



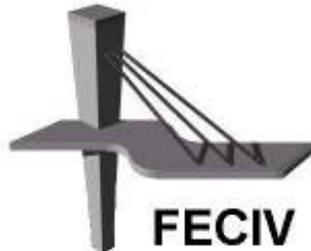
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS
EMPREGANDO O TRANSCAD - CONTRIBUIÇÃO PARA A
DISTRIBUIÇÃO URBANA DE CARGAS**

MIGUEL ÂNGELO ALMEIDA FARIA DE PAULA

UBERLÂNDIA, 21 DE AGOSTO DE 2009



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil



Miguel Ângelo Almeida Faria de Paula

**ESTUDO DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS EMPREGANDO O
TRANSCAD - CONTRIBUIÇÃO PARA A DISTRIBUIÇÃO URBANA DE
CARGAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia de Transportes

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Faria

UBERLÂNDIA, 21 DE AGOSTO DE 2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P324e Paula, Miguel Ângelo Almeida Faria de, 1983-

Estudo de roteirização de veículos empregando o TransCAD: contribuição para a distribuição urbana de cargas / Miguel Ângelo Almeida Faria de Paula. - 2009.

104 f.: il.

Orientador: Carlos Alberto Faria.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui bibliografia.

1. Transporte de mercadorias - Teses. 2. Transporte rodoviário de carga - Teses. I. Faria, Carlos Alberto. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 656.025.4



**ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE Mestrado DO PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ATA Nº: 062/2009

CANDIDATO: Miguel Ângelo Almeida Faria de Paula

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Alberto Faria

TÍTULO: "Estudo de roteirização de veículos empregando o TransCAD – contribuição para a distribuição urbana de cargas"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana

LINHA DE PESQUISA: Planejamento e Operação de Transportes

DATA DA DEFESA: 21 de agosto de 2009

LOCAL: Sala de Apoio I da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 08:45 - 11:15

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o candidato foi:

APROVADO

REPROVADO

OBS: adequações no texto conforme sugestões da banca e melhoria
da análise dos dados incluindo análise de sensibilidade

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:


Professor Orientador: **Prof. Dr. Carlos Alberto Faria – FECIV/UFU**


Membro externo: **Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Júnior - UNICAMP**


Membro: **Prof. Dr. José Aparecido Serratini – FECIV/UFU**

Uberlândia, 21 de agosto de 2009

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus Pai, mentor e inspirador de toda obra.

Agradeço a meu pai e minha mãe (*in memoriam*) que sempre me apoiaram e instigaram na corrida pelo saber.

Agradeço aos meus três irmãos: Gisângela, Gisandra e Maísner, pilares que me sustentaram.

Agradeço a minha avó, tios e primos.

Agradeço aos meus amigos da “Rua 13”, que sempre me incentivaram nesse trabalho.

Agradeço ao professor e orientador Carlos Alberto Faria que sempre prestativo, auxiliou e cobrou na hora certa.

Agradeço aos amigos companheiros do Laboratório de Transportes: Douglas, Allyne, Flávia e Thaís, que apoiaram e ajudaram para conclusão do trabalho.

Agradeço ao gerente executivo de logística Douglas, que muito colaborou para o andamento e finalização de meu trabalho.

Agradeço a Camila Carrara, sempre disponível, me ensinou e auxiliou no manuseio do TransCAD.

Agradeço as amigas de Goiânia: Elizani e Gisele.

Agradeço a nossa secretária da pós-graduação Sueli, sempre pronta a nos ajudar.

Agradeço a CAPES por fomentar minha pesquisa.

Paula, M. A. A. F. Estudo de Roteirização de Veículos Empregando o TransCAD – Contribuição para a Distribuição Urbana de Cargas. Dissertação, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

RESUMO

Esse trabalho analisa a distribuição urbana de carga do setor atacadista-distribuidor para o setor varejista de supermercados com o auxílio do *software* TransCAD, aplicando o problema de roteirização de veículos com janelas de tempo para uma possível otimização de rotas de entrega. O TransCAD trabalha com uma rede viária configurada com base nos conceitos advindos da teoria dos grafos e que foram abordados nesse estudo, juntamente com alguns conceitos básicos da cadeia de distribuição e seus elementos. Na aplicação do TransCAD alguns parâmetros foram estabelecidos e baseados nos dados fornecidos por uma empresa atacadista-distribuidora situada na cidade de Uberlândia, dados tais como: tipo de veículo, tamanho da frota, demanda média por cliente entre outros. Foram trabalhados 4 (quatro) cenários, onde para cada um desses as características do veículo Tipo sofreram alterações. Para cada cenário foram gerados *outputs* nos quais se pode verificar as melhores configurações de itinerários e rotas para o problema de distribuição urbana de carga. Apesar do TransCAD não analisar fatores como condições de tráfego, disposição da carga no veículo, velocidade média do veículo ao longo do percurso entre outros, sabe-se que os resultados são aproximados, mas servem como orientação para a operação da atividade de distribuição de mercadorias.

Palavras-chave: distribuição urbana de carga, TransCAD, roteirização de veículos.

PAULA, M. A. A. F. de. Analysis of Vehicle Routing via TransCAD: a Contribution to Urban Freight Distribution. Dissertation, School of Civil Engineering, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

ABSTRACT

This study analyzes urban freight distribution from the wholesale distribution sector to supermarkets' retail sector via TransCAD software, and the vehicle routing problem with time windows has been applied for possible delivery route optimization. TransCAD focuses on a transport system based on graph theory concepts which have been employed in this study, together with some basic concepts of distribution chain and its elements. Some parameters for the application of TransCAD have been based on information provided by a wholesale distribution company located in Uberlândia, Brazil. Such information includes vehicle type, fleet size, and average client demand. The features of the vehicle type underwent changes in four different scenarios; outputs were generated for each of these scenarios, which revealed the most effective itinerary and route settings for urban freight distribution. Even though TransCAD fails to analyze factors such as traffic conditions, vehicle freight arrangement, and average vehicle speed along a given route, the results of this study may contribute to the operation of product distribution.

Keywords: urban freight distribution, TransCAD, vehicle routing.

SÍMBOLOS E SIGLAS

SÍMBOLOS

$d_{D,i}$	Distância entre o ponto D e o ponto i
$d_{D,j}$	Distância entre o ponto D e o ponto j
$d_{i,j}$	Distância entre o ponto i e o ponto j
$E_{i,j}$	Economia do percurso
h	Horas
kg	Quilos
l	Litros
L	Percurso total
L'	Percurso total
m^3	Metro cúbico
min	Minutos
R\$	Real

SIGLAS

GPS	<i>Global Position System</i>
MG	Minas Gerais
PCV	Problema do Caixeiro Viajante
PCVB	Problema do Caixeiro Viajante com <i>Backhauls</i>
PCVCE	Problema do Caixeiro Viajante com Cliente Estocástico
PCVE	Problema do Caixeiro Viajante Estocástico
PCVG	Problema do Caixeiro Viajante Generalizado
PCVS	Problema do Caixeiro Viajante Simétrico
PCVJT	Problema do Caixeiro Viajante com Janela de Tempo
PCVM	Problema do Caixeiro Viajante Múltiplo
PCVTE	Problema do Caixeiro Viajante com Tempo Estocástico
PCV-B	Problema do Caixeiro Viajante com Bônus
PCV-M ³ S	Problema do Caixeiro Viajante Min Max-Min Sum
PCV-S	Problema do Caixeiro Viajante Seletivo

PRV	Problema de Roteirização de Veículos
PRVJT	Problema de Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo
RCF-DC	Seguro Facultativo de Responsabilidade Civil Facultativa – Desaparecimento de Carga
RCTR-C	Seguro Obrigatório de Responsabilidade Civil do Transportador Rodoviário – Carga
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIG-T	Sistema de Informação Geográfica para Transportes
SIT	Sistema Inteligente de Transporte

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS GERAIS	2
1.1.1 Objetivos Específicos.....	3
1.2 JUSTIFICATIVA	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
CAPÍTULO 2 - DISTRIBUIÇÃO URBANA DE CARGA.....	5
2.1 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO URBANA DE CARGA.....	6
2.2 CANAL DE DISTRIBUIÇÃO	11
2.3 SETOR VAREJISTA DE SUPERMERCADOS	12
2.4 SETOR ATACADISTA	15
CAPÍTULO 3 - ROTEIRIZAÇÃO	19
3.1 TEORIA DOS GRAFOS	19
3.1.1 Grafos.....	19
3.1.2 Dígrafos.....	20
3.1.3 Grafo Regular.....	21
3.1.4 Grafo Completo.....	21
3.1.5 Grafo Valorado	21
3.1.6 Cadeia.....	22
3.1.7 Caminho, Ciclo e Circuito	23
3.2 PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE – PCV	23
3.2.1 Problemas Correlatos do PCV	26
3.2.2 PCV Simétrico (PCVS).....	26
3.2.3 PCV Generalizado (PCVG)	27
3.2.4 PCV com <i>Backhauls</i> (PCVB)	27

3.2.5 PCV com Janela de Tempo (PCVJT)	27
3.2.6 PCV Múltiplo (PCVM)	28
3.2.7 PCV com Gargalo ou MinMax (PCV MinMax).....	28
3.2.8 PCV com Bônus (PCV-B)	28
3.2.9 PCV Seletivo (PCV-S).....	28
3.2.10 PCV Estocástico (PCVE).....	28
3.2.11 PCV Min Max-Min Sum (PCV-M ³ S).....	29
3.3 PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS - PRV	29
3.3.1 Classificação dos problemas de roteirização de veículos	32
3.3.2 Classificação segundo Bodin <i>et al.</i> (1983).....	32
3.3.3 Classificação segundo Ronen (1988).....	33
3.3.4 Classificação segundo Assad (1988).....	34
3.3.5 Classificação segundo Desrochers <i>et al.</i> (1990)	34
CAPÍTULO 4 - TRANSCAD	36
4.1 MÉTODO DE CLARKE E WRIGHT (1964).....	37
4.2 REDE DE TRABALHO – <i>NETWORK</i>	39
4.3 PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM JANELA DE TEMPO (PRVJT).....	41
4.3.1 Entrada de Dados	45
4.3.2 Caracterização dos Veículos	47
4.3.4 Matriz de Roteirização	48
4.3.5 Arquivos de Saída	51
4.3.6 Arquivo gráfico de Rota.....	51
4.4 CUSTOS DE TRANSPORTE	52
CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASO.....	57
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRABALHO.....	58
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA REDE VAREJISTA DE SUPERMERCADOS.....	58
5.3 CARACTERIZAÇÃO DO ATACADISTA-DISTRIBUIDOR	59
5.4 CENÁRIOS	61
CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E CONCLUSÕES	63
6.1 RECOMENDAÇÕES	66
REFERÊNCIAS	67

ANEXOS	75
ANEXO A.....	75
ANEXO B.....	80
ANEXO C.....	85
ANEXO D.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquema típico de distribuição “Um para Muitos”.....	9
Figura 2.2 – Estrutura simplificada de um canal de distribuição.	11
Figura 2.3 – Estrutura simplificada de um canal de distribuição com o “elo”- transporte..	12
Figura 3.1 – Grafo básico.	20
Figura 3.2 – Dígrafo.	20
Figura 3.3 – Grafo regular de grau 3.	21
Figura 3.4 – Grafos completos.	21
Figura 3.5 – Grafo Valorado.....	22
Figura 3.6 – Representação da Cadeia.....	22
Figura 3.7 – Representação do Caminho.....	23
Figura 3.8 – Mapa Icosiano - Projeção das arestas de um dodecaedro em um plano.	24
Figura 4.1 – Atendimento Sucessivo (Situação A); Atendimento Individual (Situação B).	37
Figura 4.2 – Janela TransCAD - <i>Network</i> com as demarcações de nós e arcos.....	40
Figura 4.3 – Janela TransCAD - Roteirização de veículos com janela de tempo.	43
Figura 4.4 – Caixa TransCAD – Modo de operação para roteirização de veículo.....	45
Figura 4.5 – Caixa TransCAD – Inserção de atributos para <i>layers</i>	46
Figura 4.6 – Caixa de diálogo TransCAD - Tabela de veículos.....	48
Figura 4.7 – Caixa TransCAD – Criação da Matriz de Roteirização.	49
Figura 4.8 – Janela TransCAD - Matriz de Roteirização - Diagonal principal.	50
Figura 4.9 – Janela do TransCAD - Gráficos das Rotas geradas.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Síntese da expansão dos supermercados no Brasil.	14
Tabela 2.2 – Classificação do varejo supermercadista.	15
Tabela 4.1 – Itens e subitens para cálculo do custo de entrega.	55
Tabela 4.2 – Caracterização dos veículos.	56
Tabela 5.1 – Quantitativo da demanda por tipo de estabelecimento.	59
Tabela 5.2 – Caracterização dos horários de atendimento aos clientes.	59
Tabela 5.3 – Informações coletadas junto ao Atacadista-Distribuidor.	60
Tabela 5.4 – Configurações dos veículos operantes.	60
Tabela 5.5 – Cenários analisados.	61
Tabela 5.6 – Configuração dos veículos utilizados para distribuição de carga.	62
Tabela 6.1 – Resultados obtidos.	64

Capítulo 1

Introdução

A mobilidade urbana é um elemento importante no desenvolvimento urbano, e proporcionar uma mobilidade eficiente é uma ação mais que essencial para o desenvolvimento econômico e social das cidades. Deslocar de modo eficiente, eficaz e coordenado é papel da logística, que também abrange a distribuição de produtos, serviços e pessoas.

A logística tornou-se importante quando passou de um simples centro de custo, a uma operação que poderia trazer dividendos a uma empresa se fosse tratada de forma coordenada e eficaz. Desse modo, a logística converteu-se em peça fundamental para o sucesso financeiro e econômico, não só de uma empresa, como também de um município, estado ou nação.

As diversas mudanças na estrutura das empresas e em suas políticas organizacionais como o aumento no número de pedidos, porém com volume de compra menor, e no trabalho com estoques reduzidos fizeram com que houvesse um crescimento muito grande do número de entregas e de veículos trafegando pelas vias urbanas, provocando, além de engarrafamentos, aumento nos insumos relacionados aos custos de entregas e nos tempos para se percorrer um determinado roteiro de distribuição da carga.

A distribuição urbana de carga eficiente contribui como fator primordial na busca pelo ganho de capital e aumento da competitividade no setor de distribuição de cargas, o que conseqüentemente refletirá no ganho de dividendos, pois atualmente os custos de transporte representam uma parcela significativa do preço de muitas mercadorias.

Nesse contexto, o uso da tecnologia de informação é de grande auxílio para uma otimização da distribuição urbana de carga. Sistemas de Informações Geográficas (SIG), *Global Position System* (GPS), Sistemas Inteligentes de Transportes (SIT), programas de

gerenciamento com rotinas e a telemática, de forma geral, podem e vêm sendo bastante empregados no abastecimento de empresas e distribuição de cargas para o consumo, auxiliando no melhoramento dos processos de coleta e entrega de mercadorias (DUTRA, 2004).

Com a evolução da tecnologia, empresas de distribuição de carga ganharam fortes aliados, como rastreadores, roteirizadores, gerenciadores de frotas, código de barras, entre outros. Hoje, é possível obter mapas digitalizados de cidades para o uso em microcomputador, com informações de georreferenciamento e afins.

Estudos de roteirização podem ser realizados para a obtenção de itinerários em condições de custos mínimos e baseados na rede georreferenciada com procedimentos de distribuição otimizada, com redução de quilometragem percorrida, combustível e tempo, considerando horários mais recomendáveis para o descarregamento, horários de livre circulação, melhor aproveitamento da capacidade dos veículos, redução no número de veículos utilizados, etc. (VERLANGIERI, 1999).

Ainda na temática dos estudos de roteirização como uma das soluções para a otimização da distribuição urbana de carga, faz-se nesse estudo o emprego do *software* TransCAD que é desenvolvido pela *Caliper Corporation*.

O TransCAD é um sistema utilizado para armazenar, mostrar, gerenciar e analisar dados de transporte, combinando um SIG (Sistemas de Informações Geográficas) e um sistema de modelagem de transporte em uma plataforma integrada. Trabalhando com todos os modais de transporte, esse sistema, quando aplicado a modelos de roteirização e logística, pode ser utilizado para diversas aplicações (FERREIRA FILHO E MELO, 2001).

1.1 Objetivos Gerais

Com base no procedimento de roteirização do *software* TransCAD analisar o processo de distribuição urbana de mercadorias visando à otimização das rotas de entregas dos veículos de serviço.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Estudar o sistema de distribuição urbana de carga e seus componentes (setores atacadista e varejista) na cadeia básica de distribuição.
- Abordar experimentalmente o Problema de Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo – PRVJT – usando o *software* TransCAD.
- Analisar 4 (quatro) cenários sobre o estudo de roteirização de veículos, modificando em cada um dos cenários a caracterização do veículo de entrega.

1.2 Justificativa

Segundo artigo publicado pela *European Commission* (2001), o crescimento econômico concorrerá quase que automaticamente para gerar grandes necessidades por mobilidade, com o aumento da demanda por serviços de cargas estimados em 38% e de passageiros em 24%, no ano de 2010.

Carrara (2007) enfatiza que a oferta do serviço de transporte urbano de cargas surge basicamente em resposta à demanda por cargas pela comunidade urbana (empresas, população e governantes) e também da necessidade das empresas terem disponibilidade de matéria-prima no seu processo de produção e, depois, como meio para disponibilização dessa produção ao mercado consumidor.

De acordo com o estudo de Resende e Mendonça (2007), apenas 6,6% das empresas pesquisadas fazem uso de sistema de roteirização para controle das operações de distribuição de carga. A roteirização de veículos surge como uma alternativa para a melhora do serviço prestado e para uma economia dos custos de transporte.

Atenta-se nesse trabalho o estudo da roteirização de veículos na distribuição urbana de mercadorias, da cadeia atacadista-distribuidora para a cadeia varejista de supermercado, relação essa que gera um grande número de viagens por se tratar de produtos de alta rotatividade, o que conseqüentemente acarreta custos, bem como uma relevante perda no nível de serviço prestado.

1.3 Organização do Trabalho

No Capítulo 2 é abordado o sistema de distribuição de cargas e seus componentes, assim como uma descrição dos dois elementos presentes na cadeia de distribuição.

No Capítulo 3 são abordados alguns conceitos providos da Teoria dos Grafos que servirão de base para o entendimento do Problema de Roteirização de Veículos (PRV) e para os estudos de diversos autores caracterizando e descrevendo esse problema e suas variantes.

No Capítulo 4 é abordado uma descrição específica do *software* TransCAD que servirá para aplicação do módulo de roteirização de veículos.

No Capítulo 5 é proposto um Estudo de Caso baseado em dados obtidos em um atacado-distribuidor da cidade de Uberlândia -MG, que posteriormente servirão para a aplicação do *software* TransCAD na elaboração das rotas de distribuição de carga para o setor varejista de supermercado.

Por fim, no Capítulo 6 estão apresentadas conclusões e recomendações referentes ao estudo.

Capítulo 2

Distribuição Urbana de Carga

Segundo Santos e Aguiar (2001), a questão das cargas urbanas remonta à própria história da urbanização, quando os bens a serem consumidos nas áreas urbanas tinham que acessar, adentrar e circular nesses espaços geralmente adensados em termos populacionais e de edificações e com vias e acessos de baixa capacidade de circulação, condições urbanas estas impostas pelo desenvolvimento tecnológico da infra-estrutura sanitária e dos transportes da época.

A vinculação da movimentação urbana de carga (atividade não somente de carga e descarga, mas também relacionada com os deslocamentos das cargas de um ponto a outro do espaço urbano) ao desenvolvimento econômico das cidades apóia-se na infra-estrutura de transportes, que facilita a mobilidade de pessoas e bens, conferindo um alto grau de competitividade e habitabilidade a uma cidade e constituindo um dos elementos cruciais da oferta urbana (SANTOS e AGUIAR, 2001).

Dutra (2004) é mais específica quando aponta que a economia de uma região está fortemente ligada ao movimento de mercadorias que é capaz de gerar e/ou induzir e também enfatiza que o transporte de carga eficiente tem papel significativo na competitividade de uma área urbana e pode ser, em si mesmo, um elemento importante na economia da região, tanto em termos de renda criada, quanto ao nível de emprego que mantém.

Santos e Aguiar (2001) enfatizam que a eficiência e a eficácia das cargas urbanas relacionam-se às entregas de mercadorias nos centros urbanos e incluem responsabilidades tanto do poder público quanto do privado. Os autores apontam 6 (seis) responsabilidades do poder público que sendo atendidas, visam melhorar o desempenho do transporte de carga:

- Adequação e infra-estrutura viária e de obras-de-arte para caminhões;
- Adequação de áreas urbanas, estabelecendo regulamentação de horários para carga e descarga, especialmente nas áreas centrais das cidades;
- Destinação de facilidades de transferência intermodal de cargas nos maiores terminais portuários ou em seus entornos;
- Alocação de áreas para terminais de cargas em locais apropriados e com adequados controles, a fim de permitir a operação ininterrupta;
- Introdução de medidas que melhore o desempenho dos caminhões, incluindo semaforização coordenada, ligação da área industrial por vias expressas, maior eficiência da sinalização vertical e horizontal, e até mesmo, a relocação de terminais de cargas;
- Destinação de facilidades dentro da regulamentação sobre os veículos de cargas que permitam a operação desses veículos, onde a natureza das cargas em operação recomendarem.

Não se pode contestar que a carga, mais especificamente a urbana, é de extrema importância não somente para a economia de uma região, como também para o melhoramento da qualidade de vida da população, que a cada dia necessita de um quantitativo maior de produtos, bem como uma maior diversidade desses. Assim, a distribuição urbana de carga constitui peça chave para que consumidores tenham seus produtos quando e onde quiserem, e na configuração que desejarem (BALLOU, 2001).

Devido à forte competição e às crescentes exigências dos consumidores, as empresas da área de distribuição de carga tentam reduzir custos, ao mesmo tempo em que buscam melhorar os serviços. Isso conduz à centralização de armazéns e ao aumento das distâncias e frequências de transporte. Assim, por um lado, o consumidor quer um serviço cada vez melhor e, por outro, aceita cada vez menos os efeitos negativos do tráfego intenso da carga gerada (OGDEN, 1992).

2.1 Sistema de Distribuição Urbana de Carga

Moura (2000) enfatiza que o processo de distribuição compreende o processo em si, a montagem no estágio de distribuição, o acondicionamento das mercadorias e todo e

qualquer ajuste que seja necessário para atender às especificações dos pedidos. O objetivo desse processamento é melhorar a distribuição de mercadorias, ou seja, promover a eficiência da produção e criar lotes de carga para transporte, ou ainda fornecer informações selecionadas complementares para facilitar o atendimento das necessidades do cliente por meio de promoções de vendas, planejamento e promovendo a produção em massa.

As operações necessárias para a distribuição de mercadorias incluem transporte, estocagem, carregamento e descarregamento, embalagem, processo de distribuição e gerenciamento de informações da distribuição de produtos. Metade dos custos envolvidos na distribuição de mercadorias destina-se ao transporte. Atualmente, com a tendência de entregas de pequeno porte e de alta frequência, maior velocidade de transporte e exigências de entrega porta-a-porta, o custo do transporte é extremamente elevado (MOURA, 2000).

