

Roteirização de Veículos: uma abordagem conceitual do problema e suas aplicações

Bruno Samways dos Santos (UTFPR) bruno.samways@gmail.com

Isys Rodrigues Curcio (UTFPR) isys_curcio@hotmail.com

Tatiana Menna Ibedi (UTFPR) tatifucp@hotmail.com

Prof. Dr. João Luiz Kovaleski (UTFPR) kovaleski@utfpr.edu.br

Prof. Dr. Daniel Poletto Tesser (UTFPR) danieltesser@utfpr.edu.br

Resumo:

A Pesquisa Operacional engloba diversas áreas de estudo, buscando otimizar processos, planejamento da produção, logística, entre outros. Dentre essas áreas, encontra-se a roteirização ou roteamento de veículos, que busca basicamente em encontrar as rotas mais curtas e satisfazer ao mesmo tempo todos os pontos de destino com os recursos disponíveis (frotas e horários). Este artigo tem como **objetivo** identificar conceitos que envolvem o problema da roteirização e programação de veículos, destacando características, modelos de programação e **aplicações** feitas por autores pesquisadores da área. As **considerações finais** mostram que vários trabalhos foram realizados, nenhum deles é idêntico. As adaptações necessárias devem ser feitas de modo a solucionar o problema específico em questão.

Palavras chave: Roteirização, programação, modelagem.

Vehicle Routing: a conceptual approach of the problem and its applications

Abstract

The Operational Research involves several studies areas, trying to optimize processes, production planning, logistics, inter alia. Among these areas, there is the vehicle routing that seeks basically to find shorter routes and satisfy at the same time all the destiny points with the available resources (fleet and schedule). This paper **aims** to identify concepts about routing and vehicle scheduling, highlighting features, programming models and its **applications** made by researchers in this area. The **final remarks** show that many studies has been made, but none is identical. There are changes to be made to solve the specific problem in question.

Key-words: Routing, programming, modeling.

1. Introdução

A Pesquisa Operacional tem se destacado muito nas últimas décadas como uma aplicação quantitativa muito eficaz e até necessária para a otimização de sistemas de produção, logística, compras, vendas, escolha de projetos e outras áreas afins. Surgiu inicialmente com aplicações militares, porém atualmente abrange outros tipos de demandas e é essencial para o conhecimento e estudo de problemas que exigem grandes custos, *mix* ótimo de produção, designação de tarefas e pessoas, transportes de carga e pessoas (TAHA, 2008).

Toda organização necessita intrinsecamente de métodos, simples ou complexos, para a tomada de decisão. Quando o problema é simples e exigem apenas o conhecimento tácito das pessoas, não é necessário um estudo quantitativo aprofundado, analisando logicamente o processo de escolha de decisão. Problemas complexos exigem um estudo minucioso de todas as variáveis envolvidas e quais objetivos se deseja atingir para um determinado caso, requerendo estratégias mais sofisticadas para a procura da minimização do risco de falhas de interpretação e busca da melhor solução possível.

Um dos grandes problemas que a Pesquisa Operacional estuda é o problema básico de roteirização, caracterizado por Bodin (1990) como a necessidade de visitar clientes, partindo de um depósito com demandas conhecidas. Este tipo de problema desconsidera um alto número de restrições encontradas em problemas reais. Dantzig e Ramser (1959) foram os primeiros a publicarem sobre o Problema de Roteirização de Veículos (PRV), desde então é muito estudado, apresenta diversos tipos de problemas com um grande número de variáveis, podem dar origem a vários outros problemas a partir dos mesmos aspectos iniciais, adaptando-os de acordo com a necessidade de cada empresa requerente do modelo de otimização.

Para Cunha (2000), o problema de roteirização ou roteamento, originado do termo em inglês “*routing*”, consiste em determinar um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem respeitados por um veículo único ou de uma frota visando o atendimento de locais pré-determinados. O problema geral de roteirização foi originado do TSP – *Travelling Salesman Problem*, conhecido na língua portuguesa como o “Problema do Caixeiro Viajante” (TAHA, 2008). Este equivale a um único veículo o qual necessita visitar um conjunto de lugares no máximo uma vez apenas e retornando à origem, percorrendo o menor caminho possível (BODIN, 1975; BODIN; SALAMONE; 1988; BRAYSY; DULLAERT; NAKARI, 2009).

