com 56 cooperados que atuam em 12 bairros diferentes do município e mantém como pontos de coleta de óleo o Zoológico Municipal, um hipermercado e supermercados de uma rede de lojas. Para incentivar a doação, foi instituído no município um projeto de lei de coleta e de destinação de gorduras e óleos vegetais (PP, 2008).

O óleo coletado é destinado à fabricação de ração animal, de detergente e, o excedente da quantidade, para a produção de biodiesel. O preço do litro do óleo residual de fritura para usinas de biodiesel é variável, com média de R\$ 0,40 para o óleo peneirado e R\$ 0,25 para o óleo sujo. Como possíveis clientes para o óleo coletado, há duas empresas e duas usinas de biodiesel. O objetivo do programa é angariar o óleo gratuitamente por meio da conscientização ambiental propagada pelos meios de comunicação (PP, 2008).

Em Campos dos Goytacazes, 4.032 km<sup>2</sup> de área e população estimada em 426.154 habitantes (IBGE, 2008), no estado do Rio de Janeiro, foi lançado em 2007 o projeto de reaproveitamento de óleo residual de fritura para a produção de biodiesel numa empresa chamada Vital Planet. O objetivo foi o de empregar parte do biodiesel na frota da prefeitura, considerando a existência de microônibus, de caminhões e de máquinas agrícolas (PCG, 2008).

O projeto envolverá a Prefeitura de Campos dos Goytacazes, a Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (Pesagro) e a Vital Planet, com apoio das lideranças comunitárias, do empresariado do ramo de restaurantes e lanchonetes e da empresa Vital Engenharia, que realizará a coleta seletiva do resíduo. Na coleta seletiva, cada dez litros de óleo residual de fritura poderá ser trocado por uma lata de óleo de soja (PCG, 2008).

Em Curitiba, 435 km<sup>2</sup> de área e população estimada em 1.797.408 habitantes (IBGE, 2008), capital do estado do Paraná, um programa de recolhimento de óleo residual de fritura, chamado de Câmbio Verde, realiza a coleta em 78 pontos e em 21 terminais de ônibus da cidade. Depois de recolhido no sistema de coleta de lixo da cidade, o óleo residual de fritura é encaminhado para a reciclagem, onde é transformado em sabão, detergente e outros produtos (PC, 2008).

Na coleta feita nesses postos, dois litros de óleo dão direito a um quilograma de hortifrutigranjeiros. O material recolhido é encaminhado à usina de valorização de rejeitos da cidade e depois segue para uma empresa da região metropolitana especializada em reciclagem de óleo residual de fritura, com licença ambiental para a atividade. Para ser entregue, o óleo deve estar armazenado em garrafas PET. Os dias e os horários da coleta são informados por meio do *site* da prefeitura na *internet* (PC, 2008).

Em Ponta Grossa, 2.068 km<sup>2</sup> de área e população estimada em 306.351 habitantes (IBGE, 2008), no estado do Paraná, um projeto para coleta de óleo residual de fritura foi instaurado. com uma rede de panificadoras que doam o óleo residual de fritura gerado em sua produção. Ainda conscientizam seus clientes quanto à doação, com a utilização de *folders* e *banners*. As panificadoras são cadastradas como postos de entrega voluntária. Todo o óleo recolhido é repassado às associações de catadores de material reciclável (PPG, 2008).

A ação conta, também, com um clube que participa do processo com a realização de palestras e atividades de divulgação do programa. A expectativa com a implementação do projeto é o aumento do volume de coleta das associações de catadores de 500 para 2.500 litros mensais, que representará 10% do que já é coletado no município por duas empresas do ramo, que gira em torno de 25.000 litros por mês. A estimativa é que sejam gerados em Ponta Grossa cerca de 150 mil litros do resíduo por mês (PPG, 2008).

## **ANEXO 4: VARIAÇÕES DO PRV (PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS)**

Este anexo apresenta uma pesquisa com dez variações do problema de roteirização de veículos. Essa pesquisa auxiliou na construção do Capítulo 4.

### **Problema de roteirização de veículos com restrição de capacidade (PRVC)**

Segundo TOTH e VIGO (2002), essa é a versão básica determinística e estática do problema. Neste, todos os clientes são atendidos com entregas ou coletas e as demandas são determinísticas, isto é, conhecidas previamente. Os veículos são idênticos e partem de um depósito central e apenas as restrições de capacidade do veículo devem ser atendidas. O objetivo é minimizar o custo total (numero de rotas, distância ou tempo de viagem) necessário para servir todos os clientes.

TARANTILIS (2005) define o PRVC como uma versão clássica do PRV que pode ser formalmente conceituado como segue: seja o grafo  $G=(V,E)$ , onde  $V=\{u_0, u_1, \dots, u_n\}$  é o conjunto de vértices e  $E =\{(u_i, u_j): u_i, u_j \in V\}$  é o conjunto de arcos. O vértice  $u_0$  representa o depósito da frota de veículos homogêneos, isto é, veículos com mesma capacidade. Os demais vértices em  $V$  correspondem aos clientes. Cada cliente possui uma demanda não-negativa e um tempo de serviço. Uma matriz não-negativa de custo (distância ou tempo de viagem)  $C=[c_{ij}]$  é definida em  $E$ .

O número de veículos também é pré-determinado ou é tratado como uma variável de decisão. O PRVC consiste na designação de um conjunto de rotas de entrega e de coleta que devem atender a quatro exigências: (a) o custo total deve ser minimizado; (b) cada rota começa e termina no mesmo depósito; (c) cada cliente deve ser visitado apenas uma vez por apenas um veículo e (d) a demanda total da rota não deve exceder a capacidade do veículo. As três primeiras exigências também pertencem ao problema do caixeiro viajante que, por já ter sido amplamente estudado, ajudou na obtenção de algumas soluções propostas para o PRVC.

### **Problema de roteirização de veículos com restrição de capacidade e tempo máximo de rotas (PRVCTMR)**

Segundo GLADYS (2006), no PRV com restrições de capacidade e tempo máximo de rotas (limite de distância) é incluída a restrição adicional que a distância total (tempo

total) a ser percorrida por cada veículo não pode exceder um limite pré-especificado que inclui as distâncias (tempos) de viagem entre clientes e o tempo de serviço em cada cliente. O objetivo desse problema pode ser: minimizar o comprimento do trajeto total, o tempo de viagem ou o número de veículos.

Esse problema foi tratado por PRINS (2004) que associava cada cliente a um custo de entrega não-negativo. Nesse caso, o número de veículos foi tomado como variável de decisão. Como restrições para esse problema, têm-se que (1) a matriz de custo com dados reais deveria satisfazer à inequação  $c_{ik} + c_{kj} \geq c_{ij}$ , (2) a demanda de cada cliente não deveria exceder a capacidade do veículo e (3) o custo total de viagem de ida e volta para cada cliente não poderia exceder um limite máximo  $L$ . O objetivo era minimizar o custo total das viagens.

### **Problema de roteirização de veículos com janelas de tempo (PRVJT)**

Segundo RUSSELL e CHIANG (2006), o PRVJT é um problema logístico ou de gerenciamento da distribuição que tem muitas aplicações práticas. As aplicações típicas desse problema são: entrega de produtos em empresas, entrega em restaurantes, entrega de petróleo e gás, criação de rotas para ônibus escolar e serviços de patrulha. Esse problema possui, além das restrições do PRVC, restrições que definem os limites inferior e superior do tempo de serviço dos clientes, bem como a explicitação dessa duração.

O PRVJT tem múltiplos objetivos em que o principal é minimizar, não apenas o número de veículos requeridos, mas também a distância total percorrida pela frota. Segundo GLADYS (2006), o PRVJT é um PRV com a restrição adicional que associa uma janela de tempo a cada cliente. Na definição clássica do problema, se o veículo chega antes do instante de início da janela, deve esperar até o momento estabelecido para iniciar o atendimento do cliente; se chegar no intervalo da janela de tempo, atende a demanda do cliente no momento da chegada; se chegar após o fechamento da janela, o cliente pode não ser atendido.

No PRVJT, segundo BRAYSI *et al.* (2004), o objetivo é desenhar um conjunto de rotas de custo mínimo que tem início em um depósito central e atende clientes localizados em pontos dispersos. A rota deve ser realizada de tal modo que cada ponto deve ser visitado

apenas uma vez por apenas um veículo dentro de um intervalo de tempo estipulado. Todas as rotas começam e terminam no mesmo depósito e o total demandado pelos clientes de uma rota não pode exceder a capacidade do veículo. Também deve ser respeitada a restrição de janelas de tempo.

Os autores, RUSSEL e CHIANG, GLADYS e BRAYSI *et al.*, concordam que o PRVJT é o PRVC com a restrição de janelas de tempo. No entanto, as janelas de tempo consideradas podem ser de dois tipos: (1) janelas de tempo rígidas, em que as restrições de janelas de tempo não podem ser violadas e (2) janelas de tempo flexíveis, quando é permitido o serviço adiantado ou atrasado em relação à janela de tempo. Se o segundo caso for considerado, é adicionada uma penalidade ao valor da função objetivo.

### **Problema de roteirização de veículos com múltiplos depósitos (PRVMD)**

Uma empresa pode possuir vários depósitos que atendem a demanda de seus clientes. Se os clientes estão agrupados ao redor dos depósitos, cada problema pode ser tratado de forma independente. Assim sendo, segundo GLADYS (2006), o problema consiste em designar clientes aos depósitos e achar as rotas correspondentes. Cada depósito tem uma frota de veículos associada e cada veículo parte de um depósito, serve os clientes designados a esse depósito e depois retorna ao mesmo.

O objetivo do problema é servir a todos os clientes minimizando o número de veículos e a distância percorrida por eles. Segundo RENAULD *et al.* (1996), o PRVMD é difícil de ser solucionado, inclusive em situações de tamanho relativamente pequeno. Quando o número de depósitos é igual a um, o problema torna-se de roteirização comum que pode ser resolvido em situações com até 50 clientes, para o caso simétrico em que o custo da viagem de ida e de volta é equivalente. A aplicação desse problema é encontrada em diferentes contextos, como entrega de refeições, de produtos químicos, de produtos de petróleo, entre outros.

### **Problema de roteirização de veículos periódico (PRVP)**

No PRV, o período de planejamento é um dia. No caso do PRVP, o período de planejamento se estende a “D” dias, ou seja, um conjunto de clientes deve ser visitado, uma ou várias vezes, em um dado horizonte de tempo. O número de dias em que um veículo atende a um cliente não é fixo, mas um conjunto de datas para possíveis

atendimentos é associado a cada cliente. Uma frota de veículos é disponibilizada e cada veículo deixa o depósito, atende a um conjunto de clientes e, quando o tempo de serviço termina ou a carga atinge a capacidade máxima, retorna ao depósito.

De acordo com ANGELELLI e SPERANZA (2002), o objetivo do problema é a minimização da distância total percorrida pelos veículos num horizonte de tempo. Para GLADYS (2006), o objetivo do problema também pode ser o de minimizar a frota de veículos ou o tempo total da viagem. Para a solução do problema requerido, determina-se um roteiro de visita para cada cliente e para cada dia do horizonte de tempo, definindo as rotas para os veículos de modo que todos os clientes sejam atendidos.

O PRVP clássico consiste em um conjunto de clientes que devem ser atendidos por uma frota de veículos homogêneos. Estes iniciam e terminam a rota no mesmo depósito. Cada veículo tem uma capacidade fixa que não pode ser excedida e cada cliente tem uma demanda diária conhecida que deve ser completamente satisfeita em apenas uma visita e por exatamente um veículo. Nesse modelo clássico, a demanda diária de cada cliente é sempre fixa. O PRVP pode ser visto como um problema de geração de um grupo de rotas para cada dia, de tal forma que as restrições envolvidas sejam satisfeitas e o custo global seja minimizado.

Segundo DRUMMOND *et al.* (2001), a solução desse problema pode acontecer em três etapas. Na primeira etapa, o objetivo é gerar um conjunto de alternativas possíveis (combinações) para cada cliente. Por exemplo, se o período de planejamento for de três dias, as combinações serão: atendimento em um dos três dias, atendimento em dois dos três dias ou atendimento nos três dias, dependendo da necessidade do cliente. Na segunda etapa, deve-se selecionar uma combinação para cada cliente de modo que as restrições por dia sejam satisfeitas. Dessa forma, devem-se selecionar os clientes que serão visitados em cada dia. Na terceira etapa, soluciona-se o PRV para cada dia.

### **Problema de roteirização de veículos com entrega particionada (PRVEP)**

A opção de particionar a demanda permite que os clientes, com os quais a demanda exceda a capacidade do veículo, possam ser atendidos. O PRVEP foi abordado por DROR *et al.* (1994). O autor mostrou como a entrega particionada poderia trazer economias, tanto na distância total percorrida como no número de veículos utilizado.

DROR *et al.* (1994) também descreveu uma formulação de programação inteira para o problema e desenvolveu várias classes de restrições (DROR *et al.*, 1994, *apud* HO e HAUGLAND, 2004).

FRIZZEL e GIFFIN (1995) estudaram o problema com distâncias em rede, embora eles também tenham considerado restrições de janelas de tempo em sua segunda publicação. As heurísticas propostas por eles são especialmente adaptadas para o problema e para esse tipo de estrutura de rede. MULLASERIL *et al.* (1997) *apud* HO e HAUGLAND (2004) também abordou esse problema, com restrições de capacidade, entrega particionada e janela de tempo, aplicado a uma situação real de gerenciamento da distribuição de veículos para atender a uma fazenda de gado no Arizona (EUA). Segundo GLADYS (2006), essa variante do PRV permite que o cliente possa ser atendido por vários veículos, desde que o custo total seja reduzido por esse tipo de atendimento. Sendo assim, o objetivo desse problema pode ser o de minimizar a frota de veículos ou o tempo total de viagem.