No estudo de Ma (1999), são apresentadas as características dos elementos da cadeia de carga/descarga, em um sistema de distribuição de carga. Nesse estudo, a autora identifica 10 (dez) elementos presentes:

- **Receptores** (comerciantes, lojistas etc.): diferem de acordo com suas funções, tamanhos e localização;
- **Veículos de entrega:** variam com o tamanho (geralmente, pequenos e médios caminhões encarregam-se das entregas nos centros urbanos), tipo de propulsão (podem-se fazer pequenas entregas a pé, em bicicletas, motocicletas, carros de passeio e vans);
- **Ruas:** a classificação varia com a função (vias expressas, arteriais, coletoras e locais), capacidade e tipo de pavimento; ciclovias e calçadas (para pedestres) também são considerados;
- **Estacionamento:** pode ser aberto (em ruas) ou fechado (área delimitada); público ou privado; pode funcionar com janelas de tempo específicas (durante o dia, pode abrigar mais de um tipo de veículo);
- **Percurso:** o itinerário tem forte influência nos tempos e velocidades, bem como na conveniência de acessibilidade;
- **Carga:** diferentes tipos de cargas exigem distintos padrões de acondicionamentos. Suas formas determinam a facilidade de carregamento;

- **Motoristas:** prazos devem ser respeitados e, para cada entrega, é estipulado um tempo médio. No caso de algum imprevisto, a boa comunicação entre o motorista e a base faz-se imprescindível. O bom treinamento é fundamental, inclusive para a diminuição da poluição;
- **Carregadores:** para levar a carga do ponto de descarga até o destino (loja, comércio). Algumas vezes, é feito pelo próprio motorista – isso dependerá da quantidade e do tipo de mercadoria;
- **Equipamentos usados na entrega:** incluem as ferramentas que são usadas para descarregar e levar até o destino (carrinhos-de-mão, contêineres, reboques, etc.). A escolha do adequado conjunto de ferramentas adequado dependerá do percurso e do tipo de carregamento;
- **Expedição da mercadoria (*shipment*):** equipamento e tamanho das entregas dependem muito do tipo de carga.

Para Novaes (2004), o sistema de distribuição de carga contém 6 (seis) agentes principais. Cada agente possui expectativas próprias com relação ao equilíbrio das relações sociais e econômicas existentes no meio urbano, procurando alterar o mínimo possível as rotinas que estão acostumadas a seguir nas suas operações diárias:

- **Fabricante da mercadoria ou bem:** o principal interesse é a sua colocação e permanência no mercado, o que pode ser obtido por meio da redução do preço final do produto, porém mantendo a margem para a empresa;
- **Varejista:** querem os produtos na hora marcada, com boa qualidade e preço acessível, pois o não atendimento a essas condições pode causar aumento nos estoques, a perda de vendas potenciais e, até mesmo, a perda definitiva do cliente para um concorrente;
- **Transportadora:** buscam fretes compensadores e a qualidade de atendimento aos seus clientes que lhes permitam ter competitividade no mercado;
- **Autoridade local:** tem por obrigação regulamentar a circulação dos veículos de carga visando proteger e atender às expectativas da comunidade (redução de ruídos, da poluição atmosférica e de acidentes, entre outras) sem prejudicar a economia local, que depende da logística de distribuição para crescer e competir;

- **Fabricantes do veículo transportador de carga:** buscam adicionar aos veículos por eles fabricados o diferencial de valor, que depende da aceitação de seus produtos pelos demais agentes do processo;
- **Comunidade:** busca maior facilidade de circulação nos grandes centros urbanos, bem como um ambiente saudável, tanto no momento presente como para as futuras gerações.

Para sistemas de distribuição de carga, Novaes (2007) resume duas configurações básicas: distribuição “Um para Um” e distribuição “Um para Muitos”.

A segunda configuração de distribuição será fonte de análise para esse estudo, onde 1 (um) veículo sai do centro de distribuição e faz a distribuição das mercadorias para vários supermercados em uma área urbana. A situação típica é mostrada na Figura 2.1.

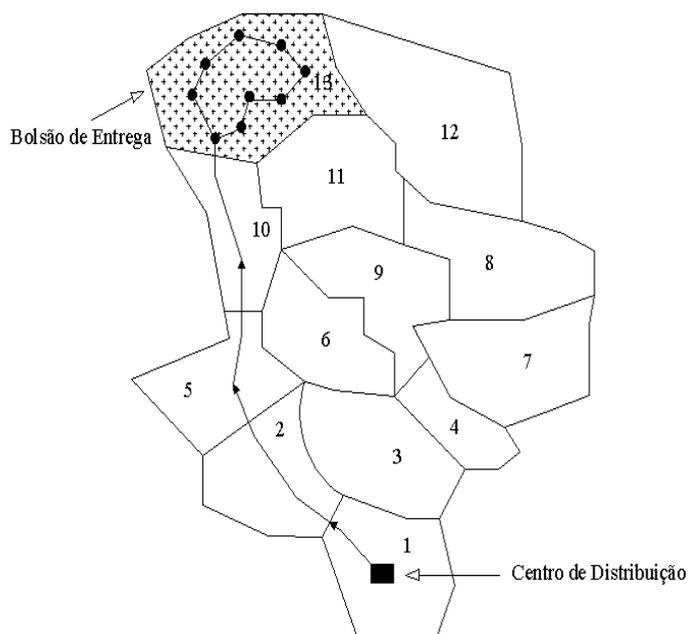


Figura 2.1 – Esquema típico de distribuição “Um para Muitos”.

O veículo parte de 1 (um) centro de distribuição e percorre certa distância até o bolsão de entrega. Dentro do bolsão de entrega, o veículo realiza inúmeras visitas efetuando a distribuição das mercadorias.

Essa distribuição é influenciada por 15 (quinze) fatores, quando encarada do ponto de vista logístico. Novaes (2007) define-os como sendo:

- **Divisão da região a ser atendida:** faz-se em zonas ou bolsões de entrega, sendo cada bolsão alocado normalmente a um veículo;
- **Distância entre centro de distribuição e a região de entrega:** um dos elementos mais influentes para o transporte de mercadorias, pois condiciona a seleção do tipo de veículo, dimensionamento da frota, o custo e o frete a ser cobrado do cliente;
- **Velocidades operacionais médias:** são as velocidades medidas durante o percurso de operação do veículo, descontado os tempos de carga e descarga, tempo de espera para ser atendido pelo cliente, etc;
- **Tempo de parada em cada cliente:** tempo contabilizado para carga e/ou descarga no cliente e, também, tempo de espera para ser atendido pelo cliente;
- **Tempo de ciclo necessário para completar um roteiro e voltar ao centro de distribuição:** tempo gasto em toda a operação de distribuição de cargas;
- **Frequência das visitas:** número médio de vezes, em um determinado período de tempo, que os veículos visitam as lojas ou clientes;
- **Quantidade de mercadoria a ser entregue em cada loja ou cliente do roteiro:** geralmente essa quantidade já é pré-definida antes do início da operação de distribuição de carga;
- **Densidade da carga:** afeta a escolha do tipo de veículo mais adequado ao serviço e, por consequência, tem impacto no custo de transporte;
- **Dimensões e morfologia das unidades transportadas:** tanto dimensões quanto a forma das mercadorias afetam no transporte;
- **Valor unitário:** pode implicar o uso de veículos especiais e a implantação de sistemas de segurança e de monitoramento adequados;
- **Acondicionamento:** carga solta, paletizada, a granel, etc;
- **Grau de fragilidade:** influencia nos cuidados que se deve tomar no processo de embalagem do produto, no seu manuseio e transporte;
- **Grau de periculosidade:** possui implicações severas na distribuição de produtos, principalmente nos países desenvolvidos;
- Compatibilidade entre produtos de natureza diversa;
- **Custo global:** custo total inerente ao processo.

2.2 Canal de Distribuição

No presente estudo, serão abordadas duas peças fundamentais de um simples canal de distribuição: cadeia atacadista-distribuidora e cadeia varejista de supermercados. Mas primeiramente torna-se imprescindível a realização de uma breve introdução do conceito de canal de distribuição.

De acordo com Las Casas (2002), os elementos que estão no processo de distribuição são os membros de um canal. O canal é o caminho percorrido pelo produto para transferir-se do produtor ao consumidor final. Um fabricante poderá vender para um atacadista, que venderá para um varejista, que venderá, finalmente, para o consumidor final, conforme Figura 2.2.

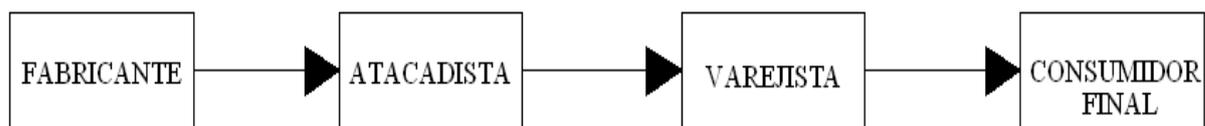


Figura 2.2 – Estrutura simplificada de um canal de distribuição.

O canal de distribuição da Figura 2.2 é um esquema simples do processo de distribuição de mercadorias. Existem muitos outros esquemas que são adotados por empresas para atender melhor suas necessidades. As principais situações, segundo Novaes (2007), são:

- Fabricante abastece diretamente o varejista;
- Fabricante abastece seus próprios centros de distribuição e, a partir desses nós, abastece os varejistas;
- Fabricante abastece os centros de distribuição do varejista que, por sua vez, abastece as lojas;
- Fabricante entrega o produto diretamente no domicílio do consumidor final, utilizando o correio ou o serviço de entrega terceirizado.

Para qualquer esquema adotado não há como desconsiderar o elo entre as peças da estrutura, o transporte, conforme ilustra a Figura 2.3. Toda cadeia é interligada pelo transporte, seja ele rodoviário, ferroviário, aquaviário ou aeroviário.

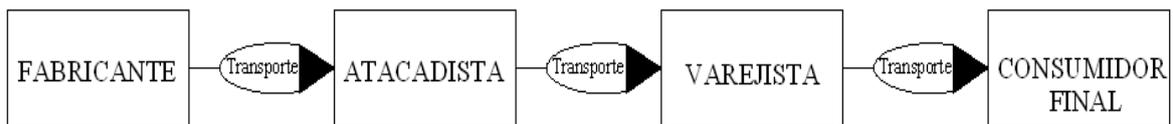


Figura 2.3 – Estrutura simplificada de um canal de distribuição com o “elo”- transporte.

A seguir, são descritos os 2 (dois) elementos pertencentes à estrutura simplificada, de acordo com a Figura 2.3.

2.3 Setor Varejista de Supermercados

Os estabelecimentos conhecidos como supermercados tiveram sua formatação como é conhecida hoje, no início do século XX, em algumas cidades dos Estados Unidos. Formatação conhecida como auto-serviço, onde o cliente escolhe os produtos sem a ajuda de funcionários, pois *a priori* muitos dos supermercados utilizavam balcões onde clientes solicitavam um tipo de produto e eram atendidos por um funcionário.

A origem do supermercado moderno data de 1915-1916, quando foram inauguradas as primeiras lojas *Alpha Beta Markets* e *Piggly Wiggly*, respectivamente nos Estados da Califórnia e Tennessee, nos Estados Unidos (CONNOR E SCHIEK, 1997).

Com este tipo de auto-serviço, a idéia primordial era diminuir a margem de comercialização e aumentar o giro de mercadorias e, assim, aumentar o número de clientes, e é claro, aumentar também os dividendos.

Cyrillo (1987) aponta 3 (três) fatores que contribuíram para a expansão dos estabelecimentos de auto-serviço, a partir dos anos de 1920 nos Estados Unidos:

- Implementação de um imposto com alíquota crescente de acordo com o número de lojas da empresa. Esse fator prejudicava as grandes cadeias de mercearias que praticavam baixas margens de comercialização por loja;
- Diminuição da vantagem de obter economias pecuniárias das cadeias, já que as lojas independentes uniram-se em associações com intuito de obter um maior volume de compras e, conseqüentemente, um maior poder de barganha com os fornecedores;

- Queda do poder aquisitivo da população norte americana devido ao *crack* da bolsa de Nova York no ano de 1929, o que ocasionou a implantação de inovações pelos donos de supermercados.

A partir desse período, houve uma grande evolução nesse tipo de serviço. Muitas cadeias que ainda trabalhavam com o serviço de balcão foram substituindo esse tipo de formato pelo auto-serviço. A cadeia *The Great Atlantic and Pacific Tea* (A&P) substituiu 933 (novecentas e trinta e três) lojas de balcão por 204 (duzentos e quatro) supermercados (SESSO FILHO, 2003).

Outra inovação também marcante e presente até hoje, foi a introdução de produtos não alimentícios nas cadeias de supermercados. Isso ocorreu durante a Segunda Grande Guerra Mundial. A falta de alimentos fez com que as gôndolas ficassem vazias e assim fossem substituídas por produtos não alimentícios para que a aparência dos estabelecimentos tornasse-se mais agradável.

Nos anos de 1960-1970, fatores como urbanização, aumento da população e da renda per capita influenciaram o aumento do tamanho das lojas. Transformações como grandes estacionamentos, ar condicionado e venda de bens considerados duráveis causaram o aumento do custo operacional, oportunizando as empresas a trabalharem com um aumento na margem de comercialização (CYRILLO,1987).

No Brasil, os estabelecimentos de auto-serviço foram implantados na década de 50. O primeiro estabelecimento que fez o uso do auto-serviço foi instalado em São José dos Campos pela Tecelagem Parayba no ano de 1953 (ABRAS, 1993).

Segundo Sesso Filho (2003), desde a implantação da primeira loja de auto-serviço no Brasil, a expansão do setor supermercadista foi afetada pelas variáveis macroeconômicas das fases pelas quais passou a sociedade brasileira, tais como inflação, mudanças de impostos, desenvolvimento da indústria de alimentos, urbanização e planos de estabilização. Assim, o autor faz uma divisão do histórico desenvolvimento do setor supermercadista no Brasil em 5 (cinco) fases, apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Síntese da expansão dos supermercados no Brasil.

Período	Características
1953-1965 Introdução dos supermercados no Brasil	Necessidade de atender ao grande volume comercializado e barreiras à entrada.
1965-1974 Rápida expansão do setor supermercadista	Diminuição das barreiras à entrada; Abertura e concentração de hipermercados; Simpatia do novo regime econômico; Consolidação da posição como principal equipamento de comercialização do varejo.
1975-1984 Desaceleração do crescimento	Introdução das lojas de sortimento limitado; Acelerado processo de fusões e aquisições.
1986-1994 Adaptação à crise econômica	Aumento do número de lojas de sortimento limitado; Expansão das maiores empresas; Diminuição do crescimento do setor.
1995 até dias atuais Modernizações do setor supermercadista	Uso de novas tecnologias e modificações nas relações com fornecedores; Novo processo de fusões e aquisições; Lançamento rápido de novos produtos e maior conhecimento do consumidor.

Fonte: Sesso Filho, A.H (2003), adaptada.

Como outros setores do varejo, o setor de supermercados possui uma estrutura bem diversificada, contemplando desde pequenas lojas até grandes cadeias de hipermercados. A ACNielsen (Revista Distribuição, 2005) admite a seguinte classificação para os canais de comercialização considerados varejos supermercadistas:

- Pequeno Varejo Alimentar: de 1 a 4 *check-outs*;
- Supermercados de pequeno porte: de 5 a 9 *check-outs*;
- Supermercados de médio porte: de 10 a 19 *check-outs*;
- Supermercados de grande porte: acima de 20 *check-outs*.

A Revista SuperHiper (1991) faz uma outra classificação, baseada no faturamento, áreas de venda e número de caixa registradoras (*check-outs*), conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Classificação do varejo supermercadista.

Tipo de Loja	Faturamento em Milhões de US\$/ano	Áreas de Venda (m²)	Número de <i>Check- outs</i>
Supermercado	Mínimo de 1	400 a 5.000	3 a 40
Hipermercado	Mínimo de 12	Mais de 5.000	Mais de 40
Sortimento Limitado	Mínimo de 0,5	Mais de 300	3 a 10
Conveniência	Mínimo de 0,5	Até 300	Até 3

Fonte: Revista SuperHiper (1991), adaptada.

Atualmente, na cadeia varejista de supermercados, o processo logístico é considerado único, sistêmico, em que cada parte do sistema depende das demais e deve ser ajustado focando o todo. A distribuição urbana de carga, incluída no processo da logística urbana, entra como fator primordial na busca pelo ganho de capital, mesmo que indiretamente para o setor supermercadista.

A escolha do setor supermercadista para esse trabalho deve-se ao fato dos supermercados trabalharem com produtos de alta rotatividade, ou seja, buscam trabalhar com o mínimo de estoque necessário. Com este foco na minimização do estoque, esses estabelecimentos de auto-serviços acabam por atrair um número de viagens significativo por parte dos distribuidores de cargas. Essa quantidade significativa de viagens geradas acarreta custos e uma perda de qualidade no nível do serviço prestado e que devem ser minimizados, sejam no planejamento, na distribuição ou na operação.

2.4 Setor Atacadista

Maia (2006) define esse setor como uma entidade considerada intermediária entre o setor produtivo e o varejista e que, a partir de 1990, focou na capacidade de oferecer serviços ao varejo, os quais estão cada vez mais complexos e abrangentes. Além do tradicional atendimento dos pedidos, hoje já é possível encontrar atacadistas que oferecem assessoria

financeira e comercial, outros que facilitam o acesso destes à mídia por meio do *marketing* cooperado.

Kotler (1996) conceitua o setor atacadista como o campo onde inclui todas as atividades relacionadas com a venda de bens e serviços para aqueles que comprem para revenda ou uso comercial. Nesse sentido, o atacado exclui os fabricantes e os agricultores, que lidam, basicamente, com a produção e os varejistas. Dentre os atacadistas, a forma de atendimento ao cliente, isto é, ao varejista, pode ser diferente e essa diferenciação interferirá diretamente no nível de serviço.

No Brasil, o atacado remonta ao período colonial (1530-1822), com a exploração do pau-brasil e, depois, com o cultivo da cana-de-açúcar. O atacado confunde-se com o surgimento do próprio comércio na época da criação das cidades. A função tradicional do setor é ser um parceiro da indústria, cobrindo a distribuição de produtos em áreas ou canais não atendidos diretamente pelas empresas. Esse sistema de vendas existe até hoje, embora no fim da década de 60 e no início dos anos 70 surgiu uma nova opção: o atacado de auto-serviço, que se caracteriza por grandes lojas, com disponibilidade imediata de uma linha variada de produtos (NANNI *et al.*, 2006).

As atividades desenvolvidas pelo atacadista estão fundamentadas em uma estratégia básica que reside em dois pólos: a compra em boas condições de prazo e preço; e a venda em volumes que proporcionem cobertura de seus riscos de estocagem de produtos que podem sofrer depreciações diversas (COBRA, 1993).

Kiyohara (2001) define algumas das responsabilidades dos atacadistas:

- Estocar grandes quantidades de produtos;
- Manter grande variedade de produtos em estoque para atender necessidades específicas de seus clientes;
- Realizar a pronta entrega de mercadorias disponíveis em seu estoque a baixos custos;
- Conceder crédito aos seus clientes, agindo como um autêntico parceiro de negócios;

- Prestar serviços e informações a seus clientes, proporcionando informações técnicas e ajuda de vendas aos seus clientes;
- Antecipar as necessidades dos clientes e comprar para eles;
- Executar parte da função de compra do cliente, oferecendo produtos que eles não precisam manter em estoques;
- Adquirir o título de posse das mercadorias, assumindo o risco do negócio.

Os atacadistas foram classificados de acordo com as atividades exercidas e as especificidades dessas atividades. Destaca-se a classificação de Kotler (1996), em que o autor divide 2 (dois) grandes grupos, cada um com seu sub-grupo, a saber:

- **Atacadistas que Prestam Serviço Pleno:** estes fornecem serviços, como estocagem, manutenção de força de vendas, crédito, entrega e assistência gerencial. São 2 (dois) tipos:
 - **Atacadistas comerciais:** vendem, principalmente, a varejistas e fornecem ampla variedade de serviços. Podem vender uma ampla variedade de produtos, uma linha geral ou uma linha específica;
 - **Distribuidores industriais:** são atacadistas que vendem apenas a fabricantes e não a varejistas. Fornecem diversos serviços, como estocagem, crédito, entrega. Podem vender uma ampla variedade de produtos, uma linha geral ou uma linha específica.
- **Atacadistas que Prestam Serviços Limitados:** estes oferecem poucos serviços a seus fornecedores e clientes. São de vários tipos:
 - **Atacadistas tipo “pague e leve” (*cash and carry*):** trabalham com linha limitada de produtos de giro rápido e vendem à vista para pequenos varejistas que retiram a mercadoria;
 - **Atacadistas volantes:** vendem e entregam as mercadorias na porta do cliente. Trabalham com uma linha limitada de produtos semi-perecíveis, que vendem à vista em suas visitas a supermercados, restaurantes, lanchonetes de fábrica e hotéis;
 - **Atacadistas intermediários:** lidam com matérias-primas a granel, como carvão, madeira e equipamentos pesados. Não mantêm estoques ou manipulam os produtos. Após receberem um pedido, selecionam um

fabricante que entrega a mercadoria diretamente ao cliente conforme as condições de pedido e o prazo de entrega estipulado. Assumem a propriedade e o risco a partir da aceitação do pedido até o momento da entrega ao cliente;

- **Atacadistas especializados:** atendem pequenos varejistas, principalmente em itens que não sejam alimentos. Vendem em consignação, mantendo a propriedade até que os mesmos sejam vendidos pelos varejistas aos consumidores;
- **Cooperativas de produtores:** são de propriedade dos associados que levam a produção do campo para ser vendida na cidade. Seus lucros são distribuídos entre os associados no final do ano. Frequentemente, tentam melhorar a qualidade dos produtos e promovem uma marca cooperativa;
- **Atacadistas de mala direta:** enviam catálogos a varejistas, indústrias e clientes institucionais que vendem jóias, cosméticos, alimentos especiais e outros pequenos itens. Seus principais clientes são pequenas empresas em áreas pouco visitadas por vendedores. Os pedidos são atendidos e enviados pelo correio, transportadora ou outros meios eficientes de transporte.

De acordo com a classificação feita por Kotler (1996), o atacadista considerado nessa dissertação enquadra-se como Atacadistas que Prestam Serviço Pleno – Atacadistas Comerciais.

No capítulo seguinte será apresentado um Estudo de Caso na cidade de Uberlândia, onde alguns dados foram obtidos junto a um atacadista-distribuidor e que serão utilizados para a otimização das rotas de distribuição de carga em área urbana através do TransCAD.

Capítulo 3

Roteirização

A maioria dos problemas de roteirização de veículos é baseada nos conceitos advindos da teoria dos grafos. Esses problemas de roteirização lidam com passeios ou rotas sobre uma rede viária onde nós de demanda ou oferta são alocados.