Este artigo tem como objetivo abordar de modo geral os conceitos e tipos de problemas de roteirização de veículos, citando e comparando alguns trabalhos realizados, identificando suas aplicações, estratégias adotadas e resultados obtidos. Primeiramente buscou-se definições básicas para a roteirização e características importantes, após os conceitos, as aplicações e pesquisas feitas foram citadas para observar os parâmetros envolvidos em problemas reais.

2. Definições

Para Cunha (2000), o roteamento é uma abordagem que engloba uma sequência de roteiros ou sequência de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota para o atendimento aos seus clientes. Atualmente é tratado como problema de múltiplos caixeiros viajantes. Um problema de roteirização considera o espaço e a geografia, porém quando entra o aspecto temporal, o problema completo é tratado como “roteirização e programação de veículos (BODIN et al., 1983; CUNHA, 2000).

Outro problema existe onde a roteirização se encaixa é o “problema do carteiro chinês”, que na verdade é muito semelhante ao do TSP. Para este caso, devem ser visitados extensões chamadas de arcos (arestas do grafo ao invés de nós, como é o caso do caixeiro), com condições similares ao problema do caixeiro viajante (DESROCHERS; LENSTRA; SAVELSBERGH, 1990).

Para atender a demanda, um roteirizador deve levar em conta (BARBOSA; 2005):

- Frota de veículos;
 - Espaço físico, depósitos e garagens;
-

- Mapa territorial;
- Demanda que deve ser satisfeita pelos veículos;
- Conjunto de clientes.

Segundo Marques (2007), problemas de roteirização de veículos podem ser classificados em diversas categorias e tipos. Os vários problemas diferem entre si em aspectos relacionados ao tipo de operação, ao tipo de carga, ao tipo de frota utilizada, a localização dos clientes, ao tipo de restrições, ao tipo de função objetivo, entre outros fatores.

Cunha (1997) já divide os problemas reais de roteirização relacionado com o ambiente de distribuição em dois grupos:

- Roteirização no meio urbano, quando o centro de distribuição e os clientes estão localizados no mesmo centro urbano; os percursos do roteiro são predominantemente urbanos;
- Roteirização intermunicipal, neste caso o centro de distribuição e os locais de entrega estão localizados em cidades distintas; os percursos do roteiro são predominantemente rodoviários.

Os problemas de roteirização em meio urbano tendem a ser mais complexos, em geral, do ponto de vista da sua natureza combinatória, uma vez que há um número maior de alternativas de caminhos e, conseqüentemente, de roteiros viáveis. Adicionalmente, há restrições à circulação de veículos, e incertezas quanto aos tempos de viagem.

Na distribuição intermunicipal (rodoviária), as distâncias entre pontos de atendimento, em geral, diferentes cidades, são geralmente longas, e podem ser determinadas a partir de dados facilmente acessíveis e disponíveis da malha rodoviária de interesse. A densidade da malha rodoviária é baixa face às distâncias a serem percorridas. Além disso, são menores as incertezas associadas às restrições e condicionantes de tráfego

Silva (2007) classifica o problema de roteirização em partes: função objetivo, restrições, variáveis de decisão.

Quadro 1 – Classificação dos problemas de roteirização

Função Objetivo	Restrições	Variáveis de decisão
<ul style="list-style-type: none">• Minimização de custos fixos (custo de circulação do veículo individualmente, salários dos motoristas, seguros, licenciamentos e taxas) e custos variáveis (pedágio e combustível);• Minimização da distância percorrida;• Minimização do número de veículos circulantes.	<ul style="list-style-type: none">• Capacidade dos veículos;• Demanda por horários;• Número de veículos disponíveis;• Limite de carga por tipo de veículo;• Carga/descarga de produto, embarque/desembarque por passageiro;• Tempo de espera;• Disponibilidade de estacionamento;• Atendimento afetivo da demanda;• Agenda de horários;• Tempo máximo de viagem;• Distância máxima	<ul style="list-style-type: none">• Quantidade de veículos a serem utilizados;• Rotas traçadas por veículo;• Qual o tipo de necessidade para cada cliente;• Quantidade transportada por veículo;• Tipo de carga (única ou múltiplas cargas);• Tipo de operação (entrega ou coleta);• Tipo de demanda (determinística ou estocástica);• Tipo de frota (homogênea ou heterogênea);• Garagem de frota (única

percorrida;	garagem ou várias garagens);
• Locais fixos de parada;	• Jornada de trabalho (duração, horários de pausa e permissão para viagens com mais de um dia de duração).
• Horários de início e término de viagem.	