#### **Problema de roteirização de veículos com cargas de retorno (PRVCR)**

Segundo ZHONG e COLE (2005), o PRVCR é uma extensão do problema clássico de roteirização em que dois tipos de clientes são atendidos. Alguns clientes demandam produtos que se encontram no depósito central e outros clientes necessitam que seus produtos sejam coletados e levados para esse mesmo depósito. Esses produtos são transportados por uma frota de veículos homogêneos, ou seja, com mesma capacidade. Métodos tradicionais para solucionar o PRVCR, como o dito clássico, não permitem que os clientes de coleta sejam visitados até que todos os clientes de entrega tenham sido atendidos.

No entanto, segundo WADE e SALHI (2002), existe também o problema conhecido como *mixed* PRVCR, quando é permitido atender aos clientes de entrega e de coleta ao longo da rota. Este é um problema mais realista, muitas vezes encontrado em aplicações práticas. De acordo com a aplicação, pode não ser adequado deixar para atender a todos os clientes de coleta no fim das rotas. Em outros casos, não deve ser prático que clientes de coleta sejam visitados muito cedo ao longo da rota, devido à inconveniência e tempo gasto para carregar o veículo.

No *mixed* PRVCR, além das restrições do caso clássico, tem-se a restrição que irá assegurar que a capacidade do veículo não será excedida. Isso faz com que o *mixed* PRVCR seja mais complicado devido à flutuação de carga. No PRVCR clássico é suficiente checar se a carga total dos clientes de entrega e o total de carga de clientes de coleta para cada rota, não exceda separadamente a capacidade do veículo. No *mixed* PRVCR, a carga do veículo pode diminuir ou aumentar dependendo da necessidade do cliente (entrega ou coleta). Por essa razão, é necessário assegurar que a capacidade do veículo não exceda o limite máximo ao longo da rota.

A solução do *mixed* PRVCR, segundo TOTH e VIGO (1999), tem sido buscada recentemente por trazer economias em termos de custo de transporte. Por exemplo, a *Interstate Commerce Commission* estima que a indústria de varejo americana economize anualmente 160 milhões de dólares com a otimização por esse método. O motivo em se empregar o método clássico para solução do PRVCR é que, em muitas aplicações, o cliente de entrega tem prioridade de atendimento em relação ao cliente de coleta.

### **Problema de roteirização de veículos com pedidos de coleta e entrega (PRVCE)**

O PRVCE é uma extensão do PRV, onde os veículos não são requeridos apenas para entregar produtos, mas também coletá-los. É considerado que um produto estocado em um cliente não possa ser transportado para outro. Em outras palavras, todo produto deve sair de um depósito ou chegar a ele. Também é considerado previamente que o número de veículos não é fixo. A função objetivo do PRVCE é minimizar a distância total percorrida pelos veículos, sujeita a restrições de máxima distância e de capacidade. Dentro desse problema, existem três modelos possíveis: (1) entrega primeiro e coleta depois, (2) entregas e coletas aleatórias e (3) entregas e coletas simultâneas.

Os dois primeiros modelos são componentes do PRVCR e, portanto, foram abordados no item anterior. No terceiro caso, clientes podem, ao mesmo tempo, receber e enviar produtos. Os problemas, no segundo e terceiro caso, podem ser modelados numa mesma estrutura. Segundo NAGY e SALHI (2005), o problema de entrega e coleta aleatória pode ser considerado como um problema simultâneo com carga de coleta ou de entrega nula, como também os cliente do problema simultâneo podem ser divididos em entidades de entrega ou de coleta originando a formulação da segunda situação. O

número de restrições para o problema simultâneo pode ser maior que no problema de entrega e coleta aleatória.

O problema de entrega e coleta simultânea, segundo MONTANÉ e GALVÃO (2006), é geralmente encontrado na indústria de refrigerantes, onde as garrafas vazias devem ser coletadas, enquanto as cheias devem ser entregues. Isso acontece sempre quando clientes não podem aceitar ser atendidos, em uma hora com entrega e em outra com coleta, pois isso aumentaria o esforço de manuseio e conseqüentemente os custos. Atualmente, as empresas estão mais preocupadas com a logística reversa e com o ciclo de vida de seus produtos. Por exemplo, as legislações de alguns países estão obrigando as empresas a darem destino aos resíduos de seus produtos, como cartuchos de impressora a *laser*. Essas questões, geralmente incentivadas por apelos à preservação ambiental, tornam a abordagem do PRVCE importante e essencial.

#### **Problema probabilístico de roteirização de veículos (PPRV)**

O PPRV surge sempre quando algum elemento do problema é definido de forma probabilística, como a demanda de clientes e tempos de viagem. Outras vezes não se sabe com certeza quais clientes de um conjunto serão visitados. Segundo GENDREAU *et al.* (1996), o PRV probabilístico é mais complexo e apenas problemas de pequeno porte podem ser otimizados. O PPRV, segundo SECOMANDI (2000), pode ser encontrado em diversas áreas de negócio, principalmente nas relacionadas com transporte de distribuição. No planejamento estratégico, por exemplo, após a identificação dos maiores clientes, a empresa de distribuição pode estar interessada em estimar a quantidade esperada de viagens para atender a esses clientes em um dia.

Dentro do universo dos problemas probabilísticos, GENDREAU *et al.* (1996) cita alguns, como o problema do caixeiro viajante com clientes probabilísticos (PCVCP), o problema do caixeiro viajante com tempos de viagem probabilísticos (PCVTVP), o problema de roteirização de veículos com demanda probabilística (PRVDP) e o problema de roteirização de veículos com clientes probabilísticos (PRVCP). O PRVDP é o mais estudado dos problemas probabilísticos. Neste, as demandas dos clientes são variáveis aleatórias geralmente consideradas independentes.

No PCVCP, cada vértice apresenta uma probabilidade “P” de necessidade de ser ou não atendido. Já o PRVCP é uma extensão desse último. Cada cliente tem certa probabilidade de participar da rota, mas sua demanda é determinística. A capacidade do veículo deve ser respeitada, como também todas as outras restrições do problema de roteirização clássico. No PCVTVP, os coeficientes que representam os tempos de viagem são variáveis probabilísticas. O tratamento para esse problema é definir, primeiramente, uma solução na qual a probabilidade de completar um ciclo é maximizada dentro de um dado limite de tempo.

### **Problema Dinâmico de roteirização de veículos (PDRV)**

Problemas de decisão em tempo real têm um papel muito importante na economia. PSARAFTIS (1995) *apud* GLADYS (2006) é o primeiro a introduzir o problema dinâmico de roteirização de veículos, classificando diferentes PRVs em estáticos ou dinâmicos. Para o autor, um problema de roteirização é estático se a solução de determinada formulação é um conjunto de rotas pré-planejadas que não serão re-otimizadas, ou seja, cujas operações são calculadas pela entrada de dados que não evoluem em tempo real. Um problema é dinâmico se a saída é um conjunto de rotas que forma parte de um plano de ação, que pode ser modificado em função dos dados de entrada que evoluem em tempo real.

A definição de LARSEN (2000) *apud* GLADYS (2006), para o problema de roteirização estático de veículos, é que toda a informação relevante no momento de planejar as rotas é assumida como conhecida pelo planejador antes que inicie o processo de roteirização. A informação relevante à roteirização não muda depois das rotas serem construídas. A definição para o problema dinâmico de roteirização de veículos é que nem toda a informação relevante no momento de planejar as rotas é conhecida pelo planejador quando o processo de roteirização se inicia. A informação pode mudar depois da construção das rotas.

Segundo TIMON *et al.* (2005), os algoritmos do PRV são melhores para solucionar os problemas onde os pedidos são planejados e repetidos. Entretanto, na era da informação atual, muitos pedidos são efetuados por meio da *internet*. Isso faz com que haja a necessidade de tratar o PRV de forma dinâmica. Os algoritmos para o PDRV permitem que os veículos atualizem seu programa de rota baseado em novas informações. A

maior diferença entre os algoritmos do PRV e PDRV é que os dados de entrada do PRV não sofrem mudança, enquanto os parâmetros para o PDRV são incertos ou podem ser alterados a qualquer momento. Neste contexto, o pedido de clientes e o tempo de viagem podem sofrer alteração a cada momento no PDRV.

No caso em que o tempo de viagem varia dinamicamente, isso ocorre geralmente em áreas urbanas devido a vários fatores, como acidentes, más condições de tráfego e mau tempo. Quando essas variações no tempo são ignoradas, como no caso do PRV estático, HAGHANI e JUNG (2005) alertam que o planejamento de entrega ou de coleta acaba não sendo cumprido ou não condiz com a realidade. Dessa forma, os clientes têm que esperar por longos períodos e sem informações confiáveis a respeito de quando sua carga será entregue. Uma vantagem competitiva do PDRV é a redução dos custos, que acontece quando novos clientes de entrega ou de coleta são inseridos na rota após a partida do veículo.

## **ANEXO 5: ASPECTOS COMPUTACIONAIS DO PRV**

Este anexo retrata uma pesquisa realizada com o intuito de fornecer um apoio teórico ao Capítulo 5. Nesta serão tratados a complexidade computacional, os tipos de algoritmos em programação computacional e quatro tipos de meta-heurísticas.

### **Complexidade computacional**

Segundo LORETO *et al.* (2005), o termo complexidade computacional refere-se aos recursos requeridos por um algoritmo para resolver um problema. Um desses recursos pode ser, por exemplo, o tempo que um algoritmo leva para encontrar a solução ótima de um problema. Esse tempo pode variar com a dimensão do problema, caracterizada pela quantidade de endereços que devem ser visitados por um mesmo veículo, no caso do PRV. Sendo assim, o grande desafio da teoria da complexidade computacional é encontrar algoritmos capazes de alcançar a solução exata e de exigir um esforço computacional (tempo) para serem processados, que cresça de modo polinomial com o tamanho do problema.

Segundo COELHO e CARDOSO (2003), quanto a sua complexidade, os problemas podem ser classificados como P (polinomiais) e NP (não-polinomiais). Os problemas com algoritmos polinomiais conhecidos constituem a classe P, enquanto os que podem ser resolvidos por algoritmos enumerativos irão compor a classe NP. Na classe de problemas NP, existe ainda uma subclasse designada por problemas NP-completos. Se um algoritmo polinomial para solucionar apenas um dos problemas NP-completos é encontrado, significa que esse mesmo algoritmo pode resolver qualquer outro problema NP. Outra subclasse é a de problemas NP-difíceis. Nessa subclasse, os problemas não necessariamente pertencem à classe NP. No entanto, se um problema da classe NP é NP-difícil, este também pode ser chamado de NP-completo.

Para os problemas das classes NP-completo e NP-difícil, não se espera encontrar um algoritmo eficiente para resolvê-los. De acordo com MACULAN e CAMPELLO (1994), não existem algoritmos eficientes para a solução de problemas de programação discreta<sup>9</sup>, como o problema do caixeiro viajante e o PRV. Segundo CUNHA (2003), todos os PRVs são pertencentes à classe de problemas NP-difíceis. Nessa subclasse, o

---

<sup>9</sup> Programação discreta: quando as variáveis do problema podem assumir valores discretos (ou pontuais).

esforço ou o tempo computacional para a obtenção da solução ótima cresce exponencialmente com o tamanho do problema. Sendo assim, qualquer problema NP-difícil tem a propriedade de não ser resolvido em tempo polinomial, a menos que o conjunto de problemas P seja igual ao conjunto de NP.

O conhecimento das classes de complexidade a que os problemas pertencem ajuda na obtenção de uma medida real quanto às soluções disponíveis e à expectativa de melhorar esses resultados. O fato de um problema de programação discreta ser classificado com NP-difícil, como acontece no caso do PRV com restrição de capacidade, é aceito como forte evidência da não existência de algoritmos polinomiais para sua resolução e, conseqüentemente, uma justificativa para a utilização de algoritmos enumerativos ou para o desenvolvimento e utilização de heurísticas. O próximo item abordará os tipos de algoritmos que podem ser programados ou que já são encontrados em *softwares* computacionais fechados.

### **Tipos de algoritmos em programação computacional**

Os algoritmos para resolução de problemas combinatórios podem ser sinteticamente divididos em três categorias: algoritmos exatos, heurísticos e meta-heurísticos. Segundo SANTOS (2006), os algoritmos exatos são aqueles que chegam à solução ótima de um problema. Toda vez que forem executados, esses algoritmos devem chegar a essa mesma solução ótima, consistindo em um modelo matemático puramente determinístico. Entretanto, esses algoritmos são muito complexos e custosos em termos computacionais, sendo sua aplicação inviabilizada para muitos tipos de problemas, como do caixeiro viajante e do PRV. Para esses problemas, que são comumente encontrados no mundo real, os algoritmos exatos se mostram inviáveis do ponto de vista prático, tornando sua aplicação restrita a pequenas instâncias de dados. Um exemplo de método exato é o *Branch and Bound* e seus derivados.

Ainda segundo o autor, um algoritmo heurístico, por sua vez, é normalmente caracterizado por passos simples, que não envolvem uma formulação matemática muito complexa, mas que ao serem executados levam a soluções razoavelmente boas. Isso é feito explorando-se de forma inteligente o espaço amostral de soluções. Como esse espaço pode possuir um tamanho descomunal, nem todas as soluções são avaliadas, mas somente aquelas que se encontram em áreas cobertas pelo algoritmo heurístico. Sendo

assim, abre-se mão de certa acuracidade na solução em prol de um tempo de computação aceitável. A diferença de qualidade dos diversos algoritmos heurísticos se reflete diretamente no quão distante da solução ótima uma dada solução encontrada se situa, além do tempo que se leva para chegar a essa solução.