Na configuração e caracterização de uma rede viária, como a realizada no *software* TransCAD para inúmeros trabalhos de roteirização de veículos, são usados conceitos que provêm da teoria dos grafos, como as arcos (vias) e nós (interseções entre vias). Assim, faz-se necessário conhecer, basicamente, alguns conceitos da Teoria dos Grafos.

3.1 Teoria dos Grafos

A teoria dos grafos estuda entidades, os grafos, que são um bom modelo para muitos problemas em vários ramos da matemática, da computação, da engenharia, da indústria e dos transportes (FEOFILLOF, 2009).

De acordo com Faria (2006), a teoria dos grafos não é uma teoria propriamente dita, mas uma coleção de problemas que são formulados sobre uma entidade conhecido como grafo. A preocupação central da teoria dos grafos é a busca por algoritmos eficientes que resolvam problemas sobre grafos.

3.1.1 Grafos

A primeira evidência do uso de grafos data de 1736, quando Euler utilizou-os para resolver o problema das 7 (sete) pontes de *Königsberg* que consistia em atravessar as pontes, que ligavam duas ilhas, passando apenas uma única vez por elas. Desde então, os grafos têm

sido utilizados em uma grande variedade de aplicações que vão desde circuitos elétricos até ciências sociais (NONATO, 2000).

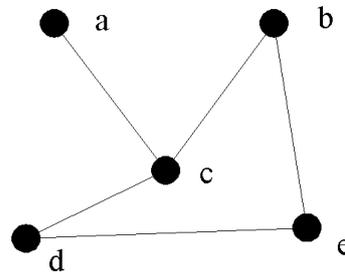


Figura 3.1 – Grafo básico.

Matematicamente, um grafo G consiste de 2 (dois) conjuntos V e E onde V é um conjunto finito e não vazio de nós e E é um conjunto de pares não ordenados de nós chamados arcos. $V(G)$ e $E(G)$ representam os conjuntos de nós e arcos do grafo G , também denotado por $G = (V, E)$. Conforme apresentado na Figura 3.1, o grafo correspondente seria descrito da seguinte forma:

- $V = \{a, b, c, d, e\}$
- $E = \{(a, c), (c, d), (c, b), (b, e), (e, d)\}$

3.1.2 Dígrafos

Um grafo $G = (V, E)$ é dito direcionado ou dirigido (dígrafo) se ele é constituído de um conjunto finito não vazio V (nós) e um conjunto E (arcos orientados) de pares ordenados de nós, Figura 3.2. Portanto, em um dígrafo, cada arco (v, w) possui um único sentido de v para w (NONATO, 2000).

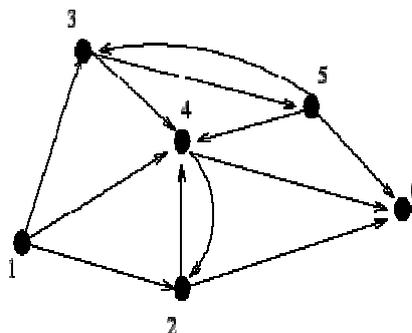


Figura 3.2 – Dígrafo.

3.1.3 Grafo Regular

Um grafo pode ser definido como sendo regular quando todos os seus nós tem o mesmo grau. O grau de um grafo é dado pelo número de arcos que lhe são incidentes. A Figura 3.3 trata de um grafo regular de grau 3 (três).

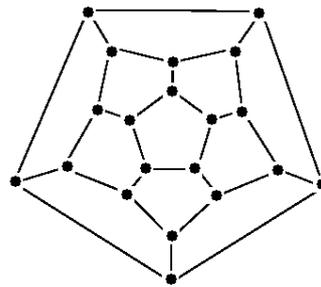


Figura 3.3 – Grafo regular de grau 3.

3.1.4 Grafo Completo

Um grafo é designado completo quando todos os seus nós são adjacentes a todos os outros nós, ou seja, cada um dos nós do grafo é ligado a todos os outros nós. Geralmente, o grafo completo tem a nomenclatura designada por K_n , onde n é número de nós. Na Figura 3.4, são vistos 2 (dois) grafos completos com seus respectivos K_n .

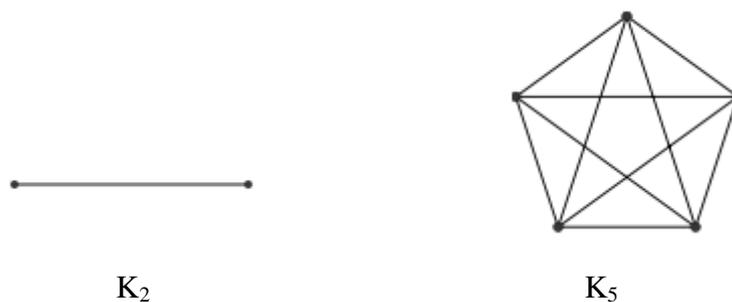


Figura 3.4 – Grafos completos.

3.1.5 Grafo Valorado

Esse tipo de grafo é definido como sendo um grafo que possui funções relacionando V e/ou E com um conjunto de números. O significado das funções depende do problema. Na maioria das aplicações de grafos em problemas de engenharia, é necessária a consideração

de grandezas tais como distâncias, altitudes, capacidades, fluxos, etc., associadas a localidades, estradas, entre outras que definem os nós e os arcos (ou arestas) do grafo.

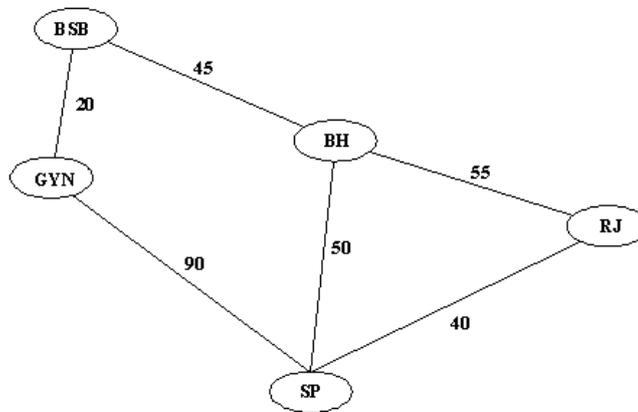


Figura 3.5 – Grafo Valorado.

Representando um grafo valorado, há um conjunto de cidades (nós) com suas pontes aéreas (arcos) e seus respectivos valores de tempo de vôo, conforme Figura 3.5.

3.1.6 Cadeia

Mariani (2009) define cadeia como sendo uma seqüência qualquer de arcos adjacentes que ligam 2 (dois) nós, conforme Figura 3.6. O autor salienta que o conceito de cadeia vale também para grafos orientados, bastando que se ignore o sentido da orientação dos arcos.

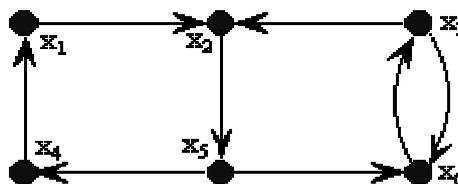


Figura 3.6 – Representação da Cadeia.

Mariani (2009) destaca ainda três pontos relevantes em relação à cadeia:

- Uma cadeia é dita ser elementar se não passa duas vezes pelo mesmo nó;
- É dita ser simples se não passa duas vezes pela mesmo arco;
- O comprimento de uma cadeia é o número de arcos que a compõe.

3.1.7 Caminho, Ciclo e Circuito

Na teoria dos grafos entende-se por caminho uma sequência orientada de arcos e nós, onde para cada nó há uma aresta para o próximo nó da sequência. Esse conceito aplica-se somente para grafos orientados. Para o grafo representado na Figura 3.7, as sequências de nós (a,b,c,e,d) ou (e,d,b,c,a) são exemplos de caminho.

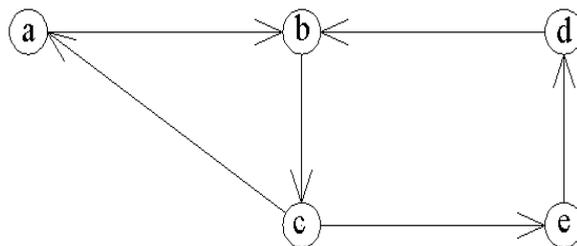


Figura 3.7 – Representação do Caminho.

O ciclo é um caminho que começa e acaba com o mesmo nó. No ciclo, a orientação não configura uma característica essencial. No caso da Figura 3.7, a sequência (a,b,d,e,c,a) é um ciclo.

O circuito é também um caminho simples e fechado, mas obedecendo a uma orientação. Para o caso do grafo da Figura 3.7, a sequência (b,c,e,d,b) é um circuito.

3.2 Problema do Caixeiro Viajante – PCV

O problema do caixeiro viajante trata-se de um problema na teoria dos grafos. Segundo Gross e Yellen (1999), o problema do caixeiro viajante tem estimulado consideráveis pesquisas no campo da otimização combinatória. Um dos primeiros trabalhos que abordava a sistemática do problema do caixeiro viajante data do ano de 1759, quando Euler publicou uma solução para o Problema do *Tour* do Cavalo.

A mais significativa contribuição para o problema do caixeiro viajante é de W. R. Hamilton, que no ano de 1856, inventou um jogo que consistia basicamente em realizar um roteiro passando pelas arestas de um dodecaedro, visitando uma única vez cada vértice. Pedras demarcavam os vértices e arestas visitados, conforme Figura 3.8.

A idéia básica do problema para a área de transportes é fazer com o que o caixeiro viajante visite N cidades (nós) através de rotas (arcos) interligadas, mas com a condição primordial de que visite cada uma das cidades apenas uma vez, ou seja, o problema consiste basicamente em achar um grafo $G = (V,A)$ qualquer com o menor fator de impedância possível.

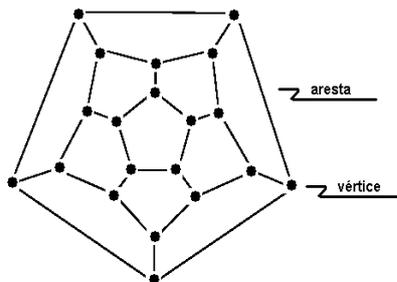


Figura 3.8 – Mapa Icosiano - Projeção das arestas de um dodecaedro em um plano.

Boaventura Netto (1979) menciona que esse fator de impedância pode ser expresso em termos de custo, tempo, distância ou outros parâmetros. O autor anota ainda que as opções existentes para as diferentes etapas da viagem correspondem aos arcos de um grafo valorado, portanto, trata-se de achar um circuito hamiltoniano de custo mínimo nesse grafo. Porém, se o grafo for muito grande não será possível enumerar os circuitos hamiltonianos, o que é muito comum na prática.

De acordo com Reinelt (1994), o estudo do PCV tem atraído pesquisadores de diferentes campos, tais como pesquisa operacional, matemática, física, biologia, inteligência artificial, entre outros. Tal fato deve-se, apesar da simplicidade da sua formulação, à possibilidade de encontrar no PCV a maioria das questões que envolvem otimização combinatória.

Cunha *et al.* (2002) destacam que inúmeros problemas reais são modelados como problemas do tipo caixeiro viajante ou suas variantes. Entre esses problemas, pode-se citar o problema de produção que corresponde ao seqüenciamento de n tarefas em uma única máquina, de forma a minimizar o tempo total de execução das mesmas. Em linhas de montagem de componentes eletrônicos busca-se encontrar, por exemplo, o roteiro de mínima distância para um equipamento cuja tarefa é soldar todos os componentes de uma placa eletrônica.

Outros problemas práticos podem ser destacados tais como:

- Otimização de perfurações de furos em placas de circuitos impressos;
- Trabalhos administrativos;
- Solução de problemas de programação e distribuição de tarefas em plantas;
- Solução de problemas de seqüenciamento;
- Programação de transporte entre células de manufatura.

Problemas de roteirização de veículos são muitas vezes definidos como problemas de um ou mais caixeiros viajantes que incluem geralmente restrições adicionais de capacidade, tempo e distância (CUNHA, 2000).

Goldberg e Luna (2000) relatam que a importância do PCV é devida a, pelo menos, 3 (três) de suas características, que são:

- Grande aplicabilidade prática;
- Enorme relação com outros modelos;
- Grande dificuldade de solução exata.

Dessa forma, a importância do problema é indiscutível, tanto sob o aspecto prático, como o teórico. Garey e Johnson (1979) considera-o intratável; Karp (1975) classifica-o como NP-Difícil (do inglês *NP-Hard*). Assim pode-se dizer que o esforço computacional para a resolução do problema cresce exponencialmente com o seu tamanho, dado pelo número de nós a serem atendidos (ESTEVAM, 2003).

Sendo o PCV um NP-Difícil, assim definido por Karp (1975), e tendo em vista a grande importância desse tipo de problema para a solução de problemas de roteirização de veículos e também para a obtenção de bons resultados, a necessidade de usar métodos aproximados, ou seja, métodos heurísticos tornam-se indispensável.

De acordo com Cunha (1997), os métodos heurísticos compõem o principal foco de interesse para a resolução do PCV. Heurísticas são procedimentos de solução que muitas vezes apóiam-se em uma abordagem intuitiva, na qual a estrutura particular do problema possa ser considerada e explorada de forma inteligente, para a obtenção de uma solução adequada.

Assim, na maioria dos casos, as heurísticas propostas tendem a ser bastante específicas e particulares para um determinado problema, carecendo de robustez, isto é, não conseguem produzir boas soluções para problemas com características, condicionantes ou restrições pouco diferentes daquelas para as quais foram desenvolvidas (CUNHA *et al.*, 2002).

3.2.1 Problemas Correlatos do PCV

Em sua obra, Goldbarg e Luna (2000) fazem uma abordagem de problemas derivados do problema clássico do caixeiro viajante, apresentando 10 (dez) variações:

- PCV Simétrico;
- PCV Generalizado;
- PCV com *Backhauls*;
- PCV com Janela de Tempo;
- PCV Múltiplo;
- PCV com Gargalo ou MinMax;
- PCV com Bônus;
- PCV Seletivo;
- PCV Estocástico;
- PCV Min Max-Min Sum.

Essas variações são descritas basicamente a seguir.

3.2.2 PCV Simétrico (PCVS)

Segundo Parra (2007), o PCV é chamado simétrico quando a distância (d) entre 2 (dois) nós (ou cidades) quaisquer i e j independe do sentido, isto é, quando $d_{ij} = d_{ji}$; caso contrário, o problema é denominado assimétrico. Problemas simétricos são, geralmente, mais difíceis de serem resolvidos que os problemas assimétricos.

Esse caso particular do PCV é de extrema importância, pois representa muitas das situações reais de roteirização. Um caso especial desse tipo de derivação é o existente em um conjunto de nós que possuem restrições que os obrigam a estar em uma determinada seqüência de atendimento (GOLDBARG e LUNA, 2000).

3.2.3 PCV Generalizado (PCVG)

GoldBarg e Luna (2000) afirmam que esse tipo de problema está sujeito ao agrupamento de nós, mas, nesse caso, para forçar uma generalização no ciclo hamiltoniano. Basicamente, cada agrupamento formado deve contribuir com certo número de nós para o ciclo hamiltoniano do caixeiro. Assim, quando todos os nós dos agrupamentos são visitados o problema recai no PCV clássico. Esse tipo de problema é muito utilizado na área de entrega de correspondência administrativa e bancária.

3.2.4 PCV com *Backhauls* (PCVB)

Pode ser considerado uma particularidade do PCV Generalizado, onde os nós, de todo o ciclo hamiltoniano, são divididos em dois grupos denominados normalmente de L (nós *linehauls*) e B (nós *backhauls*). Uma versão desse problema determina que os nós de L sejam visitados primeiramente e, posteriormente, os nós de B. O objetivo dessa seqüência é dar preferência ao descarregamento dos veículos para, logo em seguida, ser realizado o carregamento em direção ao ponto inicial (GOLDBARG e LUNA, 2000).

3.2.5 PCV com Janela de Tempo (PCVJT)

Nesse tipo de problema, para cada nó i de uma rede $G = (V, E)$ é estipulado uma janela de tempo que deve ser atendido. Assim, para um cliente A é denominado uma janela de tempo $[a_i, b_i]$, onde a_i corresponde à hora inicial de atendimento e b_i à hora final de atendimento. Dessa maneira, um veículo k não pode nem chegar antes de a_i e nem depois de b_i , o veículo tem que atender ao cliente A no intervalo compreendido entre a_i e b_i . Caso aconteça de o veículo k chegar antes de a_i , o mesmo terá que aguardar um tempo c_i até a_i , e caso o veículo k chegue depois de b_i a rota torna-se inviável, pois o cliente A deixou de ser atendido. Para este tipo de problema, o principal objetivo a ser alcançado é a redução do custo de operação do veículo na rota, ou minimizando o tempo total percorrido ou minimizando a distância total percorrida.

3.2.6 PCV Múltiplo (PCVM)

Para esse tipo de PCV não se utiliza apenas um caixeiro viajante, mas vários. Todos os n caixeiros começam e terminam em um mesmo depósito e cada caixeiro traça uma rota em particular, sendo que cada um visita um grupo de clientes diferente do outro. Logo nunca um caixeiro X visita um cliente do caixeiro Y . O objetivo é traçar n rotas, de maneira que o somatório dos custos das n rotas seja o mínimo possível.

3.2.7 PCV com Gargalo ou MinMax (PCV MinMax)

O objetivo do problema é obter um ciclo hamiltoniano tal que seu arco de maior comprimento seja mínima. Apesar de tratar-se de um problema NP-Difícil (necessidade de usar heurística para solução satisfatória), ele pode admitir solução polinomial em diversas situações (GOLDBARG e LUNA, 2000).

3.2.8 PCV com Bônus (PCV-B)

Para esse problema, é associado um bônus (b_i) a cada nó (x_i) de um grafo. O objetivo desse tipo de problema consiste em determinar um roteiro hamiltoniano de comprimento mínimo de um arco x_i a um subconjunto do grafo, tal que o retorno total obtido em bonificação nos nós seja pelo menos igual a certo valor (p) estipulado (GOLDBARG e LUNA, 2000).

3.2.9 PCV Seletivo (PCV-S)

Essa é outra variação interessante que considera serem fornecidos grupos e em cada grupo o caixeiro deverá fazer uma viagem completa, seguindo apenas para um novo grupo de cidades após ter completado o percurso interno em determinada cidade. O percurso deverá ser realizado com o mínimo custo, assim como nos demais anteriores (PALHANO, 2004).

3.2.10 PCV Estocástico (PCVE)

O PCV clássico considera que o ciclo hamiltoniano desejado dar-se-á em um grafo em que os elementos constitutivos são determinísticos, ou seja, pré-estabelecidos. No modelo estocástico, as janelas de tempo, os nós, os tempos e os custos dos arcos são elementos aos

quais se podem associar distribuições de probabilidades que definirão a existência ou valor (GOLDBARG e LUNA, 2000).

Na literatura, foram relatados casos com clientes estocásticos (PCVCE), nos quais determinados nós podem não demandar uma visita, havendo uma rota ótima incluindo todos os nós e outra excluindo os nós não demandantes. Outro caso do PCV estocástico considera que o tempo de viagem não é determinístico (PCV-TE), onde os custos que representam os tempos nos arcos são variáveis aleatórias (ARAUJO, 2008).

3.2.11 PCV Min Max-Min Sum (PCV-M³S)

Segundo Araújo (2008) trata-se de uma composição do problema clássico com o de gargalo, onde a função objetivo a ser minimizada é a soma algébrica das funções objetivo.

Esse problema foi reportado pela primeira vez como um problema distinto no trabalho de Minoux (1986), aparecendo como um subproblema de decomposição da matriz relacionada à alocação de tráfego de comunicação em satélites. Posteriormente, o problema foi associado, dentre outros, aos problemas de coloração de arcos em grafos valorados e particionamento de nós e arcos (GOLDBARG e LUNA, 2000).

De todas as 10 (dez) variações descritas, duas delas servirão de base para o estudo de roteirização de veículos:

- PCV com Janela de Tempo;
- PCV Múltiplo.

Essas duas variações são as que mais se aproximam ao problema proposto nesse estudo.

3.3 Problema de Roteirização de Veículos - PRV

Antes de ser dar início ao estudo dos problemas de roteirização de veículos faz-se necessário conceituar, basicamente, o termo roteirização, que pode ser definido como o processo de determinação de um ou mais roteiros ou seqüências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de nós geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento.

De acordo com Christofides *et al.* (1979), o problema de roteirização de veículos é um nome genérico dado à classe de problemas envolvendo a visita de clientes por veículos. Esse problema é conhecido também como programação de veículos, despacho de veículos ou simplesmente como problema de entrega, onde aparecem freqüentemente em situações práticas relacionadas com a distribuição de jornal, distribuição de bebidas, distribuição de produtos manufaturados, recolhimento de lixo, sistemas de transportes coletivos urbanos, colheita de cana de açúcar, entre outros.

O problema de roteirização de veículos tem como principal objetivo a visita de N clientes, distribuídos e alocados numa rede viária por um número k de veículos ao menor custo possível e atendendo as imposições dos problemas tais como capacidade do veículo, horário de atendimento ao cliente e distância a se percorrer entre outras.

Tendo uma vasta aplicação, o PRV, como já descrito anteriormente, possui um número grande de situações práticas. Assim, cada situação apresenta um aspecto diferente em si, relacionado ao tipo de operação, ao tipo de carga, ao tipo de frota, ao tipo de restrições, ao objetivo do problema e a outros fatores.

Um problema real de roteirização é definido por 3 (três) dimensões fundamentais: decisões, objetivos e restrições. As decisões dizem respeito à alocação de um grupo de clientes, que devem ser visitados, ao conjunto de veículos e seus respectivos motoristas, envolvendo também a programação e o seqüenciamento das visitas. Como objetivos principais, o processo de roteirização visa propiciar um serviço de alto nível aos clientes, mas, ao mesmo tempo, manter os custos operacionais e de capital tão baixo quanto possível. Devem ser obedecidas certas restrições, tais como: horário para entrega e/ou coleta de mercadorias, capacidade dos veículos de entrega, entre tantas outras (GUIMARÃES E PACHECO, 2005).

Belfiore (2006) apresenta em seu estudo mais uma categoria, totalizando 4 (quatro) dimensões: função objetivo, restrições, variáveis de decisão e hipóteses/recursos e/ou características do problema.

A Função Objetivo aborda a meta que se pretende alcançar com o problema de roteirização de veículos. Dentre os principais objetivos pode-se citar:

- Minimizar os custos totais de distribuição (custos fixos e variáveis);
- Minimizar a distância total percorrida;
- Minimizar o número de veículos e maximizar a função utilidade baseada no nível de serviço e/ou prioridades dos clientes.

O parâmetro Restrições tem como principais pontos:

- Restrições dos veículos (limite de capacidade dos veículos, número e tipo de veículos disponíveis, limite com relação ao tipo de carga dos veículos);
- Restrições com os clientes (atendimento total ou parcial das demandas, tempo máximo para carga e descarga, prioridade no atendimento de clientes);
- Restrições das rotas (tempo máximo de viagem de um veículo, distância total percorrida, locais de parada fixa).