Fonte: Adaptado de SILVA (2007)

O Quadro 1 mostra peculiaridades envolvidas em diversos problemas, onde a “mescla” de cada coluna do quadro caracteriza um problema de roteirização, complexo ou não, utilizando alguns dos seguintes métodos citados por Cunha (1997):

- Métodos exatos;
- Métodos heurísticos (apresenta um valor aproximado da solução ótima);
- Métodos “emergentes” (fundamentados em sistemas especialistas, métodos de busca).

Nos mais variados tipos de problemas em pesquisa operacional, existem as classes polinomiais (P) e não polinomiais (NP). A roteirização e seus derivados se encaixam dentro do problema NP-completo, não podendo ser solucionados desta forma em tempo polinomial. Belfiore e Yoshizaki (2006) citam que basicamente todos os problemas de roteirização de veículos são NP-difícil (não polinomial difícil). Por mais que o processamento dos computadores atuais esteja evoluindo muito rápido, nem estes poderiam resolver os problemas desta classe em um tempo razoável, e assim não são considerados “tratáveis” (BODIN et al., 1983).

Problemas como TSP e VRP são considerados problemas de otimização combinatória, sendo assim, o esforço computacional exigido para achar uma solução cresce exponencialmente com o tamanho do problema, definidos pela quantidade de lugares a serem visitados. Então faz-se necessário a utilização das chamadas “heurísticas” (BELFIORE, 2006).

Uma heurística pode ser descrito como um meio de se obter um modelo ou uma resposta de modo ótimo, porém sem a garantia de ser a melhor possível. Na visão de Hillier (2006), o processo heurístico determina uma “solução local” ótima, não uma “solução global” ótima devido ao número de iterações necessárias para se tentar achar o melhor resultado possível.

3. Aplicações

O TSP atualmente pode ser aplicado a variados tipos de problemas, não apenas à roteirização de veículos pura, podendo também ser utilizado de forma adaptada para linhas de montagem de componentes eletrônicos (HILLIER & LIEBERMAN, 2006; SOUZA apud CUNHA, 2000), organização de entregas de centros de distribuição (BELFIORE; YOSHIZAKI, 2006) programação de trens (FUGENSCHUH et. al., 2008) ou até programação de coletas seletivas (BRASILEIRO; LACERDA, 2008).

Fugenschuh (2007) aponta que os custos de roteirização são proporcionais ao número de veículos utilizados, quanto menor a frota implantada, maior é a demanda por veículos, o que acarreta mais custos nas operações e manutenção. Entretanto, estes custos são marginais em relação aos custos para manter os veículos em estoque. Assim, é necessária a análise da utilização da capacidade da frota a fim de se obter o ponto ótimo, atendendo a demanda e diminuindo os custos.

Belfiore (2006) destaca que são várias as siglas utilizadas para se designar um problema de roteirização e várias vezes confundem o leitor. Em seu trabalho, a autora montou um resumo

de diversas nomenclaturas utilizadas com suas características, como segue no Anexo 1. Muitos autores utilizam técnicas que utilizam em suas nomenclaturas palavras similares às citadas no Anexo.

Com relação aos trabalhos já realizados por pesquisadores da área, muitos trabalhos já fora, divulgados a nível internacional, porém periódicos e congressos a nível nacional ainda não se destacaram no problema de roteamento. Porém, para uma análise de aplicações, este trabalho buscou alguns artigos a nível nacional e internacional para exemplificar os problemas reais e como eles são tratados, separando-os em: problemas de entrega/coleta, problemas de frotas de aeronaves, problemas de atacado/varejo e problemas com frotas de ônibus.