Conforme abordado por CHAVES (2003), os algoritmos heurísticos foram desenvolvidos com a finalidade de resolver problemas de elevado nível de complexidade, sem garantir que a solução obtida seja ótima, em um tempo computacional razoável. Ao se pensar em um problema combinatório<sup>10</sup>, uma opção seria analisar todas as combinações possíveis para conhecer a melhor. Entretanto, esse processo é praticável apenas quando o universo de dados é pequeno. No caso de problemas reais, que possuem normalmente um número muito extenso de combinações, é impossível analisar todo o universo em um tempo computacional razoável. Neste sentido, segundo TOTH e VIGO (2002), os PRV encontrados na prática, geralmente com centenas de endereços, devem ser solucionados apenas com a aplicação de algoritmos heurísticos.

Já TARANTILIS (2005) afirma que os algoritmos heurísticos são métodos para obter soluções de problemas de otimização que realizem uma exploração limitada do espaço de busca, objetivando a produção de soluções relativamente satisfatórias com menor tempo possível. Conforme o autor, há três categorias básicas de algoritmos heurísticos. Estes são chamados simplesmente de heurísticas: (1) heurísticas de construção, (2) heurísticas de melhora de busca local e (3) heurísticas de duas fases. A primeira (1) usa os dados do problema para construir passo a passo a solução (um endereço por vez). Tipicamente, nenhuma solução é obtida até o processo estar completo. Uma maneira especial de construção é chamada de método “guloso” no qual, em cada etapa, o cliente selecionado para participar da rota é o que contribui com o menor custo para compor a solução parcial. Como exemplo de heurísticas de construção tem-se *Clarke and Wright*, *Mole and Jameson* e *Gillett and Miller*. Já a heurística de melhora de busca local (2) é um procedimento de busca iterativa que, começando de uma solução possível inicial (geralmente resultado da heurística de construção), melhora progressivamente a

---

<sup>10</sup> Problema combinatório: problema em que as possíveis soluções podem ser enumeradas. Uma dessas soluções ao ser substituída na função objetivo fará com que esta apresente um valor máximo ou mínimo.

qualidade da solução, aplicando uma série de modificações locais. Em cada iteração dessa heurística, é definido um conjunto de soluções próximas no espaço de busca. No processo de solução do PRV com restrição de capacidade, dentro de cada ciclo de iteração, um endereço (cliente) selecionado é inserido na mesma rota ou em outra rota com capacidade ociosa. Quanto à última categoria de heurísticas (3), esta agrupa primeiro os clientes para depois construir as rotas, usando uma inter-relação entre esses dois estágios. A heurística de duas fases não emprega um método unificado para combinar o agrupamento e a roteirização. Cada etapa usa um recurso próprio para obter a melhor solução possível.

Nas últimas décadas, muitos trabalhos foram desenvolvidos com o sentido de melhorar os métodos heurísticos, sem prejudicar a sua principal característica, a flexibilidade. Esses trabalhos deram origem às estratégias comumente conhecidas como meta-heurísticas. Essa última categoria de algoritmos, segundo CHAVES (2003), 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. A principal característica das meta-heurísticas é a capacidade que estas possuem de escapar de ótimos locais. Esses métodos de solução possuem um conceito mais geral que uma simples heurística, consistindo em um modelo de aplicação mais generalizada e abrangente, geralmente mais robustos e capazes de encontrar boas soluções para diferentes instâncias de dados.

Conforme SANTOS (2006), existem muitas definições teóricas que visam a diferenciar algoritmos heurísticos e meta-heurísticas, mas, em síntese, meta-heurísticas usualmente possuem algum tipo de memória e são capazes de sair de ótimos locais, descartando uma boa solução em prol de outra pior, porém que ofereça boas condições de levar a um ótimo global. As meta-heurísticas também são aplicáveis a diversos tipos de problemas e normalmente possuem como parte do algoritmo alguns elementos probabilísticos associados. Outro aspecto relevante das meta-heurísticas é que seus algoritmos são formados por outras heurísticas, englobando as de construção, as de melhoramento e as heurísticas de duas fases. Neste sentido, TARANTILIS (2005) afirma que a meta-heurística é o método de solução mais promissor e efetivo para o PRV. Segundo GLADYS (2006), de um conjunto de meta-heurísticas utilizadas para solucionar esse tipo de problema, as mais abordadas são: GRASP, Busca Tabu, Algoritmo Genético e

Recozimento Simulado.

### **Meta-heurística: GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedures)**

Segundo BELLO *et al.* (2006), a meta-heurística GRASP tem sido amplamente utilizada em diversas aplicações devido a sua simplicidade e efetividade. GRASP é um procedimento de várias buscas que consiste basicamente de duas etapas: construção e pós-processamento. Na etapa de construção, é utilizada uma função “gulosa” que avalia o benefício de inclusão de cada elemento que ainda não faça parte da solução. Com isso, é criada uma lista restrita de candidatos a serem incluídos, formada pelos elementos de melhor avaliação. De posse dessa lista, um elemento dentre eles é selecionado aleatoriamente, mas não necessariamente é o melhor. Após a escolha, a lista é atualizada para refletir as mudanças trazidas pela seleção anterior.

Já a etapa de pós-processamento tem a função de melhorar a solução obtida na etapa de construção. Um método de melhora comumente empregado é o designado como busca local. Esse método, utilizado no princípio em que a meta-heurística GRASP foi criada, está sendo substituído por outros métodos como, por exemplo, a busca dispersa. Entretanto, a efetividade do processo de melhora não depende apenas do tipo de método, mas também da qualidade das soluções obtidas na etapa de construção. Uma vantagem da meta-heurística GRASP é sua fácil implementação. Em contrapartida, sua principal desvantagem é não poder memorizar as informações coletadas durante o processo de busca.

### **Meta-heurística Busca Tabu (Tabu Search)**

A Busca Tabu, proposta para resolver problemas de programação inteira, pode ser empregada em diversas aplicações. Essa meta-heurística é um procedimento adaptativo que guia um algoritmo de busca local na exploração contínua do espaço de busca (GLOVER, 1986 *apud* SUBRAMANIAN *et al.*, 2006). Esse processo parte de uma solução inicial e, a cada iteração, há um movimento para a melhor solução na vizinhança, não aceitando os movimentos que levem a soluções já visitadas armazenadas em uma lista Tabu. Essa lista funciona como uma memória flexível armazenando soluções proibidas (Tabu), isto é, soluções que já foram encontradas anteriormente. As soluções proibidas são mantidas em memória durante um espaço de tempo ou durante certo número de iterações. A lista Tabu também evita que o algoritmo

de busca se execute em um círculo vicioso (GLOVER e LAGUNA, 1997 *apud* SCHOPF *et al.*, 2004).

Conforme GLOVER *et al.* (1995), a Busca Tabu é baseada na introdução de estruturas de memória flexível em conjunção com restrições estratégicas, com o objetivo de explorar o espaço de busca. A Busca Tabu tem a habilidade de gerar soluções de alta qualidade. Para problemas suficientemente pequenos e tratáveis, que podem ser solucionados por algoritmos exatos, a Busca Tabu produz tipicamente soluções otimizadas ou muito próximas disso, requerendo menos esforço na ordem de minutos. Em contrapartida, se esses mesmos problemas forem solucionados por algoritmos exatos, o tempo de processamento pode durar vários dias. Para problemas maiores e mais complexos, daqueles principalmente encontrados em situações práticas, a Busca Tabu produz soluções que podem ser consideradas concorrentes ou que podem ultrapassar as melhores soluções encontradas previamente por outros métodos.

#### **Meta-heurística: Algoritmo Genético**

Segundo LIN *et al.* (2007), Algoritmos Genéticos são métodos de otimização e busca inspirados nos mecanismos de evolução de populações de seres vivos. Esses algoritmos também seguem o princípio da seleção natural e o da sobrevivência do mais apto. Por essa razão, os parâmetros de entrada são representados por um vetor unidimensional chamado cromossomo. Cada elemento que compõe um cromossomo é designado como gene e um conjunto de cromossomos é conhecido como população. Deve-se observar que cada cromossomo corresponde a um ponto no espaço de soluções do problema de otimização. O processo de solução adotado nos Algoritmos Genéticos consiste em gerar, através de regras específicas, um grande número de indivíduos, de forma a promover uma varredura tão extensa quanto necessária do espaço de soluções. Esse processo é realizado com várias iterações e, em cada uma delas, a população é modificada, usando as melhores características dos elementos da geração anterior para produzir melhores resultados.

Observa-se que cada iteração do Algoritmo Genético corresponde à aplicação de um conjunto de operações básicas, como início, cálculo de aptidão, seleção, cruzamento e mutação. Na fase inicial, uma população é gerada aleatoriamente e cada cromossomo da população representa uma possível solução para o problema, ou seja, um ponto no

espaço de soluções. A próxima fase determina a aptidão dos cromossomos e os ordenam por meio do cálculo da função objetivo. Já na fase de seleção, os cromossomos mais aptos da geração atual são escolhidos. Esses cromossomos têm uma probabilidade de serem selecionados de modo proporcional a sua aptidão. Após a obtenção do conjunto de cromossomos aptos, estes são cruzados seguindo um processo. Primeiramente, a lista de cromossomos selecionados é embaralhada aleatoriamente, criando-se, dessa forma, uma segunda lista, chamada lista de parceiros. Cada indivíduo selecionado é então cruzado com o indivíduo que ocupa a mesma posição na lista de parceiros. Sendo assim, um novo cromossomo é gerado permutando-se a metade inicial de um cromossomo com a metade final do outro. Na última etapa, uma operação de mutação é utilizada para garantir uma maior varredura do espaço de soluções e para evitar que o Algoritmo Genético convirja muito cedo para mínimos locais. A mutação é efetuada alterando-se o valor de um gene de um cromossomo, sorteado aleatoriamente, com uma determinada probabilidade de mutação (MIRANDA, 2008).

#### **Meta-heurística: Recozimento Simulado (Simulated Annealing)**

A técnica de Recozimento Simulado, assim como a técnica dos Algoritmos Genéticos, pertence à classe dos métodos naturais para a resolução de problemas de otimização combinatória. Também consiste em uma técnica de busca local probabilística, que se fundamenta em uma analogia com a termodinâmica, ao simular o resfriamento de um conjunto de átomos aquecidos, operação conhecida como recozimento. Essa técnica começa sua busca a partir de uma solução inicial qualquer. O procedimento principal consiste na geração aleatória de um vizinho da solução corrente em cada iteração. Se a variação do valor da função objetivo for negativa, considerando um problema de minimização, o método aceita o movimento e a solução vizinha passa a ser a nova solução corrente. Caso a variação seja nula, a solução vizinha candidata também poderá ser aceita, de acordo com uma probabilidade regulada por um parâmetro (temperatura) (SOUZA FILHO *et al.*, 2006).

Os algoritmos de busca local geralmente apresentam o inconveniente de estacionar num ótimo local, o que não acontece no caso da técnica de Recozimento Simulado. Essa meta-heurística utiliza uma probabilidade de aceitação de uma solução que piora a solução corrente, o que implica na possibilidade de se escapar de um ótimo local. Essa probabilidade vai diminuindo, à medida que se aproxima da solução ótima. Uma das

vantagens do Recozimento Simulado é que, em cada iteração, uma única solução é visitada conservando a eficiência do algoritmo, ao contrário de muitas técnicas, como os Algoritmos Genéticos e a Busca Tabu. Quanto à principal desvantagem do Recozimento Simulado, cita-se a utilização de poucas informações do problema. De modo geral, essa meta-heurística utiliza somente a variação do valor da função objetivo nas avaliações dos movimentos, não considerando outros aspectos característicos do problema na pesquisa do espaço de soluções (PEREIRA, 2004).

## ANEXO 6: PESQUISA 2008 DE *SOFTWARES* DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Este anexo apresenta uma pesquisa publicada pela revista americana *OR/MS TODAY* em 2008. Esta trata das características de alguns *softwares* de roteirização de veículos encontrados no mercado mundial.

**Tabela 6a:** Sistema operacional dos *softwares* computacionais.

Produto	Empresa	Ano do lançamento	Windows	Linux	Unix	Mac OS	Web	ASP
ORTEC Routing and Scheduling	ORTEC	1981	sim	não	não	não	não	não
Roadnet Transportation Suite	UPS Logistics Technologies	1983	sim	sim	sim	não	sim	não
TruckStops Routing and Scheduling Software	MicroAnalytics	1984	sim	não	não	não	não	não
The LogiX Suite	Distribution Planning Software Limited	1985	sim	não	não	não	sim	sim
DISC	MJC2 Limited	1990	sim	sim	sim	não	sim	sim
REACT	MJC2 Limited	1990	sim	sim	sim	não	sim	sim
STARS 5.0	SAITECH, Inc.	1995	sim	não	sim	não	sim	sim
Direct Route	Appian Logistics Software, Inc.	1996	sim	não	não	não	sim	sim
ILOG Dispatcher	ILOG, Inc.	1997	sim	sim	sim	não	sim	sim
Paragon Routing and Scheduling System	Paragon Software Systems, Inc.	1997	sim	não	não	não	sim	não
Prophecy Total Transportation System	Prophecy Transportation Solutions	1999	sim	não	não	não	não	sim
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	Optrak Distribution Software	2002	sim	não	não	não	não	não
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	Magellan Ingenierie	2002	sim	não	não	não	não	não
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	Spatial Decisions Support Systems	2003	não	não	não	não	sim	sim
StreetSync Desktop	RouteSolutions, Inc.	2005	sim	não	não	não	não	não
Roadnet Anywhere	UPS Logistics Technologies	2006	sim	não	não	não	sim	sim
Descartes Routing & Scheduling	The Descartes Systems Group	n/e	sim	não	não	não	não	não
JOpt.SDK	DNA Evolutions	n/e	sim	sim	sim	não	sim	sim

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*.