Quanto ao terceiro parâmetro citado por Belfiore (2006), podem ser destacadas como variáveis de decisão:

- Roteiro a ser percorrido por cada veículo;
- Escolha de um tipo de veículo para um determinado tipo de cliente;
- Quantidade de carga transportada para cada cliente da rota.

O quarto e último parâmetro descrito por Belfiore (2006) abrange as principais hipóteses/recursos e características do problema, dentre os quais cabem destacar:

- Tipo de operação (coleta, entrega, coleta e entrega simultaneamente);
- Tipo de carga (única ou carga de lotação, múltiplas cargas ou carga fracionada);
- Tipo de demanda (determinística ou estocástica);
- Localização da demanda (localizada em arcos, em nós ou em arcos e nós);
- Tamanho (limitado ou ilimitado) e tipo (homogênea ou heterogênea) da frota;
- Estrutura da rede (direcionada, não direcionada, mista, euclidiana).

3.3.1 Classificação dos problemas de roteirização de veículos

Muitos são os parâmetros que influenciam na modelagem e solução de um problema de roteirização de veículos, conforme visto no item 3. Uma classificação adequada e uma visão sistêmica dos principais problemas identificando os aspectos mais importantes permitem concretizar uma solução ótima para tais problemas de roteirização.

Diversos autores apresentam classificações dos problemas de roteirização de veículos, cabendo destacar, segundo Belfiore (2006): Bodin *et al.* (1983), Assad (1988), Ronen (1988) e Desrochers *et al.* (1990).

3.3.2 Classificação segundo Bodin *et al.* (1983)

Bodin *et al.* (1983) partem da idéia de restringir os problemas em função de observações espaciais e/ou temporais. Para isto, eles criam uma classificação baseada em 3 (três) grupos: problemas de roteirização pura, problemas de programação de veículos e problemas combinados de roteirização e programação.

No primeiro grupo, que é o de roteirização pura, inexistem restrições temporais relacionadas com o horário de atendimento dos clientes, bem como relações de precedência entre eles, ou seja, não é necessário um cliente X ser atendido primeiro que um cliente Y. Para esse problema são considerados apenas aspectos espaciais, com o objetivo de construir um conjunto de roteiros viáveis minimizando os custos.

No segundo grupo, programação de veículos, as restrições temporais ganham importância, pois preestabelece-se um horário para cada atividade a ser executada, como horário de saída e chegada do veículo junto ao depósito, horário para reabastecimento, horário para descarga nos clientes e vários outros. Para esse problema, ambos os aspectos espaciais e temporais são considerados.

No último e terceiro grupo, combinação de roteirização e programação de veículos, há restrições de janela de tempo e/ou de precedência entre tarefas. Para Bodin *et al.* (1983), esse tipo de problema é o que predomina na prática.

3.3.3 Classificação segundo Ronen (1988)

O autor apresenta uma classificação baseada em 3 (três) classes, diferentes entre si quanto ao ambiente operacional e ao objetivo. As classes são: problemas relacionados ao transporte de passageiro, problema de prestação de serviço e problema de roteirização e programação ou transporte de carga. Cada uma das 3 (três) classes pode ter uma gama de considerações.

A primeira classe tratada por Ronen (1988) caracteriza em sua maioria problemas relacionados aos sistemas de transporte de ônibus, táxi, transporte escolar de ônibus e transporte de pessoas.

A segunda classe, problema de prestação de serviços, discorre sobre a programação e roteirização de serviços prestados a comunidade como: coleta de lixo, entrega de correspondências, varrição de ruas, entre outros.

Na última classe, Ronen (1988) estabelece 12 (doze) critérios de classificação para o problema de transporte de carga:

- Tamanho da frota;
- Composição da frota;
- Estrutura de custos da frota;
- Componentes de custo;
- Número de bases de origem e destino dos veículos;
- Natureza da demanda;
- Tipo de operação;
- Número de viagens por veículo num determinado período;
- Duração ou tempo máximo permitido de viagem;
- Tipo de entrega;
- Distâncias e tempos de viagens;
- Função objetivo do modelo.

3.3.4 Classificação segundo Assad (1988)

Nessa classificação cada problema a ser resolvido, deve ser tratado de forma particular. Assad (1988) alega que é difícil estabelecer uma classificação apropriada quando se deve considerar ou não restrições e algum método de solução para o problema.

O autor também considera outro tipo de classificação baseada no tempo em que as informações de demanda são conhecidas, fundamentando em quando as demandas são conhecidas antecipadamente, muito comum nos problemas clássicos de roteirização, e em quando as demandas são conhecidas *a posteriori*. Nesse segundo caso, os roteiros são elaborados em tempo real, ou seja, são problemas de roteirização dinâmicos.

Assad (1988) estipula ainda um conjunto de elementos que caracterizam os problemas de roteirização. São alguns deles:

- **Natureza da demanda:** coleta, entrega, coleta e entrega, apenas uma mercadoria, múltiplas mercadorias, prioridade no atendimento aos clientes;
- **Frota de veículos:** homogênea, heterogênea, restrição de capacidade, frota fixa ou variável, frota só para um único depósito, frota para diversos depósitos;
- **Requisitos de pessoal:** duração da jornada de trabalho, hora extra, número certo ou não de motoristas, horário do início da jornada de trabalho, horário de almoço, horário para outro tipo de parada;
- **Requisitos de disponibilidade:** tempo de viagem, localização do veículo, disponibilidade geográfica.

3.3.5 Classificação segundo Desrochers *et al.* (1990)

Os autores propuseram no estudo um plano não somente de classificação dos problemas de roteirização, como também promoveram um desenvolvimento de modelos para sistemas dessa área. A idéia consistiu em desenvolver um conjunto de instruções que permitisse uma representação teórica dos problemas, fazendo, assim, com que se tornasse possível a escolha de um algoritmo apropriado.

Desrochers *et al.* (1990) promoveram uma classificação com 4 (quatro) elementos principais: endereço, veículo, características dos problemas e objetivos.

O elemento Endereço define as características pertinentes a um único endereço. Faz-se necessário que os endereços estejam localizados em uma rede $G = (V, E)$, onde V é o conjunto de nós e E o conjunto de arcos.

O segundo elemento, Veículos, caracteriza os aspectos do veículo em seu roteiro. Os autores definiram 5 (cinco) sub-elementos: número de veículos, restrição de capacidade, restrição de mercadoria, restrição de disponibilidade do veículo e restrição de tempo de duração da rota.

O elemento Características do Problema aborda o tipo de rede a ser utilizada (direcionada, não direcionada ou mista), estratégia do serviço (coleta, entrega, entrega direta ou fracionada) e restrições nas relações entre os endereços e os veículos (precedência de atendimento a um cliente A sobre o cliente B em consequência da localização dos mesmos, restrição de descarga de um veículo imposta pelo cliente ou imposta sobre o cliente).

Por fim, o último elemento classificado por Desrochers *et al.* (1990) é a Função Objetivo. Esse elemento estabelece qual a meta que se pretende alcançar com a solução do problema de roteirização: redução de custos, redução na distância total percorrida, redução do tempo total de viagem, entre outros.

Esse estudo apresentado por Desrochers *et al.* (1990) é mais detalhado do que os apresentados anteriormente. Com esse trabalho são permitidas aplicações em diversos tipos de problemas de roteirização.

O capítulo seguinte versa sobre o *software* TransCAD, ferramenta utilizada no estudo, e a descrição do seu módulo de roteirização de veículos e suas particularidades.

Capítulo 4

TransCAD

O TransCAD é um *software* de planejamento de transportes com plataforma de Sistema de Informações Geográficas (SIG), ou mais especificamente uma plataforma SIG-T (Sistema de Informação Geográfica para Transportes), desenvolvido especificamente para utilização por profissionais de transporte para armazenar, visualizar, manipular e analisar dados relativos ao transporte.

Segundo Neto e Lima (2005), os chamados SIG-T incorporam funções básicas de um SIG, tais como rotinas específicas para soluções de problemas de logística, de pesquisa operacional e transportes em geral. Tais rotinas resolvem problemas de roteirização de veículos, programação de veículos e na elaboração de rotas tanto na forma de relatórios quanto na forma gráfica.

Desenvolvido pela *Caliper Corporation*, o TransCAD trabalha com métodos que se baseiam na heurística desenvolvidos por Clarke e Wright (1964), para roteirização de nós, caso do estudo em questão, e na heurística do Problema do Carteiro Chinês Misto, sugerida por Edmonds e Johnson (1973) e melhorada por Frederickson (1979) em roteirização de arcos (MELO, 2000).

O método de Clarke e Wright (1964) é muito utilizado na resolução de problemas isolados, como também é usado por muitos *softwares*. Esse método tem como objetivo gerar roteiros que respeitem as restrições de tempo e de capacidade, mas visando, ao mesmo tempo, minimizar a distância total percorrida pela frota (NOVAES, 2007).

4.1 Método de Clarke e Wright (1964)

A heurística das economias de Clarke e Wright (1964) foi desenvolvida e aplicada para resolver o problema clássico de roteirização de veículos. Baseia-se no ganho de distâncias que pode ser obtido ao atender 2 (dois) nós de forma sucessiva num roteiro, ou seja, sem retornar ao ponto inicial, se comparados ao atendimento desses nós individualmente, conforme visto da Figura 4.1 (GRANEMANN *et al.*, 2007).

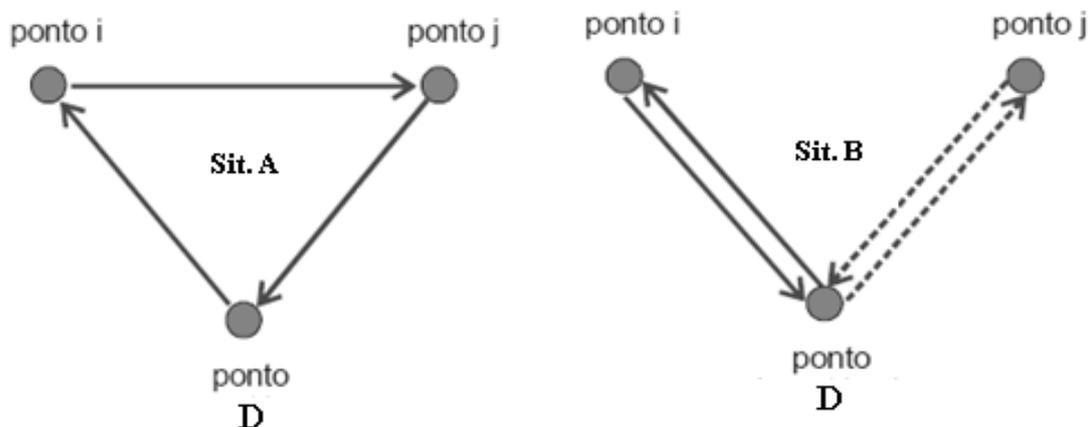


Figura 4.1 – Atendimento Sucessivo (Situação A); Atendimento Individual (Situação B).

Primeiramente, adota-se a pior solução possível para resolver o problema de roteirização. A pior solução considerada é onde cada ponto é atendido de forma individual por um veículo, com rotas independentes, conforme pode ser observado na Figura 4.1, Situação B. Assim, tem-se o percurso total para esse tipo de atendimento:

$$L = 2 \times d_{D,i} + 2 \times d_{D,j} \quad (1)$$

onde:

$d_{D,i}$ = distância entre o ponto D e o ponto i;

$d_{D,j}$ = distância entre o ponto D e o ponto j.

Porém, a solução ótima para o problema será aquela onde o veículo, ao sair para atender o ponto i, aproveita a mesma viagem e visita também o ponto j, conforme visto na Figura 4.1. Dessa forma, o percurso total é dado por:

$$L' = d_{D,i} + d_{i,j} + d_{D,j} \quad (2)$$

onde:

$d_{D,i}$ = distância entre o ponto D e o ponto i;

$d_{i,j}$ = distância entre o ponto i e o ponto j;

$d_{D,j}$ = distância entre o ponto D e o ponto j.

Assim, ao integrar os 2 (dois) nós em um único roteiro tem-se uma economia (E), ou ganho dado por:

$$E_{i,j} = L - L' = d_{D,i} + d_{D,j} - d_{i,j} \quad (3)$$

Nesse sentido, a heurística de Clarke e Wriqth (1964) preconiza a escolha de 2 (dois) nós, i e j, para constituir a seqüência de um roteiro, selecionando o par com maior economia (E), respeitando-se as restrições de tempo, capacidade, volume, etc.

Duas conclusões básicas a respeito desse método podem ser formuladas:

- A economia tende a crescer quando os nós i e/ou j afastam-se do ponto D;
- A economia tende a crescer quando os nós i e j estão mais próximos.

Novaes (2007) propõe um procedimento de 6 (seis) etapas que pode ser usado como guia para o entendimento e utilização desse método:

- **Etapa 1:** Combinam-se os nós dois a dois e calcula-se a economia para a combinação através da relação (3);
- **Etapa 2:** Ordenam-se todas as combinações i, j, de forma decrescente segundo os valores das economias $E_{i,j}$;
- **Etapa 3:** Começa-se com a combinação de 2 (dois) nós que apresentaram a maior economia e segue a ordem decrescente de economias;
- **Etapa 4:** Para um par de nós (i,j), da seqüência de combinações, verificar se os 2 (dois) nós já fazem parte de um roteiro iniciado:
 - Se i e j não foram incluídos em nenhum dos roteiros já iniciados, cria-se um novo roteiro com esses 2 (dois) nós;
 - Se o ponto i já pertence a um roteiro iniciado, verificar se ele é o primeiro ou o último (sem o ponto D). Se sim, acrescentar o par (i,j) na extremidade apropriada. Repetir para o ponto j. Se nenhum dos 2 (dois) nós atenderem à condição, ir ao item seguinte;

- Se ambos os nós *i* e *j* fazem parte, cada um deles, de roteiros iniciados, mas diferentes, verificar se ambos são extremos dos respectivos roteiros. Se sim, fundir os dois roteiros em um único, juntando-os de forma a unir *i* a *j*. Caso contrário, ir para Etapa 5;
- Se ambos os nós *i* e *j* pertencerem a um mesmo roteiro, ir para Etapa 5.
- **Etapa 5:** Cada vez que se acrescentar um ou mais nós em um roteiro, ou quando se fundir 2 (dois) roteiros em um único, verificar se a nova configuração satisfaz às restrições de tempo e de capacidade. Se atender aos limites das restrições, a nova configuração é aceita.
- **Etapa 6:** O processo termina quando todos os nós tiverem sido incluídos em um roteiro.

Novaes (2007) ainda faz outra observação sobre esse método ao informar que à medida que se constroem roteiros de forma inteligente, buscando reduzir ao máximo a distância percorrida, o número de veículos necessários para realizar o serviço tende também a ser minimizado, reduzindo, assim, os investimentos e o custo de operação.

4.2 Rede de Trabalho – *Network*

Para o uso do TransCAD, com o objetivo de se empregar a ferramenta de roteirização de veículos, faz-se necessário criar uma rede de trabalho, tratada pelo *software* como *Network*.

Por meio do TransCAD, é possível configurar a rede de trabalho (*network*) que, posteriormente, possibilitará a utilização de procedimento de roteirização de veículos de carga. Essa rede de trabalho é um dado estrutural do *software* que possibilita armazenar características do sistema de transporte e das instalações (supermercados e centros distribuidores).

A rede de trabalho configurada é representada abstratamente com base na teoria dos grafos, onde há a presença de nós (*endpoints*) demarcando os encontros de vias, o que permite a mudança de direção nesses nós, e arcos (*links*) orientados que seguem os sentidos das vias da rede viária, conforme Figura 4.2.

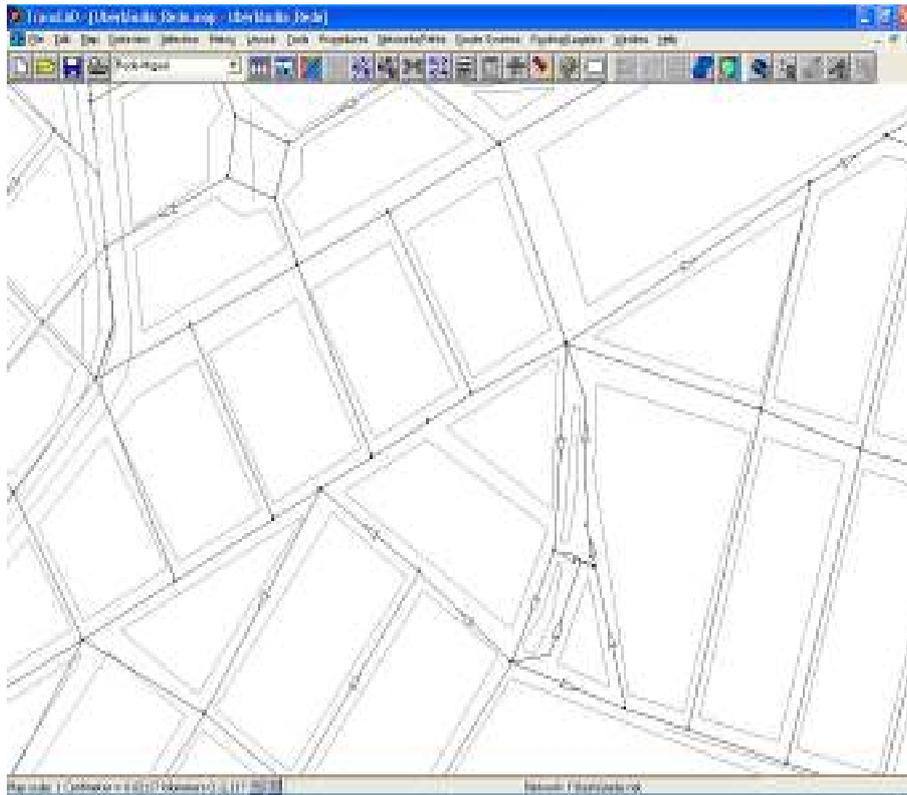


Figura 4.2 – Janela TransCAD - *Network* com as demarcações de nós e arcos.

De acordo com Carrara (2007), o *network* é usado para analisar o fluxo de pessoas e cargas de um lugar para outro. As informações contidas e derivadas do *network* são importantes para diferentes aplicações como: rotas e itinerários, modo de escolha de modelos, indicação de modelos de tráfego.

Estruturas de dados podem ser otimizadas para armazenar eficientemente e processar rapidamente algoritmos de maneira que se obtenham os caminhos mínimos para que sejam identificados o mínimo custo ou outros indicadores de desempenho. A seguir, apresentam-se algumas soluções que podem ser realizadas pelo TransCAD:

- Localização de clientes;
- Criação das matrizes de distância e tempo de viagem;
- Especificação da frota;
- Definição dos pedidos e horários de atendimento;
- Roteirização (menor caminho/menor custo).

4.3 Problema de Roteirização de Veículos com Janela de Tempo (PRVJT)

O termo roteirização, embora não encontrado nos dicionários de língua portuguesa, é a forma utilizada como equivalente ao inglês *routing* para designar o processo de determinação de um ou mais roteiros ou seqüências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de nós geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento (NETO e LIMA, 2005).

Para o problema de roteirização de veículos, o *software* TransCAD possui um módulo específico que resolve diversos tipos de problemas, atuando na fase preliminar de preparação dos dados, na resolução do problema de roteirização e programação de veículos e na elaboração das rotas, tanto na forma de relatórios quanto na forma gráfica (NETO E LIMA, 2005).

Basicamente, podem-se apontar quatro importantes passos no uso do módulo de roteirização de veículos do TransCAD:

- **Preparação da entrada de dados:** criar arquivos geográficos que mostrem as localizações de cada depósito e parada, junto com a informação sobre a demanda e outras características de cada um;
- **Criação da matriz de roteirização:** criar um arquivo matriz (*matrix file*) que contem a distância ou tempo de viagem entre cada parada;
- **Resolução do problema de roteirização de veículos:** desenvolver rotas eficientes de veículos;
- **Apresentação dos resultados:** exposição de relatórios de itinerários e relatórios resumidos e exposição de rotas de veículos com a qual pode-se criar um sistema de rotas onde é possível visualizar os resultados no mapa.

Pelizaro (2000) apresenta algumas características do módulo de roteirização do TransCAD:

- **Múltiplos depósitos:** é possível determinar antes da roteirização quais as paradas que serão atendidas por um determinado depósito; ou deixar que o próprio sistema encarregue-se de alocar as paradas ao depósito mais adequado;

- **Janela de tempo rígida:** é definida por todas as paradas em função de restrições de horários de atendimento. É atribuída também ao depósito, em função do seu horário de funcionamento, ou em função da jornada de trabalho do motorista;
- **Tempo fixo de serviço:** corresponde ao montante de tempo requerido em cada parada, independente da quantidade de produto (ou serviço) demandada. É considerado, por exemplo, como um tempo de espera em filas para descarregar o veículo, ou o tempo para colocar o veículo em uma doca de descarga e verificar a mercadoria;
- **Tempo por unidade:** tempo necessário para descarregar (ou carregar) cada unidade da mercadoria demandada;
- **Restrição de comprimento total da rota:** dada em função do tempo máximo permitido para realizar uma rota;
- **Frota heterogênea de veículos:** pode-se considerar veículos de diferentes capacidades.

O *software* TransCAD, para desenvolver roteirização de veículos, trabalha com o Problema de Roteirização de Veículos com Janela de Tempo (PRVJT). Segundo Oliveira *et al.* (2005) o PRVJT é uma extensão do clássico PRV. Sua denotação procede do inglês *Vehicle Routing Problem with Time Window* (Problema de Roteirização de Veículos com Janela de Tempo), cuja descrição de janela de tempo significa o tempo atribuído a prestação de serviço para cada cliente (ARAKAKI, 1998).

O PRVJT aborda a problemática do tempo de entrega para cada cliente, onde é estabelecido um horário para o recebimento da mercadoria para o mesmo. O veículo gasta um determinado tempo para atender cada cliente, e o tempo gasto nesse serviço tem um início e fim. Caso o veículo chegue antes do tempo determinado para iniciar o serviço no cliente, ele deve esperar até que o serviço inicie. Se acontecer o contrário, onde o tempo de término do serviço é ultrapassado, o veículo estará violando a restrição da janela de tempo (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

A Figura 4.3 mostra a janela para roteirização de veículos do TransCAD.