Quadro 2 – Problemas de entrega/coleta

Autor (ano)	Descrição do trabalho	Métodos usados	Resultados
Brasileiro e Lacerda (2008)	Teve como objetivo a minimização da extensão total dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares na cidade de Ilha Solteira, São Paulo.	Utilizou-se Microsoft Excel para processamento de dados; <i>Software</i> TransCAD 3.2 para a roteirização.	Houve a diminuição de 41% na distância total percorrida e 68% do tempo total, aumentando a eficiência do processo.
Lin (2011)	Foi aplicado a um serviço de correio corporativo de uma empresa multinacional, com a intenção de minimizar o custo fixo e de viagens.	Incorporou o VRPPDTW; Heurística de dois estágios; Programação inteira mista.	Como resultado, minimizou-se os custos e aumentou o rendimento e alocação de recursos.
Hollis, Forbes e Douglas (2006)	O objetivo deste trabalho foi encontrar um conjunto de baixo custo de rotas de veículos horários para motoristas para o <i>Australia Post Mail</i> , na cidade de Melbourne.	Algoritmo heurístico por geração de colunas; Modelo baseado no MDSCVSP (<i>Multi-depot combined simultaneous vehicle and crew scheduling</i>).	Os planejadores estimaram uma redução em torno de 10% dos custos operacionais.
Johansson (2006)	Teve como proposta roteirizar um sistema de coleta de resíduos sólidos em Malmoe, na Suécia. Os dados foram obtidos em tempo real a partir de 3300 containers de reciclagem a partir de sensores instalados nos mesmos.	Modelo VSRP com demanda estocástica para comparar com a demanda estática; Heurística.	O modelo dinâmico mostrou menores custos operacionais, diminuição do tempo de coleta e distância de transporte e menos recipientes foram recolhidos quando comparado ao modelo estático.

Muitos estudos já foram realizados para problemas de coleta/entrega, tendo como principal característica a forma do “problema do carteiro chinês”, ou seja, os arcos devem ser visitados.

Quadro 3 – Problemas de frotas de aeronaves

Autor (ano)	Descrição do trabalho	Métodos usados	Resultados
Barnhart, Farahat e Lohatepanont (2009).	Fez-se uma nova modelagem para designar frotas de aviões para rotas ótimas, buscando o	SFAM (<i>Subnetwork Fleet Assignment Model</i>); Programação Linear Inteira Mista;	O modelo foi testado com base em dados de uma companhia aérea de grande porte nos Estados

	balanço entre a maior receita possível e a “tratabilidade” do problema.	Decomposição de Dantzig-Wolfe; Heurística simples.	Unidos, acrescentando a receita em até \$45 milhões anuais quando comparado aos modelos tradicionais.
Kontogiorgis e Acharya (1999).	Realizou-se um novo modelo de atribuição de frotas para suprir a demanda aumentada em finais de semana (250.000 passageiros), visando o menor custo operacional. Foi implementado na US Airways.	WFAM (<i>Weekend Fleet Assignment Model</i>); Baseado em Programação Inteira Mista com algumas condições impostas; Linguagem AMPL e utilização do <i>software</i> CPLEX;	WFAM produziu um remodelamento de frotas mais rentáveis, entre de \$8.000 a \$34.000 por final de semana. Demonstrou-se ao mesmo tempo consistente e com um retorno de renda muito bom.
Sherali e Zhu (2008)	Aplicou-se um modelo estocástico em dois estágios, priorizando no primeiro estágio o objetivo de maior peso (frotas prioritárias) e então o objetivo secundário (frotas restantes).	Utilizou o conceito de FAM; Programação Inteira Mista com demanda estocástica.	Testado sob diferentes demandas e com dados realistas, foi constatado uma projeção de aumento de lucro na faixa de \$120 milhões, utilizando um tempo de 4 a 12 horas computacionais para uma resposta aceitável.
Subramanian et al. (1994)	Estudo aplicado na Delta Airlines (pioneira no uso da FAM), visando colocar o avião certo, na hora certa e no lugar certo, incluindo vôos no interior dos EUA, México e Canadá.	Técnica chamada <i>Coldstart</i> , que é um programa por modelo linea inteiro misto para problemas em grandes escalas.	A implementação do modelo mostrou redução de custos significativos, sendo esperado uma diminuição de aproximadamente \$300 milhões nos próximos três anos seguintes.

Para o caso de aeronaves, os estudos já são bastante antigos e predomina o FAM, o qual foi desenvolvido justamente pela característica de frotas aéreas, porém envolvem uma grande quantidade de dados, por exemplo, entre 40.000 a 60.000 restrições.