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6b:** Tamanho máximo do problema solucionável pelo sistema.

<b>Produto</b>	<b>Número de paradas</b>	<b>Número de veículos</b>	<b>Número de terminais</b>
ORTEC Routing and Scheduling	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
Roadnet Transportation Suite	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
TruckStops Routing and Scheduling Software	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
The LogiX Suite	Mais de 50.000 por programação	999 por programação	Ilimitado
DISC	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
REACT	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
STARS 5.0	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
Direct Route	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
ILOG Dispatcher	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
Paragon Routing and Scheduling System	500	20	3
Prophesy Total Transportation System	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	n/e	n/e	n/e
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
StreetSync Desktop	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
Roadnet Anywhere	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
Descartes Routing & Scheduling	Mais de 100	Mais de 10.000	Ilimitado
JOpt.SDK	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*.

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6c:** Tamanho máximo do problema solucionável pelo sistema (continuação).

<b>Produto</b>	<b>Hardware recomendado</b>	<b>Velocidade do processador</b>	<b>Memória</b>	<b>Espaço no disco</b>
ORTEC Routing and Scheduling	n/e	2 x 3.0 GHz	4 GB Ram	100 GB dependendo da cobertura do mapa
Roadnet Transportation Suite	n/e	n/e	n/e	n/e
TruckStops Routing and Scheduling Software	PC, Servidor opcional	1.4 GHz ou mais	256 MB	1 GB
The LogiX Suite	PC ou servidor	Pentium 3 ou Quad Core Servers	Para PC mínimo de 1GB - Server mínimo de 2GB	40 GB
DISC	n/e	n/e	n/e	n/e
REACT	n/e	n/e	n/e	n/e
STARS 5.0	Windows PC ou Servidor	3 GHz	2 GB	1 GB
Direct Route	PC ou servidor	1.8 GHz ou mais	1 GB no mínimo	40 GB
ILOG Dispatcher	n/e	2 GHz ou mais	500 Mb ou mais	n/e
Paragon Routing and Scheduling System	PC / Servidor Windows	Fast Pentium 4, e.g. 3.6 GHz	No mínimo 512 MB	2 GB
Prophesy Total Transportation System	Windows 2000 ou mais recentes	1 GHz ou mais	512 MB	100 MB
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	PC Windows XP	3 GHz	2 GB	60 GB
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	Pentium IV dedicado	n/e	Mais de 1 GB	5 GB
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	n/e	n/e	n/e	n/e
StreetSync Desktop	PC Intel / Windows	1 GHz ou mais	512 MB ou mais	Pelo menos 1 GB
Roadnet Anywhere	PC com acesso à Internet	n/e	n/e	n/e
Descartes Routing & Scheduling	n/e	n/e	n/e	n/e
JOpt.SDK	Intel	2 GHz	4 GB	10 MB

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*.

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6d:** Desempenho dos *softwares* de roteirização.

Produto	Tempo computacional	Tipos de algoritmos empregados	Aproximações são usadas para reduzir o tempo computacional?
ORTEC Routing and Scheduling	2-15 minutos	Heurística de busca local	n/e
Roadnet Transportation Suite	Mais de 30 segundos	n/e	não
TruckStops Routing and Scheduling Software	De 1 a 5 minutos	n/e	não
The LogiX Suite	n/e	n/e	n/e
DISC	Poucos segundos ou minutos	n/e	n/e
REACT	Poucos segundos ou minutos	n/e	n/e
STARS 5.0	30 segundos a 2 minutos	Heurística de busca local	não
Direct Route	3-5 Minutos	n/e	não
ILOG Dispatcher	n/e	Heurística de busca local	não
Paragon Routing and Scheduling System	Por volta de 2 minutos	Economia em custo e melhoramento	não
Prophesy Total Transportation System	10 minutos	n/e	sim
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	20 minutos	n/e	n/e
TouxSolver for MapPoint / MapInfo Pro	n/e	n/e	não
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	1-5 minutos	Metaheurística Simulated Annealing	não
StreetSync Desktop	Mais de 15 minutos	n/e	n/e
Roadnet Anywhere	Mais de 30 segundos	n/e	não
Descartes Routing & Scheduling	Menos de 3 segundos	n/e	n/e
JOpt.SDK	aproximadamente 20 minutos em 2 GHz	Algoritmo genético	n/e

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*.

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6e:** Peculiaridades da roteirização.

<b>Produto</b>	<b>Nós</b>	<b>Arcos</b>	<b>Tempo real</b>	<b>Tempo real de parada</b>	<b>Diária</b>	<b>Planejamento</b>	<b>Tempo real de tráfego</b>
ORTEC Routing and Scheduling	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Roadnet Transportation Suite	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
TruckStops Routing and Scheduling Software	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
The LogiX Suite	sim	não	sim	sim	sim	sim	não
DISC	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
REACT	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
STARS 5.0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
Direct Route	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
ILOG Dispatcher	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
Paragon Routing and Scheduling System	sim	sim	não	sim	sim	sim	não
Prophesy Total Transportation System	sim	sim	sim	não	sim	sim	não
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	sim	não	não	não	sim	sim	não
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	sim	não	não	não	sim	sim	não
StreetSync Desktop	sim	não	não	não	sim	sim	não
Roadnet Anywhere	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
Descartes Routing & Scheduling	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
JOpt.SDK	sim	não	não	sim	sim	sim	sim

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6f:** Aspectos relacionados ao sistema de informação geográfica.

<b>Produto</b>	<b>Mostra rotas e paradas no mapa</b>	<b>Pode editar rotas</b>	<b>Geocódigos de paradas dos endereços</b>
ORTEC Routing and Scheduling	sim	sim	sim
Roadnet Transportation Suite	sim	sim	sim
TruckStops Routing and Scheduling Software	sim	sim	sim
The LogiX Suite	sim	não	sim
DISC	sim	sim	sim
REACT	sim	sim	sim
STARS 5.0	sim	sim	sim
Direct Route	sim	sim	sim
ILOG Dispatcher	não	não	não
Paragon Routing and Scheduling System	sim	sim	sim
Prophecy Total Transportation System	sim	sim	sim
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	sim	sim	sim
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	sim	não	sim
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	sim	sim	sim
StreetSync Desktop	sim	sim	sim
Roadnet Anywhere	sim	sim	sim
Descartes Routing & Scheduling	sim	sim	sim
JOpt.SDK	não	não	não

Fonte: *ORMS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6g:** Aspectos relacionados ao preço dos *softwares* computacionais.

Produto	Valor da licença (50 Rotas)	O valor da licença inclui o mapa de determinada região?	Qual a marca do mapa?	Custo da instalação	Tempo necessário para instalação (50 rotas)
ORTEC Routing and Scheduling	n/e	sim	NAVTEQ	n/e	2 - 5 dias
Roadnet Transportation Suite	n/e	n/e	n/e	\$120/hora	80 horas
TruckStops Routing and Scheduling Software	\$9,500	n/e	MapPoint, PC*Miler, Generic	incluído na custo de suporte	24 - 48 horas
The LogiX Suite	De £300.00 a £30,000.00	n/e	DPS & NAVTEQ	15% do preço de compra	n/e
DISC	n/e	sim	n/e	n/e	n/e
REACT	n/e	sim	n/e	n/e	n/e
STARS 5.0	n/e	sim	ChicagoMap, MapInfo, MapDK	\$100 - \$125/hora	3 - 10 dias
Direct Route	n/e	sim	Teleatlas, NAVTEQ	\$100/hora	24 horas
ILOG Dispatcher	n/e	n/e	n/e	n/e	n/e
Paragon Routing and Scheduling System	\$70,000 para 100 veículos	sim	NAVTEQ	\$755 ou \$930/dia	80 horas
Prophesy Total Transportation System	n/e	sim	ESRI	n/e	2 dias
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	n/e	n/e	Ordinance Survey or NAVTEQ	£650/dia	50 horas
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	A partir de \$4,000	sim	n/e	n/e	n/e
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	n/e	sim	n/e	incluído na taxa de licença	3 - 5 dias
StreetSync Desktop	< \$10,000	sim	NAVTEQ	\$125/hora	n/e
Roadnet Anywhere	n/e	sim	TeleAtlas	n/e	n/e
Descartes Routing & Scheduling	n/e	n/e	n/e	n/e	n/e
JOpt.SDK	n/e	n/e	MapPoint	n/e	< 1 hora

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*.

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6h:** Aspectos relacionados às restrições de janela de tempo.

<b>Produto</b>	<b>O sistema aceita janelas de tempo flexíveis?</b>	<b>Se sim, como essa janela de tempo está especificada?</b>
ORTEC Routing and Scheduling	sim	por meio de penalidades
Roadnet Transportation Suite	sim	n/e
TruckStops Routing and Scheduling Software	sim	n/e
The LogiX Suite	não	n/e
DISC	sim	n/e
REACT	sim	n/e
STARS 5.0	sim	máximo atraso permitido
Direct Route	sim	janela multi-temporal + penalidade
ILOG Dispatcher	sim	por meio de penalidades na função custo
Paragon Routing and Scheduling System	sim	especificando a ampliação do tempo flexível
Prophesy Total Transportation System	sim	intervalo de tempo
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	não	n/e
ToutSolver for MapPoint / MapInfo Pro	sim	indicador de pontualidade
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	sim	n/e
StreetSync Desktop	não	n/e
Roadnet Anywhere	não	n/e
Descartes Routing & Scheduling	sim	parâmetros da roteirização
JOpt.SDK	sim	n/e

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*.

Fonte: *ORMS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6i:** Itens disponíveis no pacote de compra dos *softwares* computacionais.

Produto	Display eletrônico on-board	Mensagens via rádio	Rastreador de veículo em tempo real	Scanner de código de barras	Software para gerenciamento da cadeia de suprimentos	Processamento do pedido do cliente	Computador para auxiliar o despacho de veículos de emergência, bombeiros e polícia
ORTEC Routing and Scheduling	não	não	não	não	não	não	não
Roadnet Transportation Suite	sim	sim	sim	sim	não	não	não
TruckStops Routing and Scheduling Software	sim	sim	sim	não	não	sim	não
The LogiX Suite	não	não	não	não	não	não	não
DISC	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
REACT	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
STARS 5.0	não	sim	sim	não	sim	sim	não
Direct Route	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
ILOG Dispatcher	não	não	não	não	sim	não	não
Paragon Routing and Scheduling System	não	sim	sim	não	não	não	não
Prophecy Total Transportation System	sim	sim	sim	não	não	não	não
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	sim	sim	sim	não	não	não	não
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	não	não	não	não	não	não	não
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	não	sim	sim	não	não	não	não
StreetSync Desktop	sim	sim	sim	sim	não	não	não
Roadnet Anywhere	sim	sim	sim	não	não	não	não
Descartes Routing & Scheduling	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
JOpt.SDK	não	não	não	não	sim	sim	não

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6j:** Funções dos *softwares* de roteirização de veículos.

<b>Produto</b>	<b>Nomear individualmente motoristas</b>	<b>Instruções de rotas alternativas</b>	<b>Previsão automática de entregas</b>	<b>Manifestos de carga</b>	<b>Plano de carregamento</b>
ORTEC Routing and Scheduling	sim	sim	sim	sim	sim
Roadnet Transportation Suite	sim	sim	sim	sim	sim
TruckStops Routing and Scheduling Software	sim	sim	não	sim	sim
The LogiX Suite	sim	sim	sim	sim	não
DISC	sim	sim	sim	sim	sim
REACT	sim	sim	sim	sim	sim
STARS 5.0	sim	sim	não	sim	sim
Direct Route	sim	sim	sim	sim	sim
ILOG Dispatcher	sim	não	não	não	não
Paragon Routing and Scheduling System	sim	sim	sim	sim	sim
Prophesy Total Transportation System	sim	sim	não	sim	sim
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	sim	sim	sim	sim	sim
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	sim	sim	não	sim	sim
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	sim	sim	não	não	não
StreetSync Desktop	sim	sim	sim	sim	sim
Roadnet Anywhere	sim	sim	não	não	não
Descartes Routing & Scheduling	sim	sim	sim	sim	não
JOpt.SDK	sim	não	sim	não	não

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6k:** Tipos de frotas que empregam os *softwares* de roteirização.

Produto	Entrega e coleta local	Cargas a curtas distâncias	Cargas a longa distância	Correio	Ônibus	Táxis	Frotas de serviço	Serviços de emergência (polícia, bombeiro, etc)
ORTEC Routing and Scheduling	sim	sim	sim	não	não	sim	sim	não
Roadnet Transportation Suite	sim	sim	sim	sim	não	não	sim	não
TruckStops Routing and Scheduling Software	sim	sim	sim	sim	não	não	sim	não
The LogiX Suite	sim	sim	sim	sim	não	sim	não	sim
DISC	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
REACT	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
STARS 5.0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
Direct Route	sim	sim	sim	sim	não	não	sim	não
ILOG Dispatcher	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
Paragon Routing and Scheduling System	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim	não
Prophesy Total Transportation System	sim	não	sim	sim	sim	não	sim	não
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	sim	sim	sim	não	não	não	não	não
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	sim	não	não	sim	não	não	sim	não
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	não	não	não	não	sim	não	não	não
StreetSync Desktop	sim	não	não	sim	não	não	sim	não
Roadnet Anywhere	sim	sim	sim	sim	não	não	sim	não
Descartes Routing & Scheduling	sim	sim	não	sim	não	não	sim	não
JOpt.SDK	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6l:** Características e recentes inovações dos *softwares* computacionais.