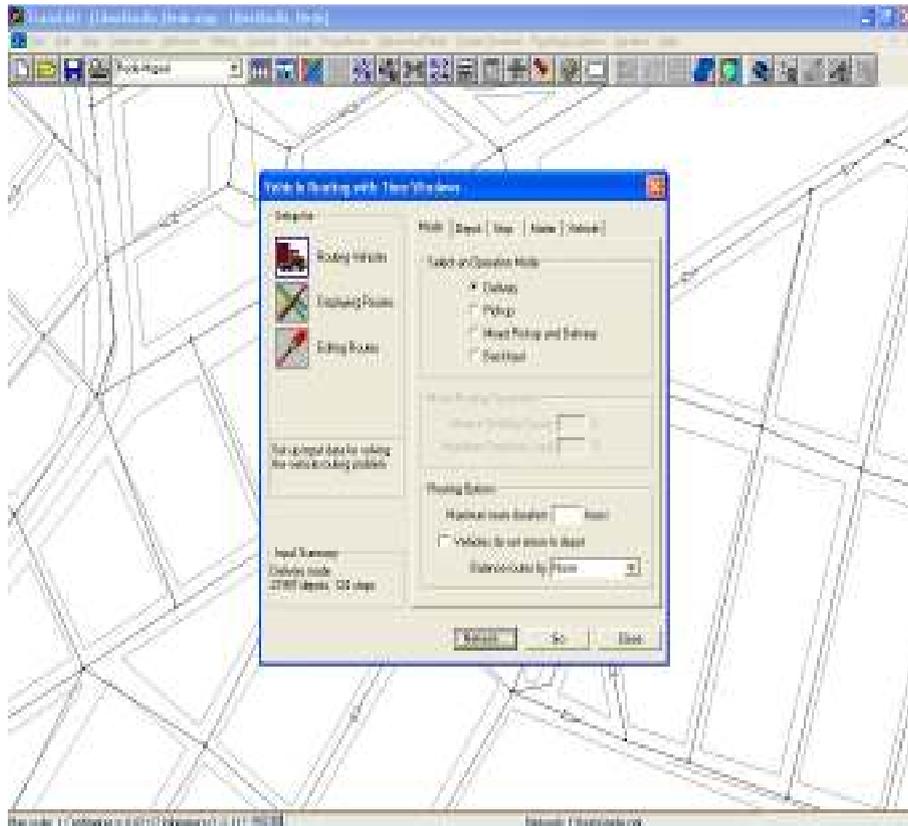


Figura 4.3 – Janela TransCAD - Roteirização de veículos com janela de tempo.

De acordo com Arakaki (1998), o problema de roteirização de veículos com janela de tempo (PRVJT) implica em satisfazer as necessidades dos clientes em termos de horário de entrega de mercadorias. A competição entre distribuidoras (entregadoras) concorre para atender melhor aos clientes, que determinam os horários a serem realizadas as entregas. A formulação do problema costuma estipular 2 (dois) horários:

- a_i (horário de início para atendimento ao cliente);
- b_i (horário de término do atendimento ao cliente).

Nessa janela de tempo estipulada, o cliente deve ser servido.

Assim, dada uma frota de n veículos, o objetivo do PRVJT é encontrar um conjunto de rotas de custo mínimo iniciando e terminando no depósito tal que (GENDREAU *et al.*, 1999):

- Cada veículo deve atender uma única rota;
- Cada cliente é visitado apenas uma única vez;

- Os veículos devem deixar o depósito em um horário superior ao de abertura do depósito;
- Os veículos devem estar no depósito antes do fechamento da janela de tempo do depósito;
- O início de atendimento em cada cliente tem que ser maior ou igual ao estipulado para ele;
- Se o tempo de chegada do veículo no cliente for menor que o de abertura do estabelecimento, o mesmo deverá aguardar, caracterizando um tempo de espera.

O procedimento *Routing with Time Windows* examina as restrições de valores de janela de tempo e os tempos de serviço nas paradas. As rotas geradas asseguram que as paradas sejam feitas somente durante a janela de tempo disponível. Os itinerários gerados incluem a viagem detalhada e a informação do tempo de parada.

A roteirização de veículos com janela de tempo do TransCAD trabalha com 4 (quatro) modos, conforme Figura 4.4. Esses modos são:

- ***Delivery*** (entrega): nesse caso é analisada somente a entrega de carga;
- ***Pickup*** (coleta): nesse caso é analisada apenas a coleta de carga;
- ***Mixed Pickup and Delivery*** (misto de coleta e entrega): analisa-se conjuntamente a coleta e entrega, não havendo a necessidade de haver as duas ações em todos os nós visitados;
- ***Backhaul*** (coleta de volta): analisa-se a coleta de volta.

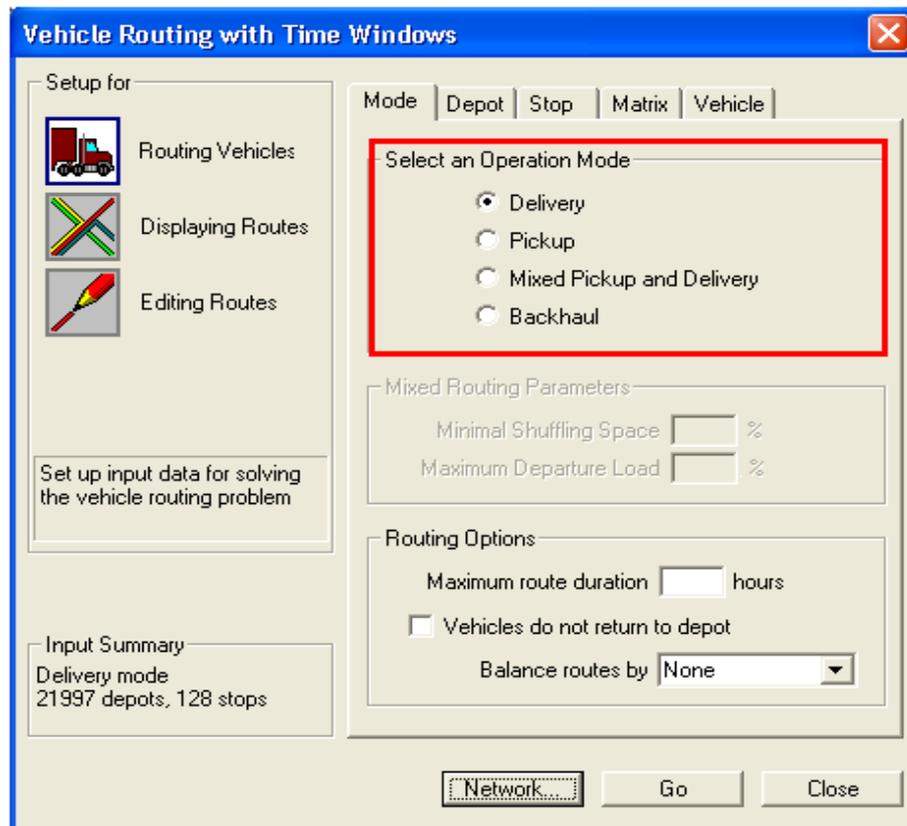


Figura 4.4 – Caixa TransCAD – Modo de operação para roteirização de veículo.

Segundo o Manual do TransCAD (Caliper, 2002), o procedimento de roteirização de veículo identifica rotas eficientes que servem a um conjunto de paradas de um conjunto de depósitos. O procedimento *Routing with Time Windows* resolve problemas complexos de roteirização com janela de tempo, frota heterogênea, *backhaul*, ou restrições de tamanho de rota. Ele pode manusear depósitos múltiplos, e permite que você escolha minimizar tempo ou distância ao usar uma matriz de roteirização correspondente.

4.3.1 Entrada de Dados

Antes de dar início a roteirização de veículos, é necessária a criação de arquivos geográficos ou, como são definidos no TransCAD, os *layers*.

Para o presente estudo, tanto a empresa Atacadista-Distribuidora como sua carteira de clientes de supermercados, serão definidas na rede de trabalho do TransCAD por *layers* de pontos. Para cada *layer* são gerados atributos característicos, conforme Figura 4.5, que serão usados no desenvolvimento do estudo de roteirização.

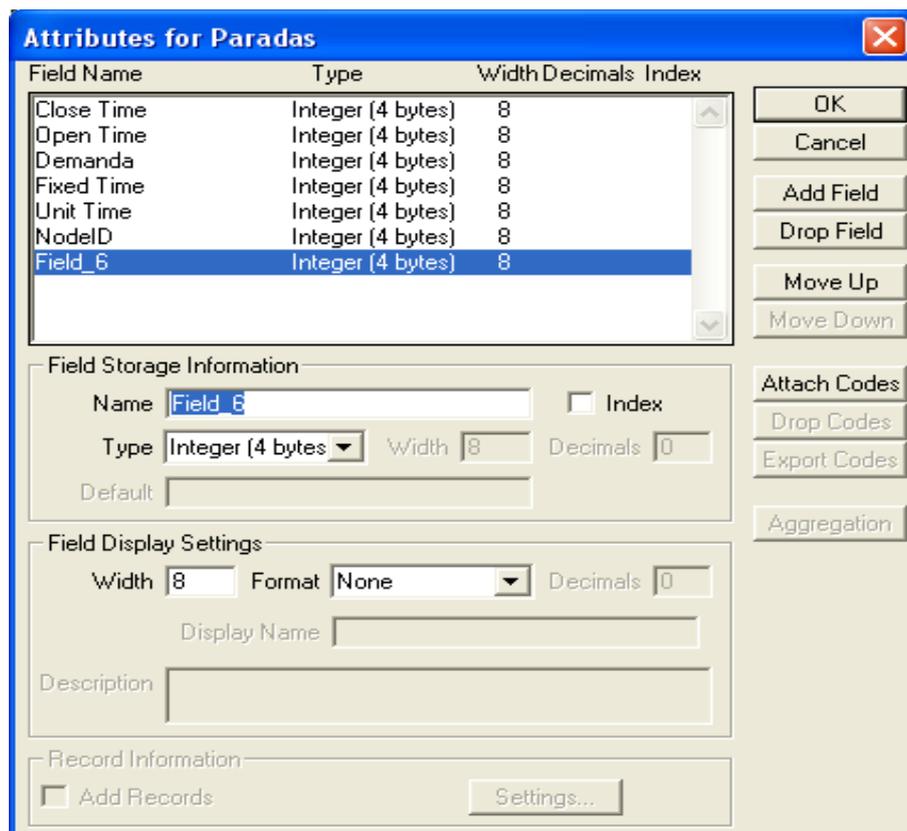


Figura 4.5 – Caixa TransCAD – Inserção de atributos para *layers*.

Para o *layer* de ponto representado pelo depósito distribuidor, serão configurados atributos característicos, obrigatórios para o problema de roteirização de veículos com janela de tempo:

- **ID:** número de identificação do depósito que relaciona dados do mapa (latitude e longitude) com o banco de dados;
- **Open Time:** hora de início do funcionamento do depósito;
- **Close Time:** hora de fechamento do funcionamento do depósito.

Um quarto campo deve ser adicionado se a matriz de roteirização a ser construída for baseada na rede de trabalho. A esse campo geralmente é dado o nome de *Node ID*. O *Node ID* é responsável por relacionar o *layer* de ponto do depósito com o nó (*endpoints*) mais próximo da rede de trabalho.

Para o *layer* de parada representado por supermercados, 4 (quatro) campos são considerados obrigatórios e mais 4 (quatro) também far-se-ão, caso a matriz de roteirização for baseada na rede de trabalho. Os obrigatórios, independentes da matriz:

- **ID:** número de identificação dos supermercados que relaciona dados do mapa (latitude e longitude) com o banco de dados;
- **Open Time:** hora de início do funcionamento do supermercado para entrega de mercadorias;
- **Close Time:** hora de término do funcionamento do supermercado para entrega de mercadorias;
- **Delivery Demand:** demanda por entrega.

Caso a matriz de roteirização tenha sido baseada na rede de trabalho, mais 4 (quatro) campos se tornam-se obrigatórios:

- **Node ID:** responsável por relacionar o *layer* de ponto dos supermercados com os nós (*endpoints*) mais próximos da rede de trabalho;
- **Fixed Time:** tempo fixo para realizar a operação de entrega das cargas nos supermercados. Para cada parada, pode ser atribuído um tempo fixo de entrega, o que é mais usual, ou todas as paradas podem assumir o mesmo valor de tempo;
- **Time per Unit:** tempo por unidade na operação de entrega das cargas nos supermercados. Para cada parada, pode ser atribuído um tempo por unidade de entrega ou todas as paradas podem assumir o mesmo valor de tempo por unidade;
- **Depot Assigned:** designação de depósitos às paradas.

4.3.2 Caracterização dos Veículos

Para o problema de roteirização de veículos, é necessário o estabelecimento das características dos veículos usados. Para isso, conta-se com o auxílio de uma Tabela, Figura 4.6 a seguir, onde são preenchidos alguns itens:

- **Depot ID:** número de identificação do depósito no qual o veículo estará vinculado;
- **Type:** número atribuído para cada tipo de caracterização de veículo;
- **Capacity:** capacidade máxima que o veículo suporta. Observa-se que a unidade para esse campo deve ser a mesma para as demandas dos nós de parada;
- **No. vehs:** número de veículos disponível no depósito;
- **Cost:** custo operacional do veículo.

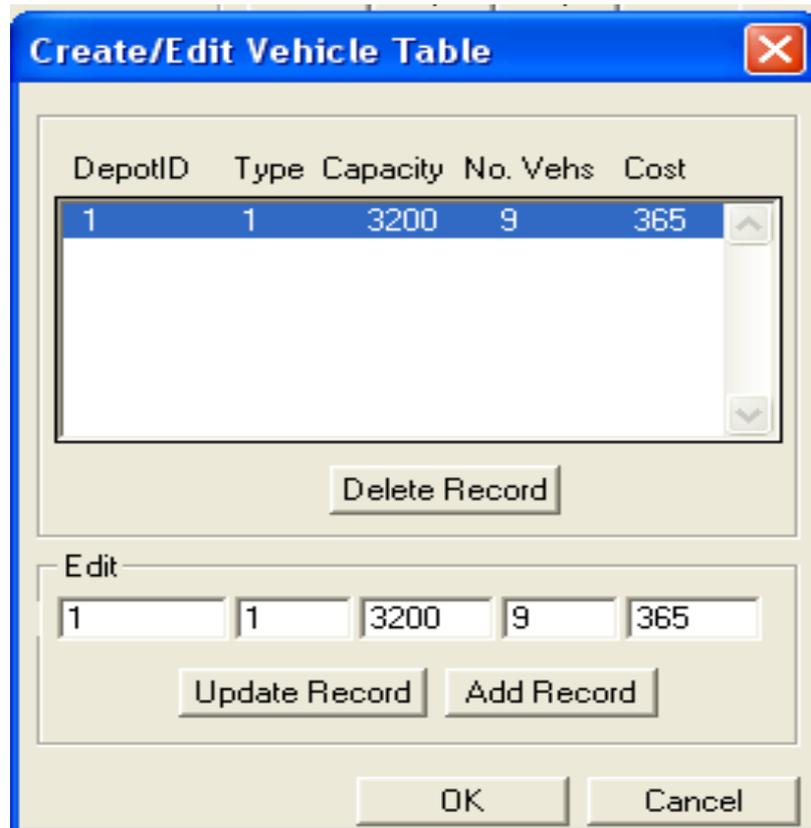


Figura 4.6 – Caixa de diálogo TransCAD - Tabela de veículos.

O custo operacional de transporte será abordado numa seção à parte. No anexo D encontra-se, também, cálculo do custo operacional de 3 (três) configurações de veículos utilizadas para o presente estudo.

4.3.4 Matriz de Roteirização

A matriz de roteirização é um arquivo de matriz (*matrix file*) que contem a distância ou o tempo de viagem entre cada depósito e parada e entre todo par de paradas. Esse arquivo é a entrada primária para o procedimento de roteirização de veículos e é criado através de uma caixa de diálogo do procedimento de roteirização de veículos, conforme Figura 4.7 abaixo.

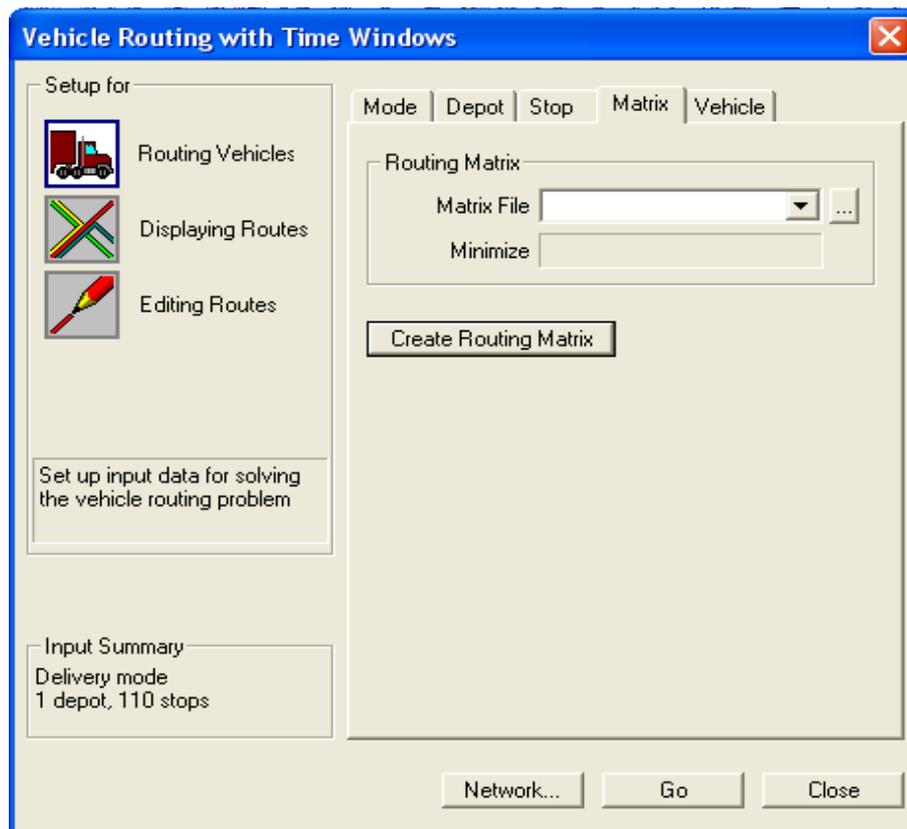


Figura 4.7 – Caixa TransCAD – Criação da Matriz de Roteirização.

A matriz de roteirização segundo o Manual do TransCAD (Caliper, 2002), pode ser usada repetidas vezes para resolver os problemas de roteirização de veículos como:

- Processamento de roteirização de veículos para criar rotas usando um subconjunto de paradas e depósitos que aparecem na matriz de roteirização;
- Variação da demanda, capacidades de veículos, janelas de tempo, ou outros parâmetros do problema de roteirização sem recriar a matriz de roteirização.

Na matriz de roteirização, escolhe-se o que se quer minimizar: distância ou tempo. Para isso, a matriz conta com 2 (dois) modos diferentes de calcular distância ou tempo. A primeira por meio da rede de trabalho e a segunda através de distâncias lineares entre nós. Segundo Carrara (2007), o modo usado para minimizar distância ou tempo por meio da rede de trabalho é mais preciso do que o das distâncias lineares entre nós, pois esse utiliza valores de tempo e distância estimados.

O modo rede de trabalho, além de ser mais exato, permite que você crie um sistema de rotas. Ao usar a rede de trabalho para criar uma matriz de roteirização, o *software* calcula o tempo e a distância entre cada par de paradas (supermercados), e entre cada depósito (atacadista) e parada (supermercado), calculando o menor caminho entre eles. Uma vez que depósitos e paradas não estão ligados diretamente na rede, a matriz de roteirização realiza o procedimento real, utilizando os valores de distância e tempo dos nós (*Node ID*) mais próximo de cada depósito e parada.

A matriz gerada será uma matriz cuja diagonal principal tem valor 0 (zero). Esse valor é devido à matriz relacionar e minimizar distância ou tempo, dependendo qual fator escolhido, de um mesmo ponto de parada, Figura 4.8. Ou seja, no procedimento de geração da matriz de roteirização, ao realizar a minimização de distância ou tempo de um ponto de parada em relação a ele mesmo, o menor valor encontrado será, logicamente, o valor 0 (zero).

	45948	46626	49366	52621	54538	57763	57851	62206	67366	68614	70517	73688	868
45948	0.00	8.92	0.57	2.30	2.27	3.92	3.57	4.47	6.19	5.94	9.43	9.74	4.1
46626	8.92	0.00	1.99	1.70	2.67	3.92	3.00	3.92	5.60	5.34	8.83	9.15	3.1
49366	0.57	1.99	0.00	2.76	3.73	4.38	4.03	4.94	6.66	6.40	9.89	10.21	4.1
52621	2.30	1.70	2.76	0.00	1.21	1.86	1.30	2.39	4.14	3.89	7.37	7.69	2.1
54538	2.27	2.67	3.73	1.21	0.00	1.13	0.70	1.63	3.96	3.70	7.19	7.51	1.1
57763	3.57	3.32	4.38	1.86	1.13	0.00	1.19	1.62	3.97	3.72	8.38	8.70	0.1
57851	3.57	3.00	4.03	1.30	0.70	1.19	0.00	1.10	4.74	4.48	7.94	7.76	1.1
62206	4.47	3.92	4.94	2.29	1.62	1.62	1.10	0.00	5.34	5.08	7.30	7.44	1.1
67366	6.19	5.60	6.66	4.14	2.96	2.87	4.74	5.34	0.00	0.68	4.05	5.16	4.1
68614	5.94	5.34	6.40	3.89	3.70	2.72	4.48	5.08	0.68	0.00	4.27	4.59	4.1
70517	9.43	8.83	9.71	7.19	7.01	6.20	7.36	7.36	4.67	4.09	0.00	0.32	5.1
73688	9.74	9.15	10.03	7.51	7.32	6.52	7.67	7.44	4.98	4.41	0.32	0.00	6.1
868	4.26	3.67	4.73	2.21	1.49	0.39	1.55	1.94	4.32	4.06	5.99	6.30	0.1
66192	4.18	3.59	4.64	2.12	1.94	1.25	2.40	2.80	4.07	3.50	5.28	5.60	0.1
86841	4.35	3.75	4.81	2.29	1.61	0.51	1.67	2.07	4.40	4.08	5.87	6.19	0.1
86523	7.87	6.48	7.54	5.02	4.84	4.03	4.86	4.54	3.18	2.61	3.29	3.41	3.1
92947	6.36	6.36	7.42	4.90	4.72	3.91	5.07	4.93	3.05	2.48	3.21	3.37	3.1
88204	7.52	6.32	7.38	5.46	4.64	4.20	4.42	4.10	3.62	3.05	3.55	3.61	3.1
88734	4.55	3.96	5.02	2.50	1.24	0.89	1.41	1.44	4.82	4.56	6.49	6.81	0.1
101957	4.81	4.21	5.27	2.51	1.55	1.47	1.32	0.54	5.23	4.97	7.03	7.09	1.1
107495	7.42	7.22	8.29	5.76	4.04	4.90	4.62	4.30	4.09	3.52	3.42	3.48	4.1
116680	9.73	9.13	10.20	7.68	7.30	6.89	7.16	6.85	5.44	4.87	1.20	1.00	6.1
122990	9.84	9.24	10.30	7.78	6.86	6.52	6.64	6.09	6.09	6.12	4.99	5.05	6.1
127433	11.70	11.10	12.16	9.64	9.19	8.65	8.97	8.42	7.40	6.83	4.50	4.56	8.1
150318	13.82	13.22	14.28	11.52	10.56	10.40	10.33	9.39	14.09	13.52	14.32	14.38	10.1
150968	14.69	14.09	15.16	12.39	11.43	11.27	11.20	10.26	14.97	14.39	15.19	15.25	11.1
152038	12.80	12.29	13.35	10.50	9.62	9.46	9.40	8.45	13.16	12.50	13.30	13.44	9.1
154288	13.42	12.82	13.89	11.12	10.16	10.00	9.93	8.99	13.70	13.12	13.92	13.98	9.1
156121	14.05	13.45	14.51	11.75	10.79	10.62	10.56	9.62	14.32	13.75	14.55	14.61	10.1
156632	13.81	13.21	13.47	10.71	9.74	9.58	9.52	8.57	13.28	12.71	13.24	13.30	9.1
160231	5.39	4.79	5.85	3.09	2.13	1.96	1.91	1.04	5.78	5.52	6.60	6.72	1.1
162823	5.39	5.33	6.39	3.63	2.67	2.50	2.44	1.92	6.08	5.51	6.39	6.44	2.1
166414	7.63	7.03	8.09	5.33	4.36	4.20	4.14	3.15	7.90	7.33	8.13	8.19	4.1
168217	7.36	6.76	7.82	5.06	4.10	3.94	3.87	2.93	7.83	7.08	7.86	7.92	3.1
172074	7.55	6.95	8.01	5.25	4.28	4.12	4.06	3.53	6.45	5.92	6.66	6.72	3.1

Figura 4.8 – Janela TransCAD - Matriz de Roteirização - Diagonal principal.