Quadro 4 – Problemas de atacado/varejo

Autor (ano)	Descrição do trabalho	Métodos usados	Resultados
Corréa, Langevin e Rousseau (2007).	O objetivo do trabalho foi minimizar as janelas de tempo entre as tarefas de entrega e seus conflitos.	Programação Inteira Mista; VRPTW.	Solucinaram o problema existente no conflito entre entregas automatizadas.
Enomoto e Lima (2007)	Estudo realizado um grande atacadista, localizado na região Sul de Minas Gerais, para avaliar sua distribuição física. Relacionou-se aspectos práticos que cercam estas rotinas operacionais, baseados na literatura técnica	Utilizou os <i>softwares</i> MapInfo e Networks Routing;	Fez um comparativo entre a percepção da empresa a respeito da roteirização e a literatura, constatando que as duas visões ainda são divergentes, porém houve a racionalização do sistema de transporte e não a otimização da

Taniguchi e Shimamoto (2004).	especializada. Incorporou ao VRPTW um sistema dinâmico (em tempo real) aplicado a um problema de entregas de bens a clientes. Fez um comparativo entre o sistema fixo e o dinâmico.	VRPTW-F (fixo) e VRPTW-D (dinâmico); Algoritmos genéticos	mesma. O modelo diâmico diminui os custos em 3,7%, reduziu atrasos e diminui o tempo de coleta e entrega dos caminhões envolvidos, aliviando congestionamentos e diminuindo custos consequentemente.
Belfiore e Yoshizaki (2006)	Aplicou-se a roteirização com o objetivo de minizar o custo de entregas fracionadas em um dos maiores grupos varejistas do Brasil que abastece clientes em 2 estados.	Metaheurística; Heurística de inserção; HFVRP+VRPTW+VRPSD.	Os resultados apresentaram reduções de até 8% do custo total da operação.

Os problemas mostrados no Quadro 4 já são mais recentes e mais aplicados também no Brasil, uma vez que houve uma busca neste trabalho e existem algumas dissertações e teses que foram tornados em artigos em periódicos nacionais.

Quadro 5 – Problemas com frotas de ônibus

Autor (ano)	Descrição do trabalho	Métodos usados	Resultados
Swersey e Ballard (1984)	O objetivo inclui a minimização da frota de ônibus escolar satisfazendo as janelas de tempo. Posteriormente, foram usados dados oriundos da cidade de New Haven, Connecticut.	Programação Inteira Mista; Utilização do <i>software</i> da LINDO Systems; Relaxação de Lagrangian.	Os resultados diminuiram a frota de 37 ônibus, utilizados em 37 escolas e 102 rotas, para 30 ônibus, correspondendo a quase 20% da quantidade anterior.
Martínez e Viegas (2011)	Trabalho realizado em Lisboa, desenvolvendo novas rotas otimizadas para transporte de crianças especiais; podendo ser atribuídos a apenas uma única escola; apenas estudantes que morassem a mais de 6 minutos a pé da escola poderiam usufruir do sistema, entre outros aspectos.	SBRP (<i>School Bus Routing Problem</i>); Programação Linear Inteira Mista.	O modelo aplicado resultou em soluções exatas para problemas de médio porte com uma única escola.
Hasan e Al Hammad (2010)	Trabalho realizado no transporte público interurbano da Arábia Saudita, envolvendo 5 origens e 4 destinos entre três cidades, sendo desconsideradas viagens interestaduais e internacionais.	Programação Linear Inteira adaptada do modelo utilizado na American Airlines (FAM).	Após implementação do modelo, da frota total de 328 ônibus, apenas 274 eram necessários para cobrir as viagens, havendo uma economia na rede de transporte em torno de \$4,4 milhões/ano.

Matta e Petters (2009)	A pesquisa englobou o sistema de roteirização em um transporte público interurbano na Índia, visando a distribuição de motoristas para as suas jornadas de trabalho.	Programação binária; Algoritmo de geração de colunas; Procedimento “busca-tabu”; Procedimento <i>branch-and-price</i> ;	Os resultados implicaram numa redução de custo total por trabalhador em 16% para um envolvimento de até 10 cidades com motoristas trabalhando com cargas horárias flexíveis, ou seja, sem obrigatoriedade de cumprir todos os dias as horas máximas de trabalho.
------------------------	--	---	--

O Quadro 5 demonstra problemas relacionados às frotas de ônibus que podem incluir: ônibus escolares, interurbanos, de linhas municipais, voltado às pessoas de necessidades especiais e outras aplicações particulares.