Produto	Outras características especiais	Recentes inovações no sistema
ORTEC Routing and Scheduling	Soluções industriais para <i>commodities</i> e serviços.	Relação com SAP. Servidor <i>Map</i> para suportar uma grande cobertura do mapa a nível de detalhamento de ruas.
Roadnet Transportation Suite	Inclui planejamento estratégico, roteirização diária, entrega <i>wireless</i> e relatório <i>web</i> .	Desenvolvimento de <i>software</i> como uma plataforma para partilhar/expor lógicas e processos de negócio.
TruckStops Routing and Scheduling Software	Planejamento de tempo e espaço e roteirização diária.	Integração com sistemas de rastreamento de frotas em tempo real.
The LogiX Suite	n/e	n/e
DISC	Otimização integrada de depósitos, fornecedores, estoque e cadeia de suprimentos.	Melhoramento contínuo da performance e resolução de grandes problemas de roteirização em segundos.
REACT	Solução flexível para otimizar frotas amplas em tempo real.	Melhoramento contínuo da performance e resolução de grandes problemas de roteirização em segundos.
STARS 5.0	Cargas em 3D, arranjo do compartimento de carga dos veículos, entrega e carregamento de multi-depósitos.	Calcula emissões de CO <sub>2</sub> e considera o estoque.
Direct Route	Planejamento de tempo e espaço e otimização unitária de motoristas.	Interface com arquivos XML, controle do tempo planejado conforme o real e integração com celular.
ILOG Dispatcher	Estrutura de programação para restrições cotidianas ou estratégicas.	n/e
Paragon Routing and Scheduling System	n/e	Integração entre gerenciamento de recursos e otimização e programação de rotas.
Prophesy Total Transportation System	n/e	Pedido de rastreamento na <i>internet</i> desde a primeira entrada até a entrega final no cliente.
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	n/e	n/e
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	n/e	n/e
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	Suporte complexo à roteirização, critério de controle da rede para o usuário e função baseada no acesso <i>web</i> .	Sistema de gerenciamento de transporte habilitado <i>web</i> e mapeamento registrado.
StreetSync Desktop	Suporte adicional para vários países da Europa. Tecnologia adicional em veículos.	Integração acentuada para banco de dados de clientes.
Roadnet Anywhere	Base <i>web</i> para facilitar o uso da roteirização diária e aplicações de rastreamento.	Combinação dos sistemas de despacho e rastreamento com roteirização e comunicação.
Descartes Routing & Scheduling	Frota privada e integração contratual com o motorista autônomo (gerenciamento de transporte).	n/e
JOpt.SDK	O produto é disponível para .net e Java.	Tem sido recentemente integrado com MS MapPoint e MS Navision.

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*.

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6m:** Principais empresas que empregam os *softwares* computacionais.

<b>Produto</b>	<b>Número de empresas que usam o software</b>	<b>Instalações mais significantes</b>
ORTEC Routing and Scheduling	101-500	Coca-Cola Enterprises, BP, TNT e InBev.
Roadnet Transportation Suite	Mais de 1000	Anheuser-Busch, Office Depot, Sysco, Mohawk Industries e Apria Healthcare.
TruckStops Routing and Scheduling Software	Mais de 1000	The Home Depot, Owens Corning, Fastenal e C.H.I. Overhead Doors.
The LogiX Suite	101-500	n/e
DISC	1-100	n/e
REACT	1-100	n/e
STARS 5.0	101-500	WR Grace, Nihon Oil, NEC e Fujitsu.
Direct Route	501-1000	Walgreens, Ryder, Schneider, Kraft, Dunkin Donuts, Haverty's, Kellogg's, National Dairy Holdings, Home Depot e Ruan.
ILOG Dispatcher	1-100	n/e
Paragon Routing and Scheduling System	101-500	Airgas, McLane Co, Exel, Ceva, Ryder Canada, Safeway.com, Toyota, Progistix e Canada Cartage.
Prophesy Total Transportation System	Mais de 1000	n/e
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	1-100	3663 First for FoodService, Brakes Group, RH Group e Robert Home.
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	501-1000	n/e
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	1-100	n/e
StreetSync Desktop	1-100	NAVTEQ, Coca-Cola Enterprises, Cintas e Duncan Telcom.
Roadnet Anywhere	1-100	n/e
Descartes Routing & Scheduling	501-1000	Arla Foods, Ferrellgas, Home Depot e Samsung.
JOpt.SDK	101-500	Navisys (CZ), MacFadyen (US), BlakeIS (US), Mislogistics (UK), Cleardestination (CAN) e Synchron (AUS).

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*.

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6n:** Emprego de tecnologias de celulares e desenvolvimento de inovações.

<b>Produto</b>	<b>Seu <i>software</i> de roteirização tem sido integrado com tecnologias de celulares?</b>	<b>Você desenvolveu outras inovações em <i>software</i>, como o uso de uma rede social para o compartilhamento de informações?</b>
ORTEC Routing and Scheduling	Sim	não
Roadnet Transportation Suite	Sim	não
TruckStops Routing and Scheduling Software	não	não
The LogiX Suite	Sim	Sim
DISC	Sim	Sim
REACT	Sim	Sim
STARS 5.0	Sim	Sim
Direct Route	Sim	não
ILOG Dispatcher	não	não
Paragon Routing and Scheduling System	Sim	Sim
Prophecy Total Transportation System	Sim	Sim
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	não	não
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	Sim	não
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	Sim	Sim
StreetSync Desktop	Sim	não
Roadnet Anywhere	Sim	não
Descartes Routing & Scheduling	Sim	não
JOpt.SDK	não	não

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6o:** Opinião das empresas quanto às mudanças ocorridas nos últimos dois anos.

<b>Produto</b>	<b>Qual a maior mudança na indústria nos últimos dois anos?</b>
ORTEC Routing and Scheduling	O custo da frota.
Roadnet Transportation Suite	O uso de informações de transporte para iniciar mudanças nos processos de negócio fora da cadeia de distribuição.
TruckStops Routing and Scheduling Software	n/e
The LogiX Suite	n/e
DISC	Maior integração entre a cadeia de suprimento e redes de transporte, a qual conduz a uma demanda mais potente e soluções de otimização mais flexíveis.
REACT	n/e
STARS 5.0	Integração de sistemas de rastreamento em tempo real, desenvolvimento de sistemas de roteirização de veículos em redes <i>hub-and-spoke</i> .
Direct Route	Rastreamento por GPS em tempo real.
ILOG Dispatcher	n/e
Paragon Routing and Scheduling System	Melhora da tecnologia de rastreamento de veículos.
Prophesy Total Transportation System	Melhora do serviço ao cliente com soluções computadorizadas.
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	n/e
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	n/e
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	Acesso imediato à informação de <i>stakeholders</i> por meio da internet. Redução da duplicação de dados e redundância. Uso melhorado de sensores e tecnologias de localização.
StreetSync Desktop	n/e
Roadnet Anywhere	A competitividade pôde ser assegurada pelo fornecimento de um serviço customizado ao cliente. A necessidade das frotas menores, que usam a mesma tecnologia das grandes frotas, foi atendida.
Descartes Routing & Scheduling	n/e
JOpt.SDK	Maior integração entre os <i>softwares</i> .

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*.

Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

**Tabela 6p:** Opinião das empresas quanto às mudanças que ocorrerão nos próximos dois anos.

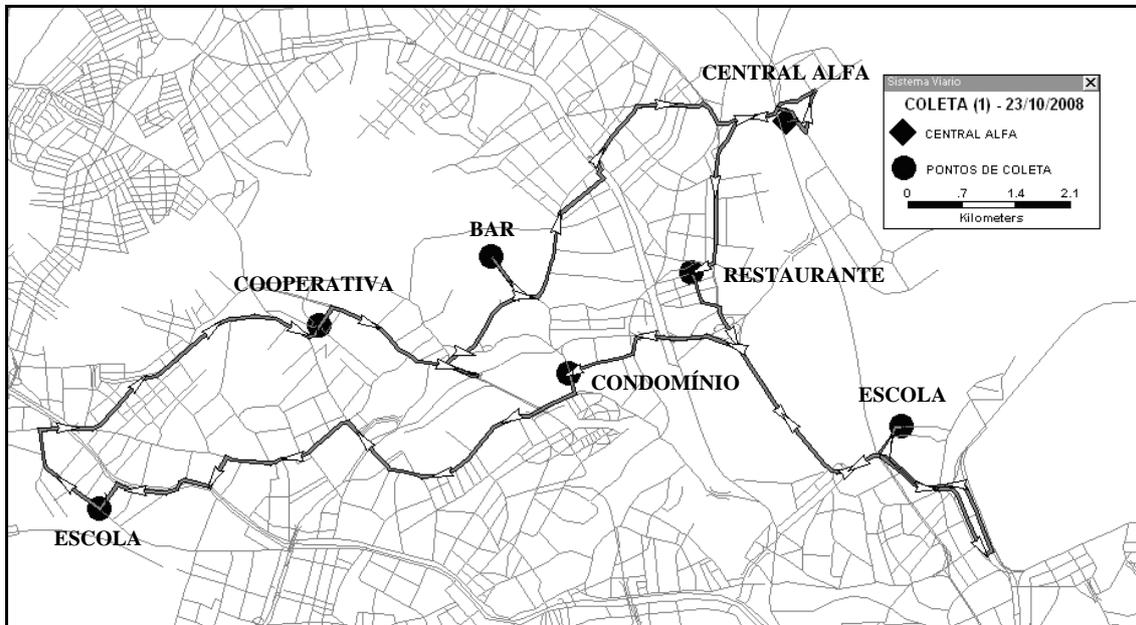
<b>Produto</b>	<b>Em sua opinião, qual será a maior mudança que ocorrerá nos próximos dois anos?</b>
ORTEC Routing and Scheduling	n/e
Roadnet Transportation Suite	Informações adicionais para promover a integração dentro do processo de roteirização.
TruckStops Routing and Scheduling Software	n/e
The LogiX Suite	n/e
DISC	Aumento das expectativas em termos de otimização de desempenho e flexibilidade.
REACT	Maior possibilidade de se obter informações em tempo real e maior expectativa em se utilizar essas informações no planejamento e na programação da rota.
STARS 5.0	Integração com celulares e informações em tempo real pela <i>Internet</i> .
Direct Route	Possibilidade de integração de serviço via <i>web</i> . Aumento da informação do plano de entrega com demanda em tempo real, permitindo maior visibilidade para a empresa.
ILOG Dispatcher	n/e
Paragon Routing and Scheduling System	Uma melhora geral no desenvolvimento de sistemas de otimização e programação de rotas como consequência da pressão para reduzir as emissões de carbono. Esses sistemas também permitem economizar combustíveis e melhorar a produtividade da frota.
Prophesy Total Transportation System	n/e
Optrak4 Vehicle Routing & Scheduling	n/e
TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro	n/e
PTM Pro Online, Pupil Transportation Manager	Primeiro vender soluções e segundo equiparar a tecnologia.
StreetSync Desktop	n/e
Roadnet Anywhere	Mudanças na maneira como as aplicações serão organizadas por diferentes conjuntos de usuários finais.
Descartes Routing & Scheduling	n/e
JOpt.SDK	Nós acreditamos que o <i>software</i> como um serviço ganhará mais importância em um futuro próximo. Por essa razão, nós estamos quase lançando uma plataforma para o PRV que permite o acesso a funções PRV/PRVJT como um serviço <i>web</i> .

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos *softwares*.

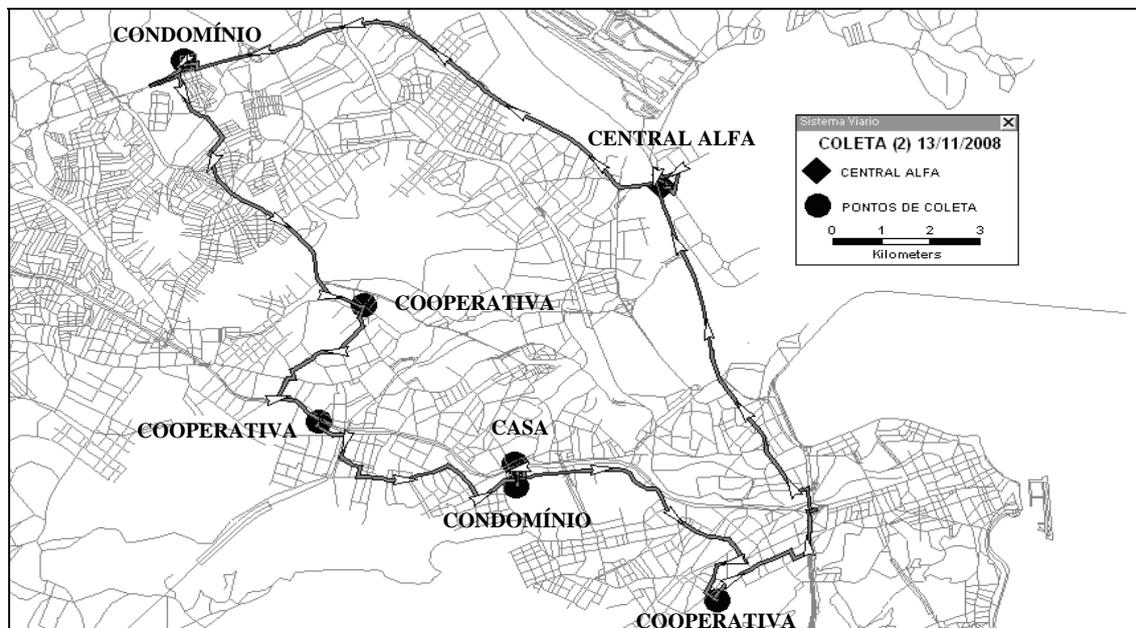
Fonte: *OR/MS TODAY* (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2008.