Os outros valores gerados são os mínimos que são identificados entre cada par de paradas. Esses valores serão utilizados para a geração das rotas dos veículos.

4.3.5 Arquivos de Saída

Os procedimentos de roteirização de veículos produzirão 2 (dois) arquivos de saída:

- Um arquivo de texto (ANEXO A) contendo o itinerário de cada veículo;
- Uma Tabela de rotas (ANEXO B) com a listagem das paradas em cada rota. Esse relatório é produzido somente se a matriz de roteirização foi baseada na rede de trabalho.

Um terceiro arquivo de saída, também, pode ser gerado: o relatório de resumo (ANEXO C), que contém uma lista de algumas discrepâncias nos dados de entrada. Esse relatório (TCW_REP.TXT) é produzido somente se, após a realização do procedimento de roteirização, a opção *Show Report* da caixa de diálogo *Results Summary* for acionada e, posteriormente, o arquivo em extensão .TXT for salvo.

4.3.6 Arquivo gráfico de Rota

Caso a matriz de roteirização tenha sido criada a partir da rede de trabalho, as rotas obtidas podem ser convertidas dentro de um sistema de rotas, conforme Figura 4.9.

Essa conversão possibilita exibir as rotas em um mapa, editá-las, ou fazer análise espacial.

Para criar um sistema de rotas, devem-se fornecer as seguintes informações:

- O nome da Tabela de rotas que foi obtida na roteirização dos veículos;
- A camada de linha, rede e configurações que foram usadas para criar a matriz de roteirização.

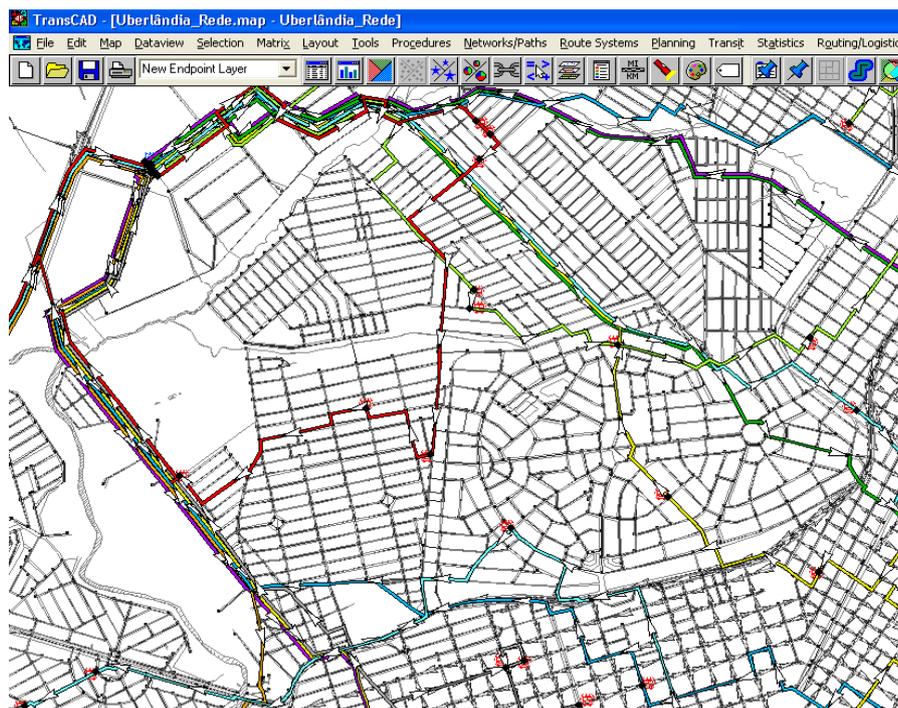


Figura 4.9 – Janela do TransCAD - Gráficos das Rotas geradas.

4.4 Custos de Transporte

Moura (2000) relata que metade dos custos envolvidos na distribuição de mercadorias destina-se ao transporte. Com a tendência de entregas de pequeno porte e de alta frequência, maior velocidade de transporte e exigências de entrega porta-a-porta, o custo do transporte torna-se extremamente elevado.

Custos ou despesas podem ser classificados em fixos e variáveis. De acordo com essa classificação, os custos e despesas são estudados em função das variações que podem ocorrer no volume de atividade, ou seja, na quantidade produzida pela empresa no período. Essa classificação visa primordialmente ao apoio de decisões empresariais, na medida em que se torna possível calcular o quanto custa determinada atividade, recurso ou operação (DUTRA, 2004).

Lebovits (19--), em seu manual faz uma classificação bem simples: considera custos variáveis os valores consumidos ou aplicados na produção e que tem seu crescimento dependente da quantidade produzida pela empresa. Esses custos aumentam ou diminuem conforme a produção aumenta ou diminui, respectivamente. São alguns itens que

pertencem aos custos variáveis: combustível, pneu, lubrificantes, manutenção preventiva, peças e acessórios, pedágio, despesas de viagens com motoristas entre outros.

Esse autor também elabora o seu conceito de custo fixo: são custos que permanecem inalterados mesmo que o volume de produção aumente ou diminua. Uma empresa qualquer enfrenta essas despesas mesmo quando os veículos não estão operando. São exemplos de custos fixos: aluguel, licenciamento, seguro obrigatório do veículo, depreciação do veículo, salários da administração, energia, telefone, água e outros mais.

Essa classificação proporciona um meio de analisar particularmente o comportamento desses custos em função do volume de produção referente a determinado período, ressaltando que para classificar se um item pertence ao custo variável ou ao fixo é necessário que se fixe uma variável na qual a distinção entre esses itens seja a mais completa. Em linhas gerais, essa variável que diferencia os custos fixos dos variáveis é a distância percorrida (LEBOVITS, 19--).

Muitos são os fatores que afetam o custo de transporte e 3 (três) são de extrema relevância: distância, peso e volume. Wanke (2007) salienta que há outros, tais como: capacidade do veículo, facilidade de manuseio do produto, facilidade de acomodação, risco inerente ao carregamento, sazonalidade, tempo em espera para carregamento e descarregamento e existência de carga de retorno.

Sendo uma atividade de alto custo, o transporte de carga deve ser constantemente analisado para que, na medida do possível, haja redução de custos. Algumas variáveis pertencentes ao custo de transporte podem ser destacadas:

- **Depreciação:** entende-se como sendo o custo ou a despesa decorrentes do desgaste ou da obsolescência dos ativos imobilizados (máquinas, veículos, móveis, imóveis e instalações) da empresa;
- **Remuneração do capital:** é um dos indicadores mais importantes da eficiência dos negócios de uma empresa. Evidencia quanto a empresa gera de lucro para cada R\$ 1,00 (um) real investido;
- **Pessoal:** são os funcionários responsáveis pela operacionalidade dos veículos. É necessário que se considere tanto os salários quanto os encargos e benefícios;

- **Seguro do veículo:** é opcional. O empregador decide a contratação ou não desse tipo de seguro;
- **Seguros obrigatórios:** particulares de cada modalidade, necessários para a operação legal do veículo;
- **Custos Administrativos:** custos despendidos na administração da empresa;
- **Combustível:** tido como um custo variável, proporcional à distância percorrida;
- **Pneus:** também tido como custo variável. Inclui, também, custo com recapagem;
- **Lubrificantes:** substâncias que colocadas entre duas superfícies móveis ou uma fixa e outra móvel, formam uma película protetora que tem por finalidade reduzir o atrito. Importante para o bom funcionamento do veículo;
- **Manutenção:** ações técnicas, incluindo supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Devem ser realizadas em períodos determinados pelo fabricante.

Pereira (2007) intensifica, ainda mais, essa análise ao explicitar que os itens recorrentes devem ser considerados para a elaboração dos custos da distribuição de carga fracionada urbana, ilustrado na Tabela 4.1. E o cálculo exato do custo de entrega é um grande desafio devido ao considerável quantitativo de itens variáveis que estão intrincados na operação de entrega.

Segundo Lima (2001), para custear as rotas de entrega ou de coleta, é interessante calcular os itens de custos unitários de cada tipo de veículo utilizado. Como os custos fixos são constantes mês a mês (salvo variações de preço e ou salariais) esses são calculados em relação ao mês (R\$/mês). Já os custos variáveis, por dependerem da distância, devem ser calculados em função da quilometragem (R\$/Km).

Tabela 4.1 – Itens e subitens para cálculo do custo de entrega.

Item	Subitens
Mão de obra dos auxiliares de expedição	<ul style="list-style-type: none"> • Salários • Encargos
Mão de obra dos ajudantes no carregamento dos veículos de entregas	<ul style="list-style-type: none"> • Salários • Encargos
Mão de obra dos conferentes no carregamento dos veículos de entregas	<ul style="list-style-type: none"> • Salários • Encargos
Despesas com seguros de cargas	<ul style="list-style-type: none"> • RCTR-C • RCF-DC
Despesas com gerenciamento de riscos	<ul style="list-style-type: none"> • Rastreadores e acessórios • Monitoramento
Mão de obra dos motoristas das entregas	<ul style="list-style-type: none"> • Salários • Encargos
Mão de obra dos conferentes das entregas	<ul style="list-style-type: none"> • Salários • Encargos
Mão de obra dos ajudantes das entregas	<ul style="list-style-type: none"> • Salários • Encargos
Despesas dos veículos de entregas	<ul style="list-style-type: none"> • Remuneração do Capital • Reposição do Veículo • Reposição do Equipamento • Seguros e Licenciamento • Combustível e Lubrificantes • Lavagens • Pneus • Peças e Acessórios • Mão de Obra de Oficina
Serviço de Atendimento ao Cliente	<ul style="list-style-type: none"> • Salários • Encargos
Outras despesas	<ul style="list-style-type: none"> • Estacionamentos

Para o presente estudo, 3 (três) tipos de veículos serão utilizados para a análise da distribuição de cargas e estudo de roteirização de veículos, conforme Tabela 4.2. Para cada tipo de veículo serão calculados, conforme Anexo D, os custos que serão inseridos no TransCAD.

Tabela 4.2 – Caracterização dos veículos.

Tipo	1	2	3
Modelo	8-150 Delivery 2p	L-1318 2p	6000 D CS 2p
Vida Útil (meses)	60	72	60
Preço (R\$)	98.146,00	127.283,00	73.348,00
Baú (R\$)	12.000,00	16.000,00	-
Combustível	Diesel	Diesel	Diesel
Diesel (R\$/l)	1,99	1,99	1,99
Consumo (km/l)	6,00	4,00	9,00
Vida Útil - Pneu (km)	120.000	225.000	65.000
Pneu (R\$)	618,00	1.027,00	300,00
Câmara (R\$)	45,00	65,50	-
Protetor (R\$)	23,75	29,85	-
Recauchutagem (R\$)	185,00	27,00	120,00
Carter (l)	8,50	15,00	8,50
Óleo Carter (R\$)	11,20	11,20	11,20
Diferencial + Caixa (l)	8,40	14,25	-
Óleo Transmissão (R\$)	13,20	13,20	-

Para o próximo capítulo foi proposto um estudo de caso na cidade de Uberlândia-MG, para a realização do estudo de roteirização de veículos empregando o *software* TranCAD.

Capítulo 5

Estudo de Caso

A cidade de Uberlândia é considerada um dos maiores centros atacadistas brasileiro, sede de um dos maiores centros atacadista-distribuidor da América Latina e responsável pela distribuição de produtos para todas as regiões do país. De acordo com o Portal Prefeitura (2007) juntos, os atacadistas faturam bilhões por ano e atendem a uma carteira de mais de 400 mil clientes, gerando 20 mil empregos entre funcionários e representantes comerciais. Por isso, um estudo na cidade sobre a distribuição urbana de carga torna-se de grande contribuição para a comunidade local.

De acordo com Bessa (2005), Uberlândia a partir de 1970 apresentou considerável desenvolvimento econômico, caracterizado pela ampliação e diversificação da produção material, agropecuária e industrial, da produção não-material, comércio e prestação de serviços. Paralelamente, ocorreu o desenvolvimento das infra-estruturas econômicas, marcado pela implantação de sistemas de engenharia associados, primordialmente, aos transportes e às comunicações.

Destaca-se, ainda, com relação aos sistemas de transportes, que Uberlândia está localizada em um importante entroncamento aéreo-rodoferroviário que estabelece fluxos nos sentidos Leste-Oeste e Norte-Sul. A consolidação desse entroncamento garante a circulação de materiais, objetos e mercadorias e, também, o intercâmbio de pessoas através dos principais aeroportos, portos e cidades do país demonstrando o incremento das interações espaciais cujos fluxos ultrapassam os limites regionais e atingem o contexto nacional a fim de atender, particularmente, às exigências dos estabelecimentos agroindustriais e dos atacado-distribuidores. O setor terciário é marcado, primordialmente, pela constituição do pólo atacado-distribuidor, pela ampliação do consumo produtivo do campo, pelas modernas estruturas do comércio varejista, especialmente pela difusão dos supermercados,

hipermercados e *shopping centers*, e pelas novas atividades associadas à prestação de serviços (BESSA, 2005).

5.1 Caracterização do trabalho

Esse estudo de caso pretende analisar o problema da distribuição urbana de carga em um centro urbano empregando o procedimento de roteirização de veículos presente no *software* TransCAD. Para isso, foi escolhido um Atacadista-Distribuidor e definido para ele uma carteira de clientes (supermercados) da rede varejista da cidade.

5.2 Caracterização da rede varejista de supermercados

A rede varejista de supermercados da cidade abrange desde pequenos estabelecimentos até empresas de grande porte. Todos os estabelecimentos estão alocados na área urbana de modo descentralizado.

Para esse estudo foram consideradas as seguintes denominações para os estabelecimentos pertencentes à rede varejista de supermercados:

- Hipermercado;
- Supermercado;
- Mercado;
- Empório;
- Mini-Mercado.

A determinação da demanda para cada tipo de estabelecimento foi baseada nas informações adquiridas junto à empresa-distribuidora. Foram realizadas adaptações com intuito de obter uma heterogeneidade em relação às demandas dos estabelecimentos, abrangendo, dessa maneira, desde pequenos quantitativos a grandes demandas de carga. A classificação com relação ao quantitativo de carga para cada tipo de estabelecimento da rede varejista de supermercados é apresentada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Quantitativo da demanda por tipo de estabelecimento.

Tipo de Estabelecimento	Quantidade de <i>Check-outs</i>	Demanda/Entrega (kg)
Mini-Mercado	1 a 2	130
Empório e Mercado	3 a 5	300
Supermercado (pequeno porte)	6 a 10	560
Supermercado (médio porte)	11 a 15	820
Supermercado (grande porte)	15 a 19	1.150
Hipermercado (pequena cadeia)	20 a 24	1.560
Hipermercado (grande cadeia)	a partir de 25	2.100

Para o estudo de roteirização de veículos em questão, é considerado certo número N de supermercados, distribuídos espacialmente na rede urbana de Uberlândia com demandas q_i ($i=1,2,3,\dots,N$) a serem atendidas por X veículos de capacidade C , D e E .

Foram considerados 6 horários de atendimento, distribuídos entre os clientes aleatoriamente, para que houvesse uma heterogeneidade na janela de tempo, conforme observado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Caracterização dos horários de atendimento aos clientes.

Janela de Tempo	Horários de Atendimento
A	08h:00min às 18h:00min
B	08h:00min às 12h:00min
C	09h:00min às 11h:00min
D	12h:00min às 16h:00min
E	10h:00min às 14h:00min
F	14h:00min às 18h:00min

5.3 Caracterização do atacadista-distribuidor

Em contato com o representante responsável pela área de logística do Atacadista-Distribuidor, foram coletados alguns dados, os quais podem ser conferidos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Informações coletadas junto ao Atacadista-Distribuidor.

Informação Solicitada	Informação Aferida
Quantitativo da Frota Utilizada	Aproximadamente 200 veículos
Tipo (pequeno, médio ou grande) de varejo	Atendidos os 3 tipos de varejistas
Número de clientes/dia	Média de 15 a 20 clientes/dia
Frequência de entrega por cliente	Média de 2 entregas/mês
Horário de atendimento ao cliente	07h30min a 18h00min
Tempo para descarregamento da carga	Média de 20 min, podendo chegar a 3 horas
Valor da nota fiscal por pedido	Média de R\$ 800,00
Custo variável médio por entrega	Média de R\$ 15,00
Capacidade dos veículos	Média de 60% a 85% da capacidade total
Tipo de mercadoria entregue	Alimentos, produtos de higiene e limpeza
Densidade média da carga	Média de 300 kg/m ³
Acondicionamento da carga no veículo	Estivada
Elaboração das rotas de entrega	Próprio condutor do veículo
<i>Software</i> utilizado para operação de entrega	<i>Trucks</i>
Parâmetros do <i>software</i>	3 entregas/hora

São apresentadas, também, as configurações dos veículos que operam na distribuição de mercadorias para os estabelecimentos da cidade, conforme Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Configurações dos veículos operantes.

Configurações	Veículo Tipo (1)	Veículo Tipo (2)
Volume Total Baú (m ³)	30,25	42,00
Volume Real de Operação (m ³)	21,00	29,00
Peso Total do Carregamento (kg)	3.500,00	6.000,00
Peso Real de Operação (kg)	2.450,00	4.200,00

Os veículos considerados no estudo sairão de um centro de distribuição do Atacadista-Distribuidor e realizarão suas entregas respeitando uma janela de tempo para cada estabelecimento varejista e, completados seus roteiros de distribuição de carga, retornarão ao centro de distribuição. A solução do problema é uma coleção de rotas onde cada cliente deve ser visitado apenas uma vez e a demanda total da rota é, no máximo, igual à capacidade dos veículos.

A janela de tempo considerada para a prestação de serviço de distribuição de carga realizada pelo Atacadista-Distribuidor é compreendida das 07h30min até as 18h030min, não descontado o horário obrigatório para refeição.

5.4 Cenários

Serão considerados e analisados 4 (quatro) cenários para a distribuição de carga ao setor varejista de supermercados, conforme a Tabela 5.5 . Para cada cenário, a mudança ocorrida deu-se apenas na utilização do tipo de veículo responsável pela entrega.

Tabela 5.5 – Cenários analisados.

Cenários	Tipo de Veículo	Capacidade do Veículo (kg)
1	Tipo (1)	2.975,00
2	Tipo (2)	5.100,00
3	Tipo (3)	2.040,00
4	Tipo (1), (2) e (3)	Idem às anteriores

Os veículos utilizados para a distribuição de carga constarão dos 2 (dois) modelos empregados (Tipo 1 e Tipo 2) pelo Atacadista-Distribuidor e mais um modelo (Tipo 3) que será adotado como uma nova alternativa. A configuração dos veículos pode ser conferida na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Configuração dos veículos utilizados para distribuição de carga.

Configurações	Veículo Tipo (1)	Veículo Tipo (2)	Veículo Tipo (3)
Volume Total Baú (m ³)	30,25	42,00	13,40
Peso Total de Carga (kg)	3.500,00	6.000,00	2.400,00

Para as capacidades dos veículos empregados no estudo de distribuição de cargas, foram adotados valores de 85% da capacidade total do veículo, visto que, na prática não se trabalha com a capacidade total do veículo. Ressalta-se, também que, as capacidades dos veículos serão limitadas pelo peso (kg) e não pelo volume (m³).

Em todos os 4 (quatro) cenários configurados e desenvolvidos pela ferramenta TransCAD, trabalhou-se com a minimização da distância percorrida por cada veículo da frota, visto que, o *software* realiza a otimização da distância ou tempo de percurso.

No próximo capítulo são apresentados os resultados e as conclusões referentes ao estudo realizado, assim como também são destacadas algumas recomendações para estudos futuros.

Capítulo 6

Resultados e Conclusões

A partir do módulo de roteirização de veículos do *software* TransCAD, pode-se construir as rotas de distribuição de carga na malha viária da cidade de Uberlândia-MG, local da pesquisa, alcançando o objetivo geral do estudo.

O estudo dos elementos pertencentes à Distribuição Urbana de Carga tornou-se necessário tanto para entendimento quanto para a aplicação e exploração do estudo de roteirização de veículos, logrando os objetivos específicos do estudo.

Os conceitos e estudos pesquisados em diversas literaturas, quanto à Teoria dos Grafos foram pertinentes para a compreensão da lógica básica de configuração e funcionamento da rede de trabalho do TransCAD e também para a compreensão do Problema de Roteirização de Veículo (PRV).

Devido à dificuldade em obter dados precisos junto às empresas do setor atacadista-distribuidor, por se tratar de uma área de concorrência exacerbada e a divulgação de informações poderia prejudicar os planos estratégicos e financeiros das empresas, os resultados obtidos são aproximados e podem auxiliar como orientação para a operação da atividade de distribuição de mercadorias.

O problema de roteirização de veículos com janela de tempo desenvolvido pelo TransCAD apresentou resultados satisfatórios para o fornecimento de rotas gráficas de entrega de carga, podendo ser considerado uma ferramenta de utilidade para o planejamento operacional e logístico de uma empresa distribuidora de cargas.

Foi possível realizar algumas análises sobre os cenários desenvolvidos pelo *software* TransCAD.

Tabela 6.1 – Resultados obtidos.

Cenário	Veículo Tipo	Veículos Usados	Distância Média por Veículo (Km)	Distância Total Percorrida (km)	Índice de Utilidade da Frota (%)	Custo Variável Médio por Entrega (R\$)	Custo Variável Total por Entrega (R\$)
1	Tipo (1)	21	11,95	250,95	86,1	12,43	260,99
2	Tipo (2)	23	16,10	370,30	45,9	21,73	499,90
3	Tipo (3)	26	18,96	492,96	93,5	13,27	345,07
4	Tipo (1)	0	-			-	
	Tipo (2)	10	16,23	215,66	79,9	21,91	256,46
	Tipo (3)	8	6,67			4,67	

Analisando os 4 (quatro) cenários descritos acima, infere-se que o cenário 4 foi o que gerou a menor distância total percorrida, tendo sido utilizado pela frota dois tipos de veículos.

As quantidades de veículos apresentadas são as mínimas possíveis de operacionalização para o modo de distribuição de mercadorias sem que os clientes deixem de serem visitados e, também, as quais a janela de tempo estabelecida não seja ultrapassada.