Considerações Finais

Esta pesquisa teve como objetivo o levantamento de algumas características que permeiam o problema de roteirização, questões avançadas, suas aplicações e investigação de trabalhos aplicados em diversos setores da economia.

Para ajudar na tomada de decisão, inúmeros *softwares* foram lançados de maneira a auxiliar o tomador de decisão em seu trabalho. No entanto, como todo sistema de tomada de decisões, os programas devem ser alimentados com dados corretamente coletados e isso demanda a necessidade da formulação detalhada da malha de rotas possíveis, além é claro de todos os recursos, como funcionários, veículos, horários de partida e chegada, demanda de clientes (passageiros) e produtos (coleta). Os objetivos e as malhas para o transporte devem ser estabelecidos claramente para evitar futuros conflitos na modelagem e resolução dos problemas.

A título de curiosidade, fez-se uma busca com palavras-chave “roteamento” e “roteirização” na base de dados acadêmicos “Scielo”, encontrando ao todo 13 e 8 artigos respectivamente, mostrando poucos trabalhos realizados na área referentes aos periódicos nacionais quando comparado à busca feita na base “ScienceDirect” com a palavra-chave “vehicle routing” para limitar a pesquisa, encontrando em torno de 4.189 artigos nos principais periódicos da área de computação, pesquisa operacional e transportes. Verificou-se também um menor número de trabalhos na área de roteirização voltada às frotas de veículos interurbanos.

Referências

- BARBOSA, J. M. R.; **Aplicação de uma abordagem adaptativa de busca tabu a problemas de roteirização e programação de veículos**. UFSCar. Dissertação de Mestrado. Centro de ciências exatas e de tecnologia. Junho de 2005.
- BARNHART, C.; FARAHAT, A. & LOHATEPANONT, M. Airline Fleet Assignment with Enhanced Revenue Modeling. **Operations Research**, v. 57, n. 1, p: 231-244, fev. 2009.
- BELFIORE, Patrícia Prado. **Scatter Search para problemas de roteirização de veículos com frota heterogênea, janelas de tempo e entregas fracionadas**. 2006. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
-

- BELFIORE, Patrícia Prado; YOSHIKAZI, Hugo Tsugunobu Yoshida. Scatter Search para problemas de roteirização de veículos com frota heterogênea, janelas de tempo e entregas fracionadas. **Produção**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 455-469, set./dez. 2006.
- BODIN, Lawrence D. et. al. Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. **Computers & Operations Research**, v. 10, n. 2, p. 63-211, 1983.
- BODIN, Lawrence D.; SALAMONE, Daryl J. The development of a microcomputer based system for vehicle routing and scheduling and its use for solving spatial and temporal problems. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 11, n. único, p. 558-562, 1988.
- BRASILEIRO, Luzenira Alves; LACERDA, Márcio Gonçalves. Análise do uso de SIG no roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 356-360, out./dez. 2008.
- BRAYSY, Olli; DULLAERT, Wout; NAKARI, Pentti. The potential of optimization in communal routing problems: case studies from Finland. **Journal of Transport Geography**, v. 17, n. 6, p. 484-490, nov. 2009.
- CORRÉA, Ayoub Insa; LANGEVIN, André; ROUSSEAU, Louis-Martin. Scheduling and routing of automated guided vehicles: A hybrid approach. **Computers & Operations Research**, v. 34, n. 6, p. 1688-1707, jun. 2007.
- CUNHA, Claudio Barbieri. **Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais**. 1997. 222f. Tese (Doutorado) - EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, 1997.
- CUNHA, Claudio Barbieri. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais”, **Revista Transportes da ANPET – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes**, v.8, n.2, p.51-74, nov. 2000.
- DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. The Truck Dispatching Problem. **Management Science**, 6(1):80-91, 1959.
- DESROCHERS, M.; LENSTRA, J. K.; SAVELSBERGH, M. W. P. A classification scheme for vehicle routing and scheduling problems. **European Journal of Operational Research**, v. 46, n. 3, p. 322-332, jun. 1990.
- ENOMOTO, Leandro Minoru; LIMA, Renato da Silva. Análise da distribuição física e roteirização em um atacadista. **Produção**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 94-108, jan./abr. 2007.
- FUGENSCHUH et al. Scheduling Locomotives and Car Transfers in Freight Transport. **Transportation Science**, v. 42 n. 4, p. 