## ANEXO 7: DESENHO DAS ROTAS FORNECIDAS PELO TRANSCAD

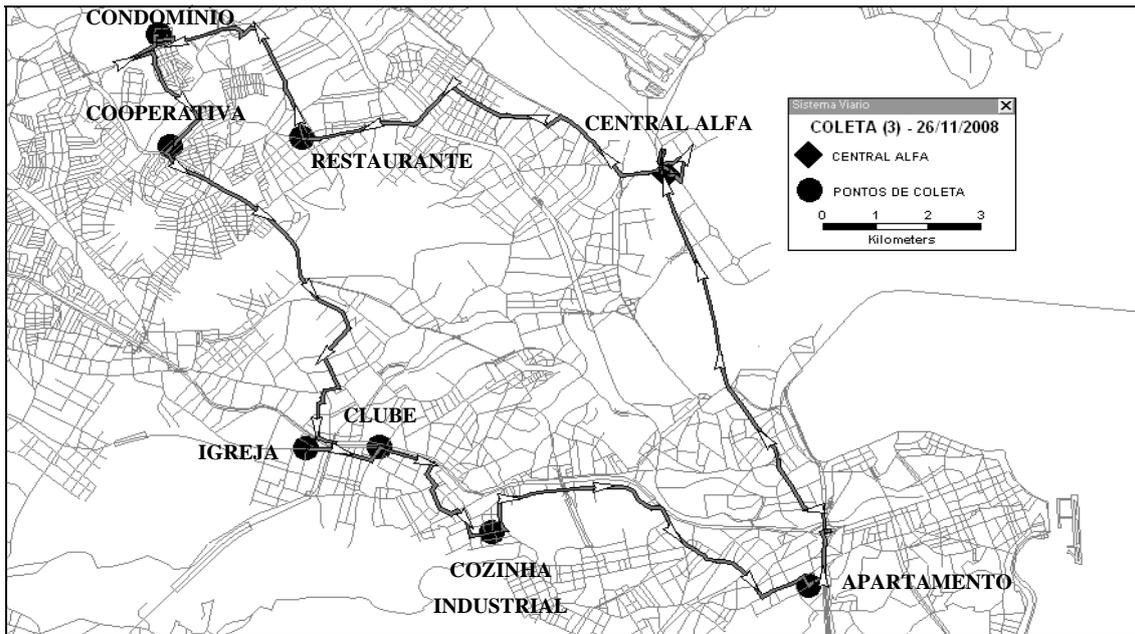
Este anexo apresenta o desenho das cinco rotas, obtidas por meio do TransCAD, que correspondem às cinco coletas (observadas) realizadas pela central Alfa. Essas figuras auxiliam na observação da seqüência de visitas indicadas pelo *software*.



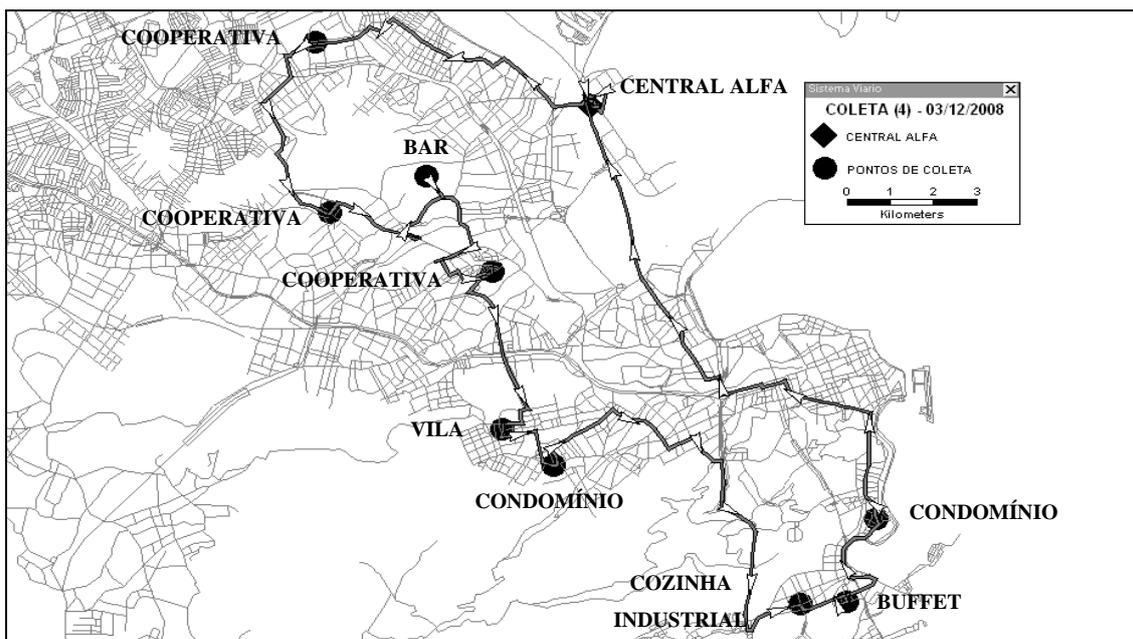
**Figura 7a:** Coleta (1) realizada pela central Alfa.



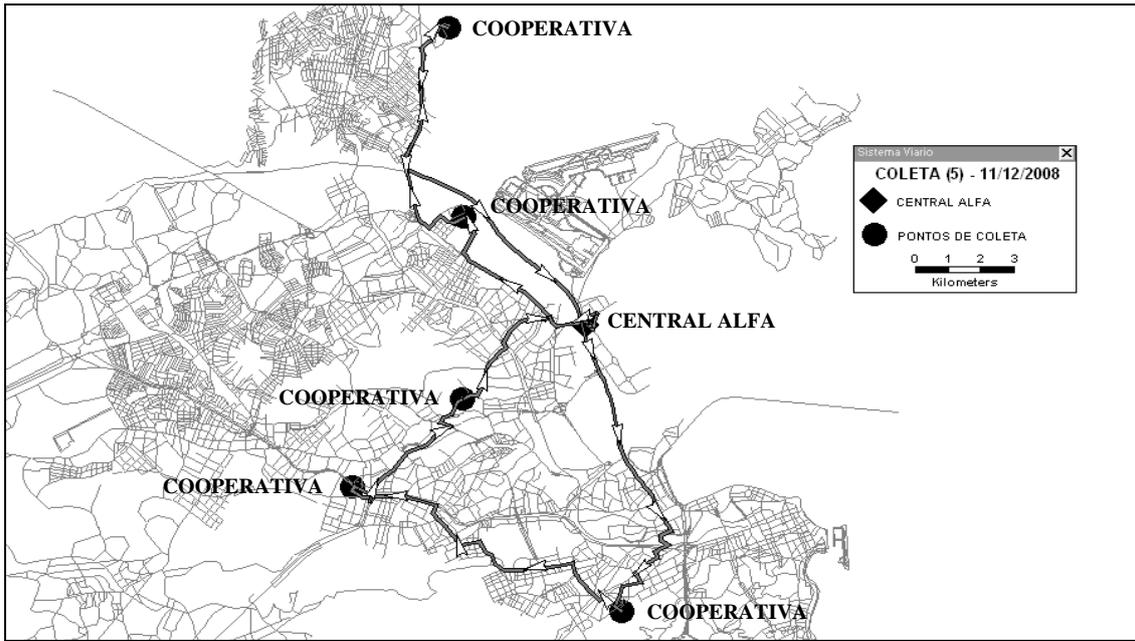
**Figura 7b:** Coleta (2) realizada pela central Alfa.



**Figura 7c:** Coleta (3) realizada pela central Alfa.



**Figura 7d:** Coleta (4) realizada pela central Alfa.



**Figura 7e:** Coleta (5) realizada pela central Alfa.

## **ANEXO 8: RELATÓRIOS DE PESQUISA DE CAMPO**

Este anexo apresenta os cinco relatórios elaborados após a observação dos processos de coleta da central Alfa. Por meio desses relatórios, é possível entender com mais detalhes as práticas da central, abordadas nos Capítulos 6 e 7.

### **Primeiro acompanhamento do processo de coleta de óleo residual de fritura realizado pela central Alfa – 23/10/2008.**

Alguns membros da central de coleta chegaram à sede por volta de 10h00min no dia 23/10/2008 (quinta-feira). Como estavam atrasados (combinaram 08h30min), partiram logo para executar o planejamento. De posse de alguns pedaços de papel com os endereços de alguns pontos que solicitaram a coleta, anotados durante a semana, um integrante do grupo reescreveu esses endereços em uma folha em branco com letra não muito legível. Para cada ponto, ele anotava não só o endereço, mas também o nome do contato e qual o objetivo da visita, que poderia ser a coleta ou simplesmente a entrega de um recipiente vazio.

Em alguns pontos, o colaborador esqueceu de anotar o contato. Em outro, ele escreveu o nome da rua, faltando letra. Também não especificou os tipos dos locais, como por exemplo, condomínios, escolas e outros. Também não indicou pontos de referência para ajudar na localização. Após a anotação dos pontos, iniciou-se um diálogo para decidir qual seria a seqüência da coleta. Usaram um mapa da cidade do Rio de Janeiro, colado na parede, para auxiliar no processo de decisão. O diálogo foi confuso e, no final, depois de mudarem de idéia algumas vezes, decidiram a seqüência que foi anotada no mesmo papel já escrito com os endereços. De posse desse documento de coleta, o motorista alocou os recipientes vazios no veículo para a posterior troca por recipientes cheios.

O motorista saiu da sede da central Alfa (P0) às 11h35min do dia 23/10/2008 com a incumbência de visitar seis pontos (P1, P2, P3, P4, P5 e P6) de coleta espalhados pela cidade do Rio de Janeiro.

P1: O primeiro ponto a ser visitado, decidido pela equipe da central, foi um restaurante no bairro de Bonsucesso. O objetivo nesse ponto era o de coletar um recipiente com 35 litros de óleo. A chegada no local aconteceu às 11h59min e a saída às 12h06min.

Quando abordado sobre o recipiente a ser coletado, o dono do estabelecimento afirmou que este não estava cheio e mais, que a quantidade era pouca. O motorista quis levar o recipiente mesmo com pouca quantidade, mas o dono do estabelecimento descartou a idéia, pois alegou que iria atrapalhar seus funcionários que estavam atendendo a um restaurante lotado. Sendo assim, não foi possível realizar a coleta nesse local.

P2: A chegada nesse ponto, no bairro de Engenho da Rainha, aconteceu às 12h40min e a saída às 13h05min. O endereço que nos foi fornecido era o de um terreno com uma casa nos fundos, o que dificultou chamar a atenção do proprietário. Quando o motorista conseguiu o contato e foi atendido, informaram que a coleta deveria ser realizada numa igreja próxima dali. O motorista, então, se dirigiu para essa igreja, mas lá não havia ninguém. Ao se comunicar novamente com a primeira pessoa, o motorista aguardou que este ligasse para o real doador. Esse doador afirmou por telefone que havia solicitado a coleta para o sábado anterior a essa data. Como não foi atendido, doou o óleo para outrem. Sendo assim, também não foi possível realizar a coleta nesse local.

P3: A chegada no local aconteceu às 13h35min e a saída às 13h50min. Esse ponto encontra-se dentro da favela da Fazendinha no bairro do Complexo do Alemão. O motorista, por sua vez, demonstrou receio a todo o momento em adentrar o lugar. Esse receio foi devido ao lugar estar dominado por bandidos presentes, portando fuzis e metralhadoras. Apesar do medo, o motorista decidiu ir ao ponto, conforme solicitado pela central Alfa. Quanto mais alto ele subia, mais as ruas ficavam estreitas, o que dificultou a mobilidade. Após várias tentativas de encontrar o lugar, e sem a informação do nome do contato, o motorista desistiu. Sendo assim, também não foi possível realizar a coleta nesse local.

P4: A chegada nesse ponto, localizado em Del Castilho, aconteceu às 14h15min e a saída às 14h22min. O lugar era um condomínio com cinco blocos. O motorista foi autorizado a entrar no local e rapidamente o contato citado nas anotações foi encontrado. No entanto, o recipiente de coleta não estava cheio. A quantidade que havia neste era de aproximadamente 20 litros. O motorista decidiu recolher essa quantidade assim mesmo e um recipiente vazio foi deixado nesse ponto para substituir o recipiente que foi levado.

P5: A chegada nesse local em Quintino aconteceu às 15h25min e a saída às 16h20min. Esse ponto era uma escola que concentra a doação de alunos. A demora nesse processo de manuseio foi devido à ausência da responsável e à busca de ajuda para transportar 50 litros de óleo de dentro da escola até o veículo de coleta. Um ajudante na escola foi chamado e este providenciou uma espécie de carrinho de mão. O motorista e o ajudante tiveram dificuldade para colocar o recipiente cheio dentro da carroceria do veículo e, por esse motivo, chamaram uma outra pessoa para ajudar. Além desse recipiente cheio, também foram recolhidos cinco garrafas PET cheias de óleo. Um recipiente vazio a mais foi deixado no local devido à alta oferta de óleo, resultado do incentivo da escola para essa doação.