No cenário 3, onde se emprega veículos de menor capacidade, 2 (dois) clientes deixaram de ser atendidos, pois suas demandas superaram a capacidade do veículo, restrição essa imposta pelo Problema de Roteirização de Veículos com Janela de Tempo. Esse cenário, também, foi o que apresentou a maior distância percorrida, porém com índice de utilidade da frota acima dos 90%.

Uma possível solução apontada para esse problema seria, ao invés de se ter 1 (um) ponto com demanda superior à capacidade do veículo, criar um certo número de nós de modo que a demanda seja dividida, se possível, em partes iguais e seja inferior á capacidade do

veículo. A alocação desses novos nós deve ser feita de modo que todos recebam o mesmo *Node ID*.

Mesmo não tendo a maior distância total percorrida, o cenário 2, onde se utiliza o veículo de maior capacidade, obteve um índice de utilidade da frota de 45,9 %, ou seja, a frota opera ociosa, comparando-se com o dados do Atacadista-Distribuidor, que opera com no mínimo de 60% da capacidade total dos veículos da frota.

Para todos os outros cenários, o índice de utilidade da frota apresentou um valor considerado satisfatório, ou seja, as frotas operaram com valores dentro ou acima da faixa de operação do Atacadista-Distribuidor que é compreendido entre 60% a 85%.

Outras combinações foram realizadas, mas nenhuma apresentou resultado satisfatório, pois clientes não eram atendidos ou se extrapolava a janela de tempo imposta para a operação da atividade, ou ainda obtinha-se um número total de veículos de 40% a 60% maior que a configuração ótima estabelecida pelo *software*, aumentando, assim, a distância total percorrida e, conseqüentemente, o tempo de viagem e o custo.

O cenário com o menor custo variável médio por entrega foi o cenário 1, onde cada veículo da frota teve como custo variável médio por entrega o valor de R\$ 12,43, gerando uma economia na casa de 17% em relação custo variável médio por entrega do Atacadista-Distribuidor que é de R\$ 15,00.

Obter-se-ia melhor resultado se fosse comparado a rota real desenvolvida pelo motorista de um veículo Tipo com a rota traçada pelo TransCAD e, também, se fosse possível a aquisição de todas as informações necessárias e exatas junto à empresa atacadista-distribuidora.

Algumas ressalvas devem ser feitas quanto ao uso do *software* TransCAD no problema de roteirização de veículos, para que os roteiros gerados sejam executáveis na prática:

- O *software* não analisa as condições de tráfego que se tem na prática, como: presença de semáforo, congestionamentos, capacidade da via entre outros;

- O *software* adota parâmetros norte-americanos (unidades de medidas, de posicionamento e outros), fazendo-se necessária uma calibração para parâmetros brasileiros, caso queira utilizar o programa na operação de serviços.
- Quanto à circulação dos veículos nas vias de tráfego, eles não operam com uma velocidade média, mas com a velocidade máxima permitida da via;
- O *software* não analisa as condições de carregamento do veículo, ou seja, o arranjo das cargas dentro do veículo.

6.1 Recomendações

Sugere-se para trabalhos futuros a análise entre situações reais de entrega e/ou coleta de mercadorias obtidas com o uso de GPS (*Global Position System*) e rotas geradas por roteirizadores como o TransCAD. Estes trabalhos deveriam incorporar análises de sensibilidade com base nos fatores de impedância como distância, tempo, custo ou outros para que as tomadas de decisão possam ser fundamentadas com grau de risco reduzido.

Recomendam-se também estudos com outros roteirizadores que possam levar em consideração outras características das redes viárias, dos veículos conforme disponibilidades em nosso país, visto que, a maioria destes tipos de programas retratam a realidade de países do exterior.

Outra possibilidade de estudo a ser desenvolvido seria a análise de alocação de novos depósitos na rede viária urbana visando a minimização da distância percorrida pelos veículos ou tempo gasto nas rotas de entrega ou coleta de mercadorias.

Referências

ARAKAKI, R. G. I. **O Problema de Roteamento de Veículos e Algumas Metaheurísticas**. 29p. Monografia para Exame de Qualificação do Curso de Computação Aplicada (Graduação em Computação Aplicada), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.

ARAUJO, V. K. W. S. **Avaliação de Custos Para a Produção de Biodiesel a Partir de Óleos Residuais Fritura**. 97p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Industrial). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ASSAD, A. A. **Modeling and Implementation Issues in Vehicle Routing**. In: GOLDEN, B. L.; ASSAD, A. A. *Vehicle Routing: Method and Studies*, Elsevier Sciences Publisher, North Holland, Amsterdam, p 7-45, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS (ABRAS). **40 Anos de Supermercado no Brasil**. São Paulo, 1993. 186p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE DE CARGAS (NTC). **Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas**. 2001. Disponível em: www.ntc.org.br. Acesso em: 11 de mar. 2009.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 4ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2001. 532p.

BELFIORE, P. P. **Redução de Custos em Logística**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Saint Paul. 2006. 220p.

BESSA, K. C. **Reestruturação da Rede Urbana Brasileira e Cidades Médias: O Exemplo de Uberlândia (Mg)**. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, Out. 2005. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/volume16/artigo24_vol16.pdf>. Acesso em: 9, jul, 2008.

BOAVENTURA NETTO, P. O. **Teoria e Modelos de Grafos**. São Paulo, Editora Blucher. 1979. 249p.

BODIN, L.D.; GOLDEN, B.; ASSAD, A. A.; BALL, M. **Routing and Scheduling of Vehicle and Crews: The State of the Art**. Computers & Operations Research, v.10, n.2, p.63-211, 1983.

CALIPER. **TransCAD Transportation GIS Software - Routing and Logistics with TransCAD 4.0**. Caliper Corporation, Newton, EUA. 2002.

CARRARA, C. M. **Uma Aplicação do SIG Para a Localização e Alocação de Terminais Logísticos em Áreas Urbanas Congestionadas**. 246p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes), Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2007

COBRA, M. **Marketing Competitivo – Uma Abordagem Estratégica**. Série Estratégia de Negócios. São Paulo. Editora Atlas, 1993. 458p.

CHRISTOFIDES, N.; MINGOZZI, A.; TOTH, P. **The Vehicle Routing Problem**. In: CHRISTOFIDES, N.; MINGOZZI, A.; TOTH, P.; SANDI, C. (Org.). **Combinatorial Optimazation**. Chichester, New York: John Wiley, 1979.

CLARK, G.; WRIGHT, J. **Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points**. Operations Research, v.12, p. 568-581, 1964.

CONNOR, J. M.; SCHIEK, W. A. **Food Processing: an Industrial Powerhouse in Transition**. 2ª Edição. New York: John Wiley & Sons, 1997. 665p.

CUNHA, C. B. **Uma Contribuição Para o Problema de Roteirização de Veículos Com Restrições Operacionais**. 222p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Transportes), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

CUNHA, C. B. **Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais.** Transportes, v.8 , n.2, p.51-74, 2000.

CUNHA, C. B.; BONASSER, U. O.; ABRAHÃO, F. T. M. **Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante.** In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, Natal, 2002. Anais: Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes. Rio de Janeiro: ANPET, v.2, p. 105-117, 2002.

CYRILLO, D. C. **O papel dos Supermercados no Varejo de Alimentos.** São Paulo: FIPE-USP, Série Ensaio Econômico, nº 68, 1987.

DESROCHERS, M.; LENSTRA, J. K.; SAVELSBERGH, M. W. P. **A Classification Scheme for the Vehicle Routing and Scheduling Problems.** European Journal of Operational Research, v.46, n.3, p.322-332, 1990.

DUTRA, N. G. S. **O Enfoque de “City Logistics” na Distribuição Urbana de Encomendas.** 212p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

EDMONDS, J.; JOHNSON, E. L. **Matching, Euler Tours and Chinese Postman.** Mathematical Programming, v. 5, p. 88-124, 1973.

ESTEVAM, J. B. **Heurísticas para o Problema de Roteamento de Veículos Capacitados (PRVC) Visando Aplicação no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.** 117p. Monografia (Bacharel em Ciência da Computação), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

EUROPEAN COMMISSION. White paper. **European Transport Policy for 2010: Time to Decide.** Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2001.

FARIA, C. A. **Teoria dos Grafos – Conceitos e Aplicações**. Notas de aula: Estudo e Análise de Redes de Transportes. Uberlândia, 2006. 49 p.

FEOFILLOF, P. **Exercícios de Teoria dos Grafos**. 2009. Disponível em: <<http://www.ime.usp.br/~pf/grafos-exercicios/texto/ETG.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2009.

FERREIRA FILHO, V. J. M.; MELO, A. C. S. **Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos**. Seção de Software. Pesquisa Operacional, v.21, n.2, p.223-232, 2001.

FREDERICKSON, G. N. **Approximation Algorithms for Some Postman Problems**. Journal of Optimization Theory and Applications, v. 26, p. 538-554, 1979.

GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S. **Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness**. 1ª Edição, New York: W. H. Freeman, 1979. 338p.

GENDREAU, M.; GUERTIN, F.; POTVIN, J-Y.; TAILLARD, E. **Parallel Tabu Search for Real-Time Vehicle Routing and Dispatching**. Transportation Science, v. 33, p. 381-390. 1999.

GOLDBARG, M.; LUNA, P. L. **Otimização Combinatória e Programação Linear**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000. 654 p.

GRANEMANN, S. R.; YAMASHITA, Y.; TEDESCO, G. M. I.; SILVA, A. R. **Metodologia para Roteirização do Transporte Escolar Rural**. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, Rio de Janeiro, 2007. Anais: Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes. Rio de Janeiro: ANPET, 2007.

GROSS, J. L.; YELLEN, J. **Graph Theory and Its Applications**. 1ª Edição. Boca Raton: CRC. 1999. 585p.

GUIMARÃES, G. S.; PACHECO, R. C. **Análise da Viabilidade do Uso de um Software de Roteirização de Veículos em uma Empresa Agroindustrial**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Porto Alegre, p. 770-777, 2005.

KARP, R. M. **On the Computational Complexity of Combinatorial Problems.** Networks, v. 5, p. 45-68, 1975.

KIRKMAN T. P. **On the Representation of Polyhedra.** 1856.

KIYOHARA, J. H. **Entendendo o *Cash and Carry* e Clube de Compras – Retrato Brasileiro.** In: SEMINÁRIO EM ADMINISTRAÇÃO, São Paulo, 2001.

KOTLER, P. **Administração de Marketing – Análise, Planejamento, Implementação e Controle.** 4ª Edição. São Paulo. Editora Atlas, 1996. 676p.

LAS CASAS, A. L. **Administração de Vendas.** 6ª Edição. São Paulo: Atlas, 2002. 238p.

LEBOVITS, T. **Manual do Custo do Transporte Rodoviário.** 1ª Edição. São Paulo, Centro Internacional de Ensino Profissional, 19--.

LIMA, M. P. Artigos CEL: **O custeio do transporte rodoviário.** 2001. Disponível em: <http://www.ogerente.com.br/log/dt/logdt-custeio_transporte_rodoviario.htm>. Acesso em: 11 dez. 2008.

MA, L. **Integrated Environmental Impact Modelling for Urban Freight Transport.** TRAIL Research School, Delft.1999.

MAIA, L. C. C. **Avaliação do Serviço Logístico sob a Percepção do Varejo: um estudo empírico numa rede voluntária de supermercados patrocinada pelo atacado.** 152p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Administração). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

MARIANI, A. C. **Teoria dos Grafos.** 2009. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/grafos/livro.html>>. Acesso em: 3 fev. 2009.

MELO, A. C. S. **Avaliação do Uso de Sistemas de Roteirização de Veículos**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

MINOUX, M. **Optimal Traffic Assignment in a SS/TDMA Frame: A New Approach by Set Covering and Column Generation**. *Operations Research*, v. 20, p. 1-13, 1986.

MOURA, R. A. **Os desafios logísticos**. 2000. Disponível em: <<http://www.guialog.com.br/>>. Artigos e Casos. Acesso em: 22 jan. 2009.

NANNI, H. C.; SILVA, A. M.; ACCIOLY, R. C. **Posicionamento Estratégico de Marketing: Um Estudo de Caso no Setor Atacadista Brasileiro**. 2006. Disponível em: <<http://www.esag.edu.br/biblioteca/artigo41.html>>. Acesso em: 11 fev. 2009.

NETO, A. F.; LIMA, R. S. **Roteirização de Veículos de uma Rede Atacadista com o Auxílio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Porto Alegre, p. 963-969, 2005.

NONATO, L. G. **Grafos**. 2000. Disponível em: <<http://www.lcad.icmc.usp.br/~nonato/ED/Grafos/node73.html>>. Acesso em: 3 fev. 2009.

NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2007. 404p.

NOVAES, A. G.; CAMPOS, V. B. G.; DEXHEIMER, L.; SINAY, M. C. F. **Distribuição de Carga Urbana: Componentes, Restrições e Tendências**. 2004. Disponível em: <[http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/vania/pubs/\(16\)CargaUrban.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/vania/pubs/(16)CargaUrban.pdf)>. Acesso em: 27 de set. 2008.

OGDEN, K. W. **Urban goods movement: a guide to policy and planning**. Inglaterra: Editora Ashgate, 1992.

OLIVEIRA, H. C. B.; VASCONCELOS, G. C.; ALVARENGA, G. B. **Uma Abordagem Evolucionária para o Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL, Gramado, p. 1828-1839, 2005.

PALHANO, A. W. C. **Novos Algoritmos de Agrupamento e Roteirização Para Distribuição de Jornais e Assinantes**. 137p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Computação), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2004.

PARRA, P. E. **Algoritmo Genético Como uma Ferramenta de Roteamento**. 2007. Disponível em: <
<http://www.epr.unifei.edu.br/PFG/producao2007/trabalhos/TD%20Pedro%20Ellner%20Parrapa.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2009.

PELIZARO, C. **Avaliação do Desempenho do Algoritmo de um Programa Comercial para Roteirização de Veículos**. 166p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PEREIRA, R. L. **Os Custos das Entregas de Cargas Fracionadas Urbanas**. Revista Mundo Logística. Ano 1, n. 1, p. 64-70, nov. 2007.

PORTAL PREFEITURA. **Atacado Distribuidor**. 2007. Disponível em: <
http://www.uberlandia.mg.gov.br/invista_atacado_distribuidor.php>. Acesso em: 12 jun. 2008.

REINELT, G. **The Traveling Salesman – Computational Solutions for TSP Applications**. Berlin: Springer-Verlag. 1994.

REIS, N. G. **Custos Operacionais, Frete e Renovação de Frotas**. Publicado pela Associação Nacional do Transporte de Cargas. Atualizado em Junho de 2003.

REVISTA DISTRIBUIÇÃO. São Paulo: Editora Brasileira de Comércio, n.147, abr. 2005. 218p

REVISTA SUPERHIPER. São Paulo: ABRAS. Ano 17, 1991.

RESENDE, P. T. V.; MENDONÇA, G. D. **Análise Estratégica dos Canais de Distribuição no Brasil**. Revista Mundo Logística. Ano 1, n. 1, p. 20-23, nov. 2007.

RONEN, D. **Perspectives on Practical Aspects of Truck Routing as Scheduling**. European Journal of Operational Research., v.35, n.2, p.137-145, 1988.

SANTOS, E. C.; AGUIAR, E. M. **Transporte de Cargas em Áreas Urbanas**. In: CAIXETA-FILHO, J. V.; MARTINS, R. C. (Org.). Gestão Logística do Transporte de Cargas. 1ª Edição. São Paulo, 2001. 182-208p.

SESSO FILHO, U. A. **O Setor Supermercadista nos Anos de 1990**. 216p. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

VANDERMONDE, E. T. **Mémoire sur la résolution des équations**. 1771.

VERLANGIERI, M. V. **Distribuição, um Desafio Constante**. 1999. Disponível em: <www.guiadelogistica.com.br>. Artigos e Casos. Acesso em: 22 jan. 2009.

WANKE, P. **Custo do transporte de cargas brasileiro**. Gazeta Mercantil, São Paulo. 23 mar. 2007. Opinião. Disponível em: <http://joomla.coppead.ufrj.br/port/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=280>. Acesso em: 02 mar. 2009

Veh. Type: 3	Tot Dist: 5.9	Depart Load: 130.0
No. Name	Arrival - Depart	Dist Delivery
1 4441	7:57am 8:00am - 8:22am	2.9 130.0
END 1	8:24am	2.9
Total		5.9 130.0
-----#-----#-----#-----#-----#-----		

Route #: 7	Tot Time: 3:04	Capacity: 2040.0
Veh. Type: 3	Tot Dist: 11.2	Depart Load: 1810.0
No. Name	Arrival - Depart	Dist Delivery
1 4881	8:33am 8:38am - 9:00am	4.4 130.0
2 4873	9:00am - 10:09am	0.3 820.0
3 4817	10:09am - 11:00am	0.9 560.0
4 4737	11:02am - 11:34am	1.7 300.0
END 1	11:37am	3.6
Total		11.2 1810.0
-----#-----#-----#-----#-----#-----		

Route #: 8	Tot Time: 6:37	Capacity: 5100.0
Veh. Type: 2	Tot Dist: 12.2	Depart Load: 5040.0
No. Name	Arrival - Depart	Dist Delivery
1 4801	9:57am 10:02am - 10:52am	4.3 560.0
2 4785	10:54am - 12:02pm	1.5 820.0
3 4609	12:03pm - 1:59pm	1.1 1560.0
4 4537	2:00pm - 4:30pm	0.5 2100.0
END 1	4:35pm	4.5
Total		12.2 5040.0
-----#-----#-----#-----#-----#-----		

Route #: 9	Tot Time: 7:39	Capacity: 5100.0
Veh. Type: 2	Tot Dist: 19.1	Depart Load: 5050.0
No. Name	Arrival - Depart	Dist Delivery
1 4865	7:55am 8:00am - 8:51am	4.1 560.0
2 4793	8:52am - 9:43am	1.5 560.0
3 4625	9:44am - 10:52am	1.2 820.0
4 4337	10:55am - 11:45am	2.4 560.0
5 4513	11:46am - 12:36pm	0.7 560.0
6 4521	12:37pm - 2:33pm	0.5 1560.0
7 4345	2:37pm - 3:09pm	3.7 300.0
8 4353	3:09pm - 3:31pm	0.4 130.0
END 1	3:35pm	4.2
Total		19.1 5050.0
-----#-----#-----#-----#-----#-----		

Route #: 10	Tot Time: 0:35	Capacity: 2040.0
Veh. Type: 3	Tot Dist: 3.0	Depart Load: 300.0

ANEXO B

Route	Stop Name	Sequence	[Open Time]	[Due Time]	Arrival	[Service Time]	Departure	[Travel Time]	Distance	[Tot. Dist.]	Delivery	[Tot. Load]
1	1 1	0	730	1830	--	--	750	--	--	0.00	--	2020.00
1	5153 5153	1	800	1800	800	50.5	851	9.9	9.91	9.91	560.000	1460.00
1	5145 5145	2	800	1800	851	32.0	923	0.0	0.04	9.95	300.000	1160.00
1	5129 5129	3	800	1800	924	32.0	956	1.6	1.60	11.56	300.000	860.00
1	5033 5033	4	800	1800	1001	50.5	1052	4.9	4.90	16.46	560.000	300.00
1	4473 4473	5	800	1800	1052	32.0	1124	0.8	0.76	17.22	300.000	0.00
1	1 1	6	730	1830	1133	--	--	9.1	9.14	26.37	--	0.00
2	1 1	0	730	1830	--	--	752	--	--	0.00	--	2880.00
2	4505 4505	1	800	1800	800	21.5	822	7.7	7.72	7.72	130.000	2750.00
2	4489 4489	2	800	1800	822	32.0	854	0.9	0.91	8.63	300.000	2450.00
2	4465 4465	3	800	1800	855	50.5	945	0.4	0.41	9.05	560.000	1890.00
2	4481 4481	4	800	1800	946	32.0	1018	0.6	0.63	9.68	300.000	1590.00
2	4497 4497	5	800	1800	1019	21.5	1040	0.7	0.74	10.42	130.000	1460.00
2	5065 5065	6	800	1800	1041	50.5	1132	0.9	0.88	11.30	560.000	900.00
2	5057 5057	7	800	1800	1132	32.0	1204	0.1	0.12	11.42	300.000	600.00
2	5073 5073	8	800	1800	1204	32.0	1236	0.7	0.71	12.13	300.000	300.00
2	5089 5089	9	800	1800	1237	32.0	1309	0.9	0.87	13.00	300.000	0.00
2	1 1	10	730	1830	1316	--	--	7.0	7.04	20.04	--	0.00
3	1 1	0	730	1830	--	--	755	--	--	0.00	--	2970.00
3	4409 4409	1	800	1800	800	50.5	851	5.1	5.13	5.13	560.000	2410.00
3	4321 4321	2	800	1800	851	32.0	923	0.2	0.24	5.37	300.000	2110.00
3	4313 4313	3	800	1800	923	21.5	945	0.7	0.70	6.07	130.000	1980.00
3	4289 4289	4	800	1800	947	21.5	1008	1.7	1.66	7.73	130.000	1850.00
3	4281 4281	5	800	1800	1009	50.5	1059	0.6	0.57	8.31	560.000	1290.00
3	4297 4297	6	800	1800	1100	50.5	1150	0.4	0.36	8.66	560.000	730.00
3	4305 4305	7	800	1800	1152	32.0	1224	1.7	1.72	10.38	300.000	430.00
3	4329 4329	8	800	1800	1225	32.0	1257	0.8	0.81	11.19	300.000	130.00
3	4433 4433	9	800	1800	1257	21.5	1319	0.8	0.82	12.01	130.000	0.00
3	1 1	10	730	1830	1324	--	--	4.9	4.87	16.88	--	0.00