P6: A chegada nesse local, no bairro do Caju, aconteceu às 17h10min e a saída às 17h20min. Esse ponto de coleta também foi em uma escola. O motorista teve acesso primeiramente à secretaria da escola e tratou de se informar sobre o recipiente de 50 litros que deveria estar supostamente cheio. Nessa secretaria havia vários professores e todos desconheciam a existência, nessa escola, de óleo residual a ser coletado. O motorista decidiu ir embora, pois também não havia o nome do contato nas anotações. O rádio, neste momento, não foi usado para comunicar o ocorrido, apesar de ter sido usado anteriormente apenas para informar a localização do veículo para a central Alfa. Sendo assim, nada foi coletado novamente.

P0: O retorno ao ponto inicial ocorreu às 17h35min. A equipe da central Alfa encontrava-se na sede e se ocupou em questionar sobre o que acontecera no processo de coleta. O motorista foi criticado por não ter se comunicado por telefone no ponto P6 sobre o contato que realmente sabia da existência do recipiente a ser coletado.

### **Segundo acompanhamento do processo de coleta de óleo residual de fritura realizado pela central Alfa – 13/11/2008.**

A equipe da central Alfa combinou com o motorista um horário de chegada na sede, precisamente às 08h30min no dia 13/11/2008 (quinta-feira). A equipe não se atrasou, mas o motorista chegou por volta das 10h00min. Antes da chegada do motorista, um componente da equipe acessou um arquivo no computador para identificar quais seriam os pontos a serem visitados naquele dia. De posse desse arquivo, partiu para analisar quais pontos deveriam ser visitados primeiro, criando uma seqüência de coleta. Após

essa análise, escreveu as informações, relativas a esses pontos, na ordem, em uma folha de papel em branco. As informações eram compostas pelo nome do bairro, nome da cooperativa ou condomínio, endereço e uma observação sobre a tarefa naquele ponto (recolher os recipientes cheios ou apenas entregar os vazios).

Depois de passar todas as informações para o papel, o componente da equipe separou os 21 recipientes vazios que deveriam ser levados pelo motorista. Quando este chegou à central, alertou imediatamente que o veículo só tinha a capacidade de levar 10 recipientes. Com essa informação, ficou decidido visitar três pontos prioritariamente. No entanto, como as quantidades planejadas de coleta nos pontos não estavam sendo cumpridas, o motorista resolveu, por si só, visitar outros pontos que estavam mencionados no plano.

O motorista saiu da sede da central Alfa (P0) às 10h22min do dia 13/11/2008 com a incumbência de visitar seis pontos (P1, P2, P3, P4, P5 e P6) espalhados pela cidade do Rio de Janeiro. Dentre estes, três foram definidos como prioridade.

P1: Esse ponto era um dos três que deveriam ser visitados com obrigatoriedade. O objetivo era coletar um recipiente cheio de 50 litros. A chegada no local aconteceu às 11h02min e a saída às 11h19min. Como se trata de um condomínio, o motorista tentou encontrar o síndico que não estava. Ligou para a central e ficou aguardando que fizessem contato com o responsável pela doação. A central não conseguiu esse contato e avisou ao motorista. Este, por sua vez, conversou com outros moradores por interfone, mas não obteve sucesso. Resolveu desistir e seguir para o próximo ponto.

P2: A chegada nesse ponto, o segundo com visita obrigatória, aconteceu às 11h49min e a saída às 12h03min. O ponto era uma igreja localizada no bairro de Engenho da Rainha. A pessoa de contato foi rapidamente encontrada e os dois recipientes de 50 litros e os dois de 25 litros foram levados e alocados no veículo. A informação da quantidade a ser coletada foi a de quatro recipientes de 50 litros. Na verdade, dois desses recipientes eram de 25 litros de capacidade.

P3: O terceiro e último ponto de visita obrigatória era localizado no bairro de Piedade. O objetivo nesse local era coletar sete recipientes de 50 litros. A chegada no local

aconteceu às 12h36min e a saída às 13h37min. O local era a sede de uma cooperativa que se encontrava dentro de uma faculdade. Ao chegar nesse local, o motorista se deparou com o recinto fechado. Entrou em contato, então, com a central que prometeu ligar para a pessoa responsável pela cooperativa. A central, por sua vez, obteve a informação que os recipientes cheios estavam guardados em uma igreja próxima à faculdade. O motorista, por sua vez, dirigiu-se para o novo local. Nesse ponto foi recebido pelo padre e um vigia da igreja. Havia dois recipientes que não estavam totalmente cheios. Um deles faltava a tampa. O motorista, então, pediu ao vigia uma garrafa PET e uma faca. Cortou a garrafa e a transformou em um funil. Resolveu completar a capacidade do recipiente que estava com a tampa e levar apenas este, pois não poderia transportar o recipiente que estava sem a tampa devido ao risco de derramar o produto. Após essa operação, ligou para a responsável da cooperativa para criticar o que havia encontrado.

P4: Como não havia coletado o que tinha planejado, o motorista resolveu visitar outros pontos. De acordo com a lista, o próximo seria uma casa no bairro de Engenho Novo. O objetivo nesse local era coletar um recipiente de 35 litros (não se sabia se estava completamente cheio). A chegada no local aconteceu às 14h05min e a saída às 14h19min. A doadora estava em casa e o recipiente, que realmente não estava cheio, foi levado. No entanto, a capacidade do recipiente não era de 35 litros e sim de 50 litros. O motorista calculou que havia 25 litros de óleo dentro do recipiente de 50 litros.

P5: O objetivo nesse ponto, também localizado no bairro de Engenho Novo, era deixar um recipiente de 50 litros e coletar o que houvesse. A chegada aconteceu às 14h38min e a saída às 14h59min. A síndica do condomínio doou duas garrafas PET cheias. Ela mesma foi consultar alguns dos vizinhos para saber se eles estavam armazenando o resíduo e se havia alguma coisa para ser doada. Nenhum dos vizinhos tinha algo a doar. O motorista, por sua vez, deixou o recipiente de 50 litros no local e discursou para a síndica sobre a importância da coleta de óleo residual de fritura.

P6: Esse ponto de coleta foi a sede da cooperativa da comunidade do salgueiro no bairro da Tijuca. O objetivo nesse local foi o de recolher cinco recipientes de 50 litros. A chegada no local aconteceu às 15h27min e a saída às 16h21min. Ao chegar ao local, o motorista foi rapidamente recebido por um dos componentes da cooperativa. Havia três

recipientes quase cheios de 50 litros para serem coletados e um recipiente cheio pela metade de 200 litros. Nenhum desses recipientes pertencia à central Alfa. Dos três recipientes de 50 litros, dois estavam sem a tampa. O motorista resolveu, então, passar o conteúdo dos recipientes sem a tampa para os recipientes vazios da central. Pediu uma garrafa PET e uma faca e fez um funil. Após encher os dois recipientes de 50 litros da central, ainda passou uma quantidade de resíduo do recipiente de 200 litros para os três recipientes de 50 litros a fim de completá-los. O motorista levou apenas os três recipientes de 50 litros. Antes de ir, alertou à componente da cooperativa sobre a necessidade da tampa, bem como da necessidade de encher o recipiente em toda sua capacidade.

P0: O retorno ao ponto inicial ocorreu às 17h18min. A equipe da central Alfa encontrava-se na sede e acompanhou a descarga dos recipientes alocados no veículo.

### **Terceiro acompanhamento do processo de coleta de óleo residual de fritura realizado pela central Alfa – 26/11/2008.**

No dia anterior a essa coleta, o responsável pela programação da viagem da central Alfa já sabia quais seriam os pontos que deveriam ser visitados no próximo dia (26/11/2008 – quarta-feira). Esse responsável se ocupou, então, de anotar numa folha em branco os pontos a serem visitados na ordem de coleta. Ele se baseou nas anotações da secretária da central que recebe as informações dos fornecedores e escreve, na metade de uma folha em branco, o que deve ser feito no ponto de coleta (recolher um recipiente cheio ou apenas entregar um vazio).

No dia da coleta, o responsável pela programação não pôde ir à central, mas deixou a folha que havia feito com a secretária. Ela chegou à central por volta das 8h50min e, primeiramente, se ocupou em resolver outros problemas sobre a utilização dos dois veículos. De posse de suas anotações, a secretária começou a identificar quais recipientes vazios deveriam ser carregados no veículo para entrega nos fornecedores. E ainda, alertada, ela percebeu que não havia pegado todos os seus papéis com todos os pontos de coleta a serem visitados.

Após carregar o veículo com os recipientes, a secretária decidiu que um membro de uma cooperativa presente, trabalharia na coleta como ajudante e deveria seguir com o

motorista. No momento da partida do veículo, a secretária orientou o ajudante a deixar o que o programador havia escrito e a levar as metades das folhas que ela havia anotado.

O motorista partiu da central Alfa (P0) às 10h31min do dia 26/11/2008 com a incumbência de visitar sete pontos (P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7) de coleta espalhados pela cidade do Rio de Janeiro. Como cada ponto estava discriminado em uma folha, o motorista analisou esses sete pontos e definiu qual seria a seqüência que ele iria seguir.

P1: O primeiro ponto a ser visitado, definido pelo motorista, foi um restaurante no bairro de Vila da Penha. A chegada no local aconteceu às 10h51min e a saída às 11h14min. O objetivo nesse ponto foi o de coletar um recipiente cheio de 35 litros. O ajudante acessou com facilidade a cozinha do restaurante, mas percebeu que o resíduo estava armazenado em um recipiente com tampa larga de 200 litros que não pertencia à central. O ajudante decidiu não coletar. Ao chegar próximo ao veículo, comentou com o motorista que o orientou a voltar e a passar o resíduo do recipiente de 200 litros para o recipiente da central de 35 litros. O ajudante, por sua vez, achou uma garrafa PET na rua e levou para o restaurante. Ele cortou a garrafa e a transformou em um funil. Passou, então, o resíduo de um recipiente para outro e recebeu advertência do dono do restaurante por ter caído resíduo no chão da cozinha. O dono estava preocupado, pois poderia acontecer algum acidente (alguém escorregar, por exemplo). O ajudante levou o recipiente cheio para o veículo e o motorista partiu para o próximo ponto.

P2: O segundo ponto, localizado no bairro de Irajá, foi um condomínio. A chegada no local aconteceu às 11h26min e a saída às 11h31min. O responsável pela doação foi rapidamente encontrado. O objetivo no local era coletar um recipiente de 50 litros cheio. O ajudante ao questionar o doador, descobriu que o recipiente que havia para ser coletado era de 35 litros e não estava completo. O ajudante levou o recipiente mesmo assim.

P3: A chegada nesse ponto aconteceu às 11h49min e a saída às 11h54min. O objetivo era coletar três recipientes cheios de 25 litros. Esse local era a casa de um responsável por uma cooperativa associada à central. Ao chegar, esse responsável estava esperando e os recipientes cheios já estavam separados. Além dos três de 25 litros havia, ainda, um de 5 litros e um de 20 litros, todos cheios. O ajudante transportou os recipientes para o

veículo e o motorista partiu para o próximo ponto.

P4: A chegada nesse ponto aconteceu às 12h21min e a saída às 12h28min. O ponto era uma igreja localizada no bairro de Piedade. O objetivo nesse local era apenas entregar um *kit* de EPIs (equipamentos de proteção individual) para a respectiva cooperativa. A igreja estava aberta e havia uma pessoa que estava trabalhando na secretaria. Esta recebeu o *kit*.

P5: A chegada no local aconteceu às 12h39min e a saída às 13h01min. O ponto era o SESC Rio localizado no bairro de Engenho de Dentro. O objetivo era coletar algumas garrafas PET cheias. A responsável pela doação, segundo a central, só estaria no SESC depois das 13h00min. No entanto, o ajudante conseguiu localizar uma outra pessoa que se dizia entendida do local em que poderiam estar os resíduos. Essa pessoa trabalhava com a responsável pela doação. O local informado, em que as garrafas PET deveriam estar, tratava-se de um cesto que se encontrava na entrada do SESC. Entretanto, apenas uma garrafa de 1 litro estava dentro do cesto. A pessoa que recebeu o ajudante informou que não havia mais nada a ser coletado e que poucas pessoas estavam levando o resíduo até o local. Após um breve diálogo com a substituta da responsável pela doação, o ajudante e o motorista decidiram ir para o próximo ponto.

P6: A chegada no local aconteceu às 13h10min e a saída às 13h24min. O objetivo no local, uma empresa de ônibus localizada no bairro de Engenho Novo, era apenas entregar um recipiente de 50 litros vazio. O ajudante conseguiu entrar na empresa sem muita dificuldade, acessou a cozinha e entregou o recipiente para o responsável pela doação. Este, por sua vez, questionou sobre o telefone de contato da central. O ajudante não soube informar e comprometeu-se de contatar o novo doador a fim de passar o telefone de contato. Após esse diálogo, voltou para o veículo e o motorista partiu para o próximo ponto.

P7: O objetivo nesse local, situado no bairro de Rio Comprido, era o de coletar por volta de quinze garrafas PET. A chegada aconteceu às 14h01min e a saída às 14h14min. O local era um apartamento cujo dono estava juntando o resíduo fazia um ano. O ajudante tocou o interfone e o dono do apartamento desceu com as garrafas PET, treze no total. Esse foi o último ponto a ser visitado. Por conseguinte, o motorista seguiu para a sede

da central.

P0: O retorno ao ponto inicial ocorreu às 14h44min. A equipe da central Alfa encontrava-se na sede e a secretária se ocupou em questionar o ajudante e o motorista quanto à coleta no SESC Rio. Nesse local, havia garrafas PET que estavam atrás do clube e somente a responsável pela doação sabia dessa informação. A secretária alertou que o ajudante deveria ter esperado a responsável. Ele se defendeu alegando que a pessoa que o recebeu afirmou que trabalhava com a responsável e que estava a par do processo de doação do resíduo. Após esse diálogo, foram descarregar os recipientes alocados no veículo.

#### **Quarto acompanhamento do processo de coleta de óleo residual de fritura realizado pela central Alfa – 03/12/2008.**

A central Alfa possui, além de um presidente, um vice-presidente, uma secretária e um tesoureiro. O vice-presidente também exerce a função de programador, definindo quais pontos serão visitados por um determinado veículo. O ajudante que deve seguir com o motorista também é definido por ele. Nesse caso, há uma ficha guardada em um diretório do microcomputador da central, em que uma escala com o nome dos ajudantes foi montada. Entretanto, essa escala não estava sendo respeitada, o que impediu a coleta em alguns dias. O programador, que não estava indo à central, foi questionado pelo presidente sobre essa ausência e sobre o motivo da escala não estar pregada no quadro de avisos. Ele se defendeu dizendo que estava resolvendo tudo pelo telefone.

Sem o programador, é a secretária a responsável por definir os pontos a serem visitados. No dia 03/12/2008 (quarta-feira), o presidente e ela chegaram à central por volta das 09h00min. Ocuparam-se de discutir outros assuntos e, por volta das 11h00min, foram definir o que cada veículo deveria realizar naquele dia. A secretária decidiu anotar os pontos que deveriam ser visitados, cada um em uma metade de uma folha em branco. A seqüência de coleta ficou a cargo do motorista. Após a definição dos pontos de coleta, o grande problema foi o de encontrar um ajudante, até que um membro de uma cooperativa apareceu e aceitou efetuar a coleta naquele dia. Esse ajudante separou os recipientes vazios que deveriam ser levados e, então, a rota pôde ser iniciada.

O motorista partiu da central Alfa (P0) às 12h27min do dia 03/12/2008 com a

incumbência de visitar nove pontos de coleta (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9) espalhados pela cidade do Rio de Janeiro. Como cada ponto estava discriminado em uma folha, o motorista analisou esses nove pontos e definiu qual seria a seqüência que ele iria seguir.

P1: O primeiro ponto a ser visitado, definido pelo motorista, foi a sede de uma cooperativa no bairro de Brás de Pina. A chegada no local aconteceu às 12h54min e a saída às 13h07min. O objetivo nesse ponto foi o de coletar dois recipientes cheios de 50 litros. O responsável pela cooperativa não foi encontrado. O ajudante contatou a central que ligou para o celular do responsável pela doação. Ele imediatamente ligou para seu filho que foi entregar o que havia para ser coletado. Diferentemente do previsto, havia apenas um recipiente cheio de 50 litros.

P2: O segundo ponto, localizado no bairro de Engenho da Rainha, foi uma cooperativa associada a uma igreja. A chegada no local aconteceu às 13h25min e a saída às 13h35min. O responsável pela doação foi rapidamente encontrado. O objetivo no local tratou da coleta de dois recipientes cheios de 50 litros. No momento em que o veículo chegou ao local, chovia muito e o doador abriu o portão da igreja para o veículo entrar. Ele mesmo colocou os dois recipientes cheios dentro do veículo que partiu em seguida.

P3: A chegada nesse ponto aconteceu às 14h10min e a saída às 14h20min. O objetivo foi o de coletar um recipiente cheio de 35 litros e o de deixar um outro a mais também de 35 litros. Esse local era um bar localizado na favela da Fazendinha no Complexo do Alemão. O ponto estava fechado. O ajudante contatou a central que ligou para o doador. Este apareceu rapidamente, abriu o bar, recebeu o recipiente de 35 litros vazio e doou o de 35 litros cheio. O ajudante transportou o resíduo até o veículo que partiu para o próximo ponto.

P4: A chegada nesse ponto, uma cooperativa localizada no bairro de Maria da Graça, aconteceu às 14h40min e a saída às 14h54min. O objetivo nesse local tratou da coleta de dois recipientes de 50 litros e um de 35 litros. O motorista teve um pouco de dificuldade para encontrar o local, pois o número do endereço anotado estava errado. No ponto de coleta, o responsável pela cooperativa foi encontrado e o ajudante, usando um carrinho de mão, se ocupou de transportar os recipientes até o veículo. Um destes

estava vazando. O ajudante teve a idéia de aumentar a vedação da tampa com a ajuda de um saco plástico.

P5: A chegada no local aconteceu às 15h15min e a saída às 15h20min. O ponto era um condomínio localizado no bairro de Andaraí. O objetivo foi o de coletar algumas garrafas PET cheias e entregar um recipiente vazio de 35 litros. No local, o porteiro atendeu rapidamente ao ajudante. Seis garrafas PET já estavam separadas para a doação. O porteiro recebeu o recipiente vazio de 35 litros e o ajudante levou para o veículo as seis garrafas PET.

P6: A chegada no local aconteceu às 15h40min e a saída às 15h45min. O objetivo no local, uma vila situada no bairro de Vila Isabel, tratou apenas da coleta de algumas garrafas PET cheias. O doador foi encontrado com facilidade e o ajudante recebeu dele oito garrafas PET cheias.

P7: O objetivo nesse ponto, uma cozinha industrial localizada no bairro de Botafogo, foi o de entregar um recipiente vazio de 200 litros. A chegada aconteceu às 16h19min e a saída às 16h21min. O ajudante acessou o local com muita facilidade, entregou o recipiente e voltou rapidamente para o veículo.

P8: Esse ponto, um *Buffet* localizado no bairro de Botafogo, foi visitado para a realização da coleta de um recipiente de 35 litros cheio. A chegada aconteceu às 16h36min e a saída às 16h41min. Uma funcionária do *Buffet* atendeu ao ajudante e o levou até o recipiente. Este não estava completo e o ajudante decidiu levá-lo mesmo assim.

P9: A chegada aconteceu às 17h10min e a saída às 17h14min. O objetivo no local, um condomínio localizado no bairro do Flamengo, foi o de deixar um recipiente vazio de 50 litros. O porteiro do condomínio foi encontrado rapidamente e este recebeu o recipiente vazio. O motorista, por sua vez, teve dificuldade em encontrar esse ponto mesmo recebendo instruções do ajudante.

P0: O retorno ao ponto inicial ocorreu às 18h17min. Apenas o presidente da central encontrava-se na sede. Como o ajudante já havia se comunicado ao longo da rota, o

presidente já estava ciente de todas as informações relativas àquela coleta. Por essa razão, não houve a necessidade de prestação de contas.

#### **Quinto acompanhamento do processo de coleta de óleo residual de fritura realizado pela central Alfa – 11/12/2008.**

Conforme mencionado na quarta coleta, foi acordado entre os membros da central Alfa que o vice-presidente seria o responsável pela programação diária dos dois veículos, definindo quais pontos seriam visitados. No dia dessa coleta, 11/12/2008 (quinta-feira), o vice-presidente não se encontrava na central. O presidente e a secretária, então, foram os responsáveis pela programação. Eles chegaram à central por volta de 9h30min e foram organizar a coleta do dia. A secretária ligou para algumas cooperativas e doadores a fim de confirmar a quantidade que havia disponível e avisar que a visita seria naquele dia. Após essa atividade, ela anotou os pontos que deveriam ser visitados, cada um em uma metade de uma folha em branco.

O presidente decidiu que um dos veículos deveria visitar Niterói (RJ), para coletar aproximadamente mil litros, e São Gonçalo (RJ) para coletar trezentos litros. O outro veículo deveria visitar cinco pontos com quantidades menores. O objetivo em dois desses cinco pontos foi o de entregar um *kit* com equipamentos de proteção individual (extintor de incêndio, luvas, botas, avental e óculos). Antes do início da coleta, o presidente pediu ajuda para separar os recipientes vazios para serem trocados por cheios nos pontos. Esses recipientes foram separados e o presidente, a fim de identificá-los, escreveu o nome das cooperativas com uma tinta.

Quanto ao problema da falta de ajudantes, o presidente decidiu contratar informalmente um membro de uma cooperativa para estar disponível em horário comercial de segunda-feira a sexta-feira. Nesse dia, o presidente decidiu que o ajudante deveria efetuar a coleta no veículo com destino à Niterói. O outro veículo que visitaria os cinco pontos, descritos na seqüência, seguiu sem um ajudante.

O motorista partiu da central Alfa (P0) às 11h36min do dia 11/12/2008 com a incumbência de visitar cinco pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5), quatro espalhados pela cidade do Rio de Janeiro e um na cidade de Duque de Caxias. Como cada ponto estava discriminado em uma folha, o motorista analisou esses pontos e definiu qual

seria a seqüência que ele iria seguir.

P1: O primeiro ponto a ser visitado, definido pelo motorista, foi a sede de uma cooperativa no bairro da Tijuca (comunidade do Salgueiro). A chegada no local aconteceu às 12h17min e a saída às 12h22min. O objetivo nesse ponto foi o de entregar três recipientes vazios de 50 litros. A responsável pela cooperativa foi encontrada rapidamente. O motorista entregou os recipientes, registrou a entrega em uma folha de controle, pediu a assinatura da responsável e, em seguida, partiu para o próximo ponto.

P2: O segundo ponto, localizado no bairro de Piedade, foi uma cooperativa com sede dentro de uma universidade. A chegada no local aconteceu às 12h55min e a saída às 13h23min. O responsável pela doação não estava no momento da chegada do veículo. Como sabia que a visita seria naquele dia (a central havia avisado), esse doador deixou com o porteiro o número do celular e pediu para ser avisado quando o veículo chegasse. Como o doador reside bem próximo, não demoraria a chegar. O motorista, avisado pelo porteiro, decidiu ligar para o doador de seu celular pessoal. Rapidamente o doador apareceu no local. O objetivo nesse ponto tratou da coleta de cinco recipientes cheios de 50 litros. No entanto, havia de fato sete recipientes cheios de 50 litros. O motorista foi ajudado e conseguiu colocar todos esses recipientes dentro do veículo. Após registrar a doação, seguiu para o próximo ponto.

P3: A chegada nesse local aconteceu às 13h47min e a saída às 13h58min. O objetivo foi o de entregar um *kit* com equipamentos de proteção individual, seis recipientes vazios de 35 litros e quatro recipientes vazios de 50 litros. Esse local é uma cooperativa localizada no Complexo do Alemão. O ponto foi encontrado com facilidade. Uma das responsáveis pela cooperativa recebeu o *kit* e os recipientes vazios e assinou a folha de controle. Por conseguinte, o motorista seguiu para o próximo ponto da rota que havia estabelecido.

P4: No trajeto para chegar nesse ponto, o motorista observou que os recipientes coletados na cooperativa do ponto P2, todos de “boca” larga, não estavam perfeitamente vedados e, com o chacoalhar do veículo, o óleo estava vazando. Ainda durante trajeto, o motorista teve muita dificuldade para encontrar o ponto P4. Chegou a perguntar para diversas pessoas nas ruas sobre o local que estava procurando. A maioria desconhecia

aquele endereço. O motorista afirmou que iria desistir e ir embora. Partiu com o veículo até que, pouco depois, ligou para a central de seu celular pessoal. O presidente reconheceu que o endereço estava errado e informou o certo. A partir do endereço correto, o motorista encontrou-o muito facilmente. A chegada nesse ponto, uma cooperativa localizada no bairro da Penha Circular, aconteceu às 14h51min e a saída às 15h01min. O objetivo nesse local também foi o de entregar um *kit* com equipamentos de proteção individual, seis recipientes vazios de 35 litros e quatro recipientes vazios de 50 litros. No local, o responsável pela cooperativa foi encontrado e o motorista efetuou essa entrega. Após a assinatura do responsável na folha de controle, o motorista seguiu para o último ponto.

P5: A chegada no local aconteceu às 15h23min e a saída às 15h54min. O ponto era a sede de uma cooperativa situada no bairro de Jardim Gramacho na cidade de Duque de Caxias. O objetivo tratou da coleta de dois recipientes cheios de 50 litros e da entrega de quatro recipientes vazios de 35 litros. O motorista encontrou o ponto com facilidade e três membros da cooperativa já estavam na entrada da sede com os recipientes aguardando a visita. Entretanto, além dos dois recipientes cheios de 50 litros, também havia algumas garrafas PET e recipientes de 20 litros cheios. Assim sendo, o motorista lembrou que ainda restara dois recipientes vazios de 50 litros dentro do veículo. Os membros da cooperativa decidiram passar o conteúdo das garrafas PET e dos recipientes de 20 litros para esses dois recipientes disponíveis. Foram coletados, então, quatro recipientes cheios de 50 litros. Após a alocação destes no veículo, o motorista amarrou essa carga de forma inadequada, pois a corda ficou frouxa. No trajeto de volta para o ponto de partida, ao passar por uma rua íngreme, os recipientes tombaram derramando o óleo na estrada. O motorista parou o veículo e levantou os recipientes. Aproximadamente 100 litros foram perdidos.

P0: O retorno ao ponto inicial ocorreu às 16h56min. O presidente e a secretária encontravam-se na sede. A primeira ação do motorista ao chegar à central foi a de explicar o derramamento de óleo na estrada. Ele explicou que havia amarrado, mas com o chacoalhar do veículo a corda afrouxou. Uma quantidade de óleo que ainda estava no “chão” do veículo caiu no pátio da central onde o veículo estava estacionado. O presidente pediu ajuda e colocaram terra sobre a mancha de óleo. O presidente pediu ao motorista para levar o veículo para um posto a fim de lavá-lo.