Route	Stop Name	Sequence	[Open Time]	[Due Time]	Arrival	[Service Time]	Departure	[Travel Time]	Distance	[Tot. Dist.]	Delivery	[Tot. Load]
4	1 1	0	730	1830	--	--	755	--	--	0.00	--	2890.00
4	4857 4857	1	800	1800	800	32.0	832	5.4	5.37	5.37	300.000	2590.00
4	5097 5097	2	800	1800	833	21.5	855	1.5	1.49	6.86	130.000	2460.00
4	5081 5081	3	800	1800	855	32.0	927	0.4	0.43	7.29	300.000	2160.00
4	4825 4825	4	800	1800	928	116.0	1124	0.9	0.91	8.20	1560.000	600.00
4	4849 4849	5	800	1800	1125	32.0	1157	0.5	0.52	8.72	300.000	300.00
4	4833 4833	6	800	1800	1157	32.0	1229	0.1	0.14	8.86	300.000	0.00
4	1 1	7	730	1830	1235	--	--	6.2	6.23	15.09	--	0.00
5	1 1	0	730	1830	--	--	755	--	--	0.00	--	2970.00
5	4921 4921	1	800	1800	800	32.0	832	5.0	4.99	4.99	300.000	2670.00
5	4945 4945	2	800	1800	833	32.0	905	0.7	0.73	5.71	300.000	2370.00
5	4961 4961	3	800	1800	905	32.0	937	0.2	0.23	5.95	300.000	2070.00
5	4953 4953	4	800	1800	937	50.5	1028	0.1	0.06	6.01	560.000	1510.00
5	4937 4937	5	800	1800	1028	21.5	1050	0.8	0.78	6.78	130.000	1380.00
5	4969 4969	6	800	1800	1050	21.5	1112	0.3	0.27	7.05	130.000	1250.00
5	4977 4977	7	800	1800	1112	21.5	1133	0.1	0.14	7.19	130.000	1120.00
5	5121 5121	8	800	1800	1136	68.5	1244	2.7	2.66	9.85	820.000	300.00
5	5113 5113	9	800	1800	1244	32.0	1316	0.1	0.11	9.96	300.000	0.00
5	1 1	10	730	1830	1323	--	--	6.5	6.45	16.41	--	0.00
6	1 1	0	730	1830	--	--	750	--	--	0.00	--	2930.00
6	5137 5137	1	800	1800	800	21.5	822	10.1	10.06	10.06	130.000	2800.00
6	4929 4929	2	800	1800	827	50.5	917	5.1	5.05	15.12	560.000	2240.00
6	4841 4841	3	800	1800	918	50.5	1008	0.8	0.76	15.87	560.000	1680.00
6	4817 4817	4	800	1800	1009	50.5	1059	0.4	0.37	16.24	560.000	1120.00
6	4793 4793	5	800	1800	1100	50.5	1151	1.0	1.03	17.27	560.000	560.00
6	4801 4801	6	800	1800	1152	50.5	1243	1.4	1.40	18.67	560.000	0.00
6	1 1	7	730	1830	1247	--	--	4.3	4.31	22.98	--	0.00
7	1 1	0	730	1830	--	--	755	--	--	0.00	--	2920.00
7	4809 4809	1	800	1800	800	150.0	1030	4.9	4.88	4.88	2100.000	820.00
7	4785 4785	2	800	1800	1031	68.5	1140	1.2	1.20	6.08	820.000	0.00
7	1 1	3	730	1830	1145	--	--	5.5	5.53	11.61	--	0.00

Route	Stop Name	Sequence	[Open Time]	[Due Time]	Arrival	[Service Time]	Departure	[Travel Time]	Distance	[Tot. Dist.]	Delivery	[Tot. Load]
8	1 1	0	730	1830	--	--	755	--	--	0.00	--	2970.00
8	4625 4625	1	800	1800	800	68.5	909	4.6	4.60	4.60	820.000	2150.00
8	4529 4529	2	800	1800	910	21.5	931	1.2	1.21	5.82	130.000	2020.00
8	4513 4513	3	800	1800	933	50.5	1023	1.5	1.48	7.29	560.000	1460.00
8	4337 4337	4	800	1800	1024	50.5	1114	0.6	0.65	7.94	560.000	900.00
8	4425 4425	5	800	1800	1115	32.0	1147	0.9	0.90	8.83	300.000	600.00
8	4417 4417	6	800	1800	1148	32.0	1220	0.4	0.39	9.22	300.000	300.00
8	4377 4377	7	800	1800	1220	32.0	1252	0.5	0.46	9.68	300.000	0.00
8	1 1	8	730	1830	1257	--	--	4.6	4.64	14.33	--	0.00
9	1 1	0	730	1830	--	--	755	--	--	0.00	--	2940.00
9	4609 4609	1	800	1800	800	116.0	956	5.0	4.96	4.96	1560.000	1380.00
9	4649 4649	2	800	1800	957	68.5	1106	1.4	1.43	6.39	820.000	560.00
9	4865 4865	3	800	1800	1107	50.5	1157	0.7	0.69	7.09	560.000	0.00
9	1 1	4	730	1830	1202	--	--	4.5	4.48	11.56	--	0.00
10	1 1	0	730	1830	--	--	756	--	--	0.00	--	2920.00
10	4745 4745	1	800	1800	800	90.5	931	3.8	3.81	3.81	1150.000	1770.00
10	4873 4873	2	800	1800	931	68.5	1040	0.9	0.90	4.71	820.000	950.00
10	4881 4881	3	800	1800	1040	21.5	1102	0.3	0.31	5.01	130.000	820.00
10	4889 4889	4	800	1800	1103	21.5	1124	1.1	1.06	6.07	130.000	690.00
10	4913 4913	5	800	1800	1125	21.5	1146	0.3	0.33	6.40	130.000	560.00
10	5025 5025	6	800	1800	1148	21.5	1209	1.7	1.68	8.08	130.000	430.00
10	5017 5017	7	800	1800	1209	21.5	1231	0.2	0.20	8.28	130.000	300.00
10	5009 5009	8	800	1800	1232	32.0	1304	0.5	0.53	8.82	300.000	0.00
10	1 1	9	730	1830	1308	--	--	4.0	4.00	12.82	--	0.00
11	1 1	0	730	1830	--	--	751	--	--	0.00	--	2700.00
11	5041 5041	1	800	1800	800	32.0	832	8.9	8.86	8.86	300.000	2400.00
11	4441 4441	2	800	1800	839	21.5	901	7.3	7.32	16.18	130.000	2270.00
11	4401 4401	3	800	1800	901	50.5	952	0.3	0.29	16.47	560.000	1710.00
11	4385 4385	4	800	1800	952	21.5	1013	0.3	0.27	16.75	130.000	1580.00
11	4393 4393	5	800	1800	1014	90.5	1144	0.2	0.24	16.99	1150.000	430.00
11	4345 4345	6	800	1800	1146	32.0	1218	1.9	1.90	18.89	300.000	130.00
11	4353 4353	7	800	1800	1218	21.5	1240	0.4	0.42	19.31	130.000	0.00
11	1 1	8	730	1830	1244	--	--	4.2	4.20	23.50	--	0.00

Route	Stop Name	Sequence	[Open Time]	[Due Time]	Arrival	[Service Time]	Departure	[Travel Time]	Distance	[Tot. Dist.]	Delivery	[Tot. Load]
12	1 1	0	730	1830	--	--	755	--	--	0.00	--	2960.00
12	4537 4537	1	800	1800	800	150.0	1030	4.6	4.58	4.58	2100.000	860.00
12	4593 4593	2	800	1800	1032	32.0	1104	1.5	1.54	6.12	300.000	560.00
12	4569 4569	3	800	1800	1104	50.5	1155	0.5	0.52	6.64	560.000	0.00
12	1 1	4	730	1830	1158	--	--	3.5	3.45	10.09	--	0.00
13	1 1	0	730	1830	--	--	751	--	--	0.00	--	2840.00
13	5049 5049	1	800	1800	800	21.5	822	8.6	8.64	8.64	130.000	2710.00
13	4617 4617	2	800	1800	826	116.0	1022	4.7	4.72	13.36	1560.000	1150.00
13	4561 4561	3	800	1800	1023	90.5	1153	0.5	0.46	13.82	1150.000	0.00
13	1 1	4	730	1830	1157	--	--	3.8	3.78	17.60	--	0.00
14	1 1	0	730	1830	--	--	757	--	--	0.00	--	2850.00
14	4545 4545	1	800	1800	800	32.0	832	3.4	3.35	3.35	300.000	2550.00
14	4585 4585	2	800	1800	833	50.5	923	0.9	0.94	4.29	560.000	1990.00
14	4633 4633	3	800	1800	924	21.5	946	0.6	0.59	4.88	130.000	1860.00
14	4641 4641	4	800	1800	946	116.0	1142	1.0	0.96	5.84	1560.000	300.00
14	4737 4737	5	800	1800	1143	32.0	1215	0.8	0.83	6.67	300.000	0.00
14	1 1	6	730	1830	1219	--	--	3.7	3.69	10.36	--	0.00
15	1 1	0	730	1830	--	--	757	--	--	0.00	--	2840.00
15	4777 4777	1	800	1800	800	68.5	909	3.0	3.01	3.01	820.000	2020.00
15	4769 4769	2	800	1800	909	50.5	1000	0.6	0.62	3.63	560.000	1460.00
15	4905 4905	3	800	1800	1000	32.0	1032	0.7	0.65	4.28	300.000	1160.00
15	5001 5001	4	800	1800	1033	50.5	1123	0.5	0.51	4.79	560.000	600.00
15	4897 4897	5	800	1800	1124	32.0	1156	0.6	0.58	5.38	300.000	300.00
15	4993 4993	6	800	1800	1157	32.0	1229	0.9	0.86	6.23	300.000	0.00
15	1 1	7	730	1830	1232	--	--	2.9	2.87	9.10	--	0.00
16	1 1	0	730	1830	--	--	757	--	--	0.00	--	2810.00
16	4553 4553	1	800	1800	800	50.5	851	3.0	2.96	2.96	560.000	2250.00
16	4577 4577	2	800	1800	851	50.5	941	0.4	0.40	3.36	560.000	1690.00
16	4601 4601	3	800	1800	942	21.5	1003	0.4	0.42	3.78	130.000	1560.00
16	4521 4521	4	800	1800	1005	116.0	1201	1.7	1.70	5.48	1560.000	0.00
16	1 1	5	730	1830	1205	--	--	4.0	3.96	9.44	--	0.00

Route	Stop Name	Sequence	[Open Time]	[Due Time]	Arrival	[Service Time]	Departure	[Travel Time]	Distance	[Tot. Dist.]	Delivery	[Tot. Load]
17	1 1	0	730	1830	--	--	757	--	--	0.00	--	2940.00
17	4761 4761	1	800	1800	800	116.0	956	3.3	3.33	3.33	1560.000	1380.00
17	4729 4729	2	800	1800	957	50.5	1047	0.9	0.92	4.25	560.000	820.00
17	4673 4673	3	800	1800	1048	68.5	1157	0.7	0.65	4.90	820.000	0.00
17	1 1	4	730	1830	1200	--	--	2.9	2.94	7.84	--	0.00
18	1 1	0	730	1830	--	--	758	--	--	0.00	--	2580.00
18	4985 4985	1	800	1800	800	32.0	832	1.9	1.94	1.94	300.000	2280.00
18	5105 5105	2	800	1800	838	32.0	910	6.5	6.47	8.42	300.000	1980.00
18	4753 4753	3	800	1800	916	50.5	1006	5.4	5.43	13.85	560.000	1420.00
18	4681 4681	4	800	1800	1007	68.5	1116	0.8	0.82	14.66	820.000	600.00
18	4689 4689	5	800	1800	1116	32.0	1148	0.6	0.65	15.31	300.000	300.00
18	4697 4697	6	800	1800	1148	32.0	1220	0.1	0.09	15.41	300.000	0.00
18	1 1	7	730	1830	1223	--	--	2.1	2.06	17.46	--	0.00
19	1 1	0	730	1830	--	--	759	--	--	0.00	--	2880.00
19	4721 4721	1	800	1800	800	32.0	832	1.5	1.46	1.46	300.000	2580.00
19	4713 4713	2	800	1800	832	32.0	904	0.1	0.07	1.53	300.000	2280.00
19	4705 4705	3	800	1800	904	50.5	955	0.1	0.13	1.66	560.000	1720.00
19	4665 4665	4	800	1800	956	32.0	1028	1.3	1.30	2.96	300.000	1420.00
19	4657 4657	5	800	1800	1028	21.5	1050	0.4	0.40	3.37	130.000	1290.00
19	4457 4457	6	800	1800	1051	32.0	1123	0.9	0.93	4.30	300.000	990.00
19	4361 4361	7	800	1800	1126	21.5	1147	3.1	3.10	7.40	130.000	860.00
19	4369 4369	8	800	1800	1148	50.5	1238	0.2	0.20	7.59	560.000	300.00
19	4449 4449	9	800	1800	1239	32.0	1311	0.6	0.62	8.22	300.000	0.00
19	1 1	10	730	1830	1313	--	--	2.4	2.42	10.63	--	0.00

ANEXO C

Starting Procedure Vehicle Routing with Time windows on Sep.02, 2009
Model: Vehicle Routing with Time Windows

******* INPUT *******

Operation: Delivery
Minimizing: Distance
Matrix File: F:\TESTE (MST)\matriz de rota (m).mtx

Depot View: Atacadista
Depot Selection: All features (1)
Depot ID Field: ID
Depot Open Time: [Open Time]
Depot Close Time: [Close Time]
Depot Name Field: ID

Stop View: Supermercados
Stop Selection: All features (110)
Total Demand: 53810.0
Stop ID Field: ID
Stop Demand Field: Demanda
Stop Open Time: [Open Time]
Stop Close Time: [Close Time]
Fixed Service Time: [Fixed Time]
Time Per Unit: [Unit Time]
Stop Name Field: ID

Vehicle Table: VEH_TAB
Total Veh. Capacity: 67320.0

Route Duration Limit: 11:00

******* OUTPUT *******

Tour Table: F:\TESTE (MST)\Tabela rota teste (m).bin
Itinerary Report: F:\TESTE (MST)\relatorio teste (m).txt
Total Time: 86:31 (5190.7 min.)
Total Travel Time: 3:36 (215.7 min.)
Total Wait: 0:00 (0.0 min.)
Total Service Time: 82:55 (4975.0 min.)
Longest Route Time: 9:51 (590.9 min.)
Total Distance: 215.7
Number of Routes: 18

Total Stops Visited: 110
Total Demand Serviced: 53810.0

Vehicle Utility: 79.9
Total Running Time 00:00:01.609.

ANEXO D

CÁLCULO DO CUSTO OPERACIONAL PARA ENTREGA DE CARGA

O cálculo do custo operacional para entrega de mercadorias será baseada nos conceitos descritos pelo Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas (NTC, 2001) e pela publicação Custos Operacionais, Frete e Renovação de Frotas (Reis, 2003).

Para o cálculo dos custos operacionais de entrega foram considerados:

- Todos os resultados dos custos fixos estão expressos em moeda corrente brasileira: Real (R\$);
- Todos os resultados dos custos variáveis estão expressos pela unidade: R\$/km (Reais por Quilômetro);
- Os valores dos custos fixos são referentes à 1 mês de operação;
- Distância percorrida por 1 veículo em 1 mês: 1610 km;
- Cada veículo percorrerá apenas 1 roteiro/dia (ciclo de entrega);
- São considerados 23 dias de trabalho;
- Distância percorrida por roteiro (ciclo) de entrega será de 70 km.

Custo Fixo

A) Remuneração mensal do capital (RC): corresponde ao ganho no mercado financeiro caso o capital não tivesse sido usado para adquirir o veículo.

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{RC} = (98.146,00 \times 0,13)/12 = 1.063,25$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{RC} = (127.283,00 \times 0,13)/12 = 1.378,90$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{RC} = (73.348,00 \times 0,13)/12 = 794,60$$

B) Reposição de veículo (RV): quantia destinada mensalmente a um fundo para adquirir outro veículo novo no fim da vida útil econômica do veículo.

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{RV} = (0,80 \times (98.146,00 - 8 \times 618,00))/60 = 1.242,69$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{RV} = (0,80 \times (127.283,00 - 8 \times 1.207,00))/72 = 1.306,97$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{RV} = (0,80 \times (73.348,00 - 8 \times 300,00))/60 = 945,97$$

C) Reposição do equipamento (RE): referente à reposição do equipamento rodoviário (carroçaria).

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{RE} = (0,95 \times 12.000,00)/54 = 211,11$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{RE} = (0,95 \times 16.000,00)/54 = 281,48$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{RE} = 0$$

D) Salário do motorista (SM): além do salário devem ser acrescidos os encargos sociais, correspondentes a 96,14%.

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{SM} = (1.275,00 \times 1,9614) = 2.500,79$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{SM} = (1.275,00 \times 1,9614) = 2.500,79$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{SM} = (1.275,00 \times 1,9614) = 2.500,79$$

E) Salário do Ajudante (SA): além do salário devem ser acrescidos os encargos sociais, correspondentes a 96,14%.

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{SA} = (765,00 \times 1,9614) = 1.500,47$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{SA} = (765,00 \times 1,9614) = 1.500,47$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{SA} = (765,00 \times 1,9614) = 1.500,47$$

F) Salário de oficina (SO): despesas com o pessoal de manutenção, acrescidos dos encargos sociais.

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{SO} = (956,25 \times 1,9614)/5 = 375,12$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{SO} = (956,25 \times 1,9614)/4 = 468,90$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{SO} = (956,25 \times 1,9614)/5 = 375,12$$

G) Licenciamento (LC): tributos fiscais necessários para a circulação do veículo nas vias públicas que são: Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), Seguro por Danos Pessoais causados por Veículos Automotores (DPVAT) e Taxa de Licenciamento (TL).

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{LC} = (981,46 + 98,06 + 57,99)/12 = 94,79$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{LC} = (1.272,83 + 98,06 + 57,99)/12 = 119,07$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{LC} = (733,42 + 98,06 + 57,99)/12 = 74,12$$

H) Seguro do Veículo (SV): Representa a parcela mensal destinada ao pagamento do seguro ou para reparar eventuais sinistros (colisão, incêndio, roubo, etc.) ocorridos com o veículo.

$$\text{Veic.}(1) \quad \text{SV} = ((11.777,52 + 75,00) \times 1,07) / 12 = 1.056,85$$

$$\text{Veic.}(2) \quad \text{SV} = ((15.592,17 + 75,00) \times 1,07) / 12 = 1.396,97$$

$$\text{Veic.}(3) \quad \text{SV} = ((6.636,82 + 75,00) \times 1,07) / 12 = 598,47$$

I) Seguro do Equipamento (SE): Representa a parcela mensal destinada ao pagamento do seguro ou para reparar eventuais sinistros (colisão, incêndio, roubo, etc.) ocorridos com o equipamento.

$$\text{Veic.}(1) \quad \text{SE} = ((400,40 + 75,00) \times 1,07) / 12 = 42,39$$

$$\text{Veic.}(2) \quad \text{SE} = ((572,00 + 75,00) \times 1,07) / 12 = 57,69$$

$$\text{Veic.}(3) \quad \text{SE} = ((300,30 + 75,00) \times 1,07) / 12 = 33,46$$

J) Seguro de Responsabilidade Civil Facultativo (RCF): destinado a cobrir danos materiais e a complementar os danos pessoais causados a terceiros (o valor da cobertura do seguro DPVAT é bastante limitado).

$$\text{Veic.}(1) \quad \text{RCF} = ((1.051,59 + 75,00) \times 1,07) / 12 = 100,45$$

$$\text{Veic.}(2) \quad \text{RCF} = ((1.392,19 + 75,00) \times 1,07) / 12 = 130,82$$

$$\text{Veic.}(3) \quad \text{RCF} = ((592,38 + 75,00) \times 1,07) / 12 = 59,50$$

CUSTO FIXO (CF) = RC + SM + SO + RV + RE + LC + SV + SE + RCF

$$\begin{aligned} \text{Veic.}(1) &= 1.063,25 + 1.242,69 + 211,11 + 2.500,79 + 1.500,47 + 375,12 + 94,79 + 1.056,85 + 42,39 + 100,45 \\ &= 8.187,91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Veic.}(2) &= 378,90 + 1.306,97 + 281,48 + 2.500,79 + 1.500,47 + 468,90 + 119,07 + 1.396,97 + 57,69 + 130,92 \\ &= 9.142,16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Veic.}(3) &= 794,60 + 945,97 + 0,00 + 2.500,79 + 1.500,47 + 375,12 + 74,12 + 598,47 + 33,46 + 59,50 \\ &= 6.882,50 \end{aligned}$$

Custo Variável

A) Peças, acessórios e materiais de manutenção (PM): Despesa que corresponde aos gastos com peças, acessórios e materiais de manutenção do veículo.

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{PM} = ((98.146,00 - 4.944,00) \times 0,01) / 1.610 = 0,58$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{PM} = ((127.283,00 - 9.656,00) \times 0,01) / 1.610 = 0,73$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{PM} = ((73.348,00 - 2.400,00) \times 0,01) / 1.610 = 0,44$$

B) Combustível (DC): Despesas com combustível para cada quilômetro percorrido pelo veículo.

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{DC} = 1,99 / 6,00 = 0,332$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{DC} = 1,99 / 4,00 = 0,497$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{DC} = 1,99 / 9,00 = 0,221$$

C) Lubrificantes do motor (LM): Despesas com a lubrificação interna do motor. Além da reposição total do óleo, deve-se considerar uma taxa de reposição a cada 1000 km.

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{LM} = 11,20 \times ((8,50 / 30.000) + (5,00 / 1.000)) = 0,059$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{LM} = 11,20 \times ((15,00 / 30.000) + (5,00 / 1.000)) = 0,062$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{LM} = 11,20 \times ((8,50 / 30.000) + (5,00 / 1.000)) = 0,059$$

D) Lubrificantes da transmissão (LT): Despesas realizadas com lubrificação da transmissão do veículo (diferencial e câmbio).

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{LT} = 13,20 \times (8,40 / 120.000) = 0,0009$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{LT} = 13,20 \times (14,25 / 120.000) = 0,0016$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{LT} = 0$$

E) Lavagem e graxas (LG): Despesas com lavagem e lubrificação externa do veículo.

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{LG} = 80,00 / 4.000 = 0,02$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{LG} = 100,00 / 4.000 = 0,025$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{LG} = 70,00 / 4.000 = 0,017$$

F) Pneus e recauchutagem (PR): Despesas resultantes do consumo dos pneus utilizados no veículo e também no equipamento.

$$\text{Veic.(1)} \quad \text{PR} = (1,20 \times (618,00 + 45,00 + 23,75) \times 6,00 + (185,00 \times 6,00)) / 120.000 = 0,05$$

$$\text{Veic.(2)} \quad \text{PR} = (1,20 \times (1.027,00 + 65,50 + 29,85) \times 6,00 + (27,00 \times 6,00)) / 225.000 = 0,04$$

$$\text{Veic.(3)} \quad \text{PR} = (1,20 \times (300,00 + 0,00 + 0,00) \times 6,00 + (120,00 \times 6,00)) / 65.000 = 0,04$$

CUSTO VARIÁVEL (CV) = PM+DC+LM+LT+LG+PR

$$\text{Veic.(1)} = 0,58 + 0,332 + 0,059 + 0,0009 + 0,02 + 0,05 = 1,04$$

$$\text{Veic.(2)} = 0,73 + 0,497 + 0,062 + 0,0016 + 0,025 + 0,04 = 1,35$$

$$\text{Veic.(3)} = 0,44 + 0,221 + 0,0005 + 0,00 + 0,04 = 0,70$$

CUSTO OPERACIONAL DE ENTREGA

$$C_R = \left(\frac{CF}{c \times d_t} \right) + D \times CV$$

D = Distância percorrida em cada roteiro de entrega;

c = Roteiros diário de entrega;

d_t = Dias trabalhados por mês;

CF = Custo fixo do veículo de entrega por mês, incluindo ajudantes, se for o caso;

CV = Custo variável por quilômetro do veículo

$$\text{Veic.(1)} = (8.187,91 / 1 \times 23) + 70,00 \times 1,04 = 428,80$$

$$\text{Veic.(2)} = (9.142,16 / 1 \times 23) + 70,00 \times 1,35 = 491,98$$

$$\text{Veic.(3)} = (6.682,50 / 1 \times 23) + 70,00 \times 0,70 = 339,54$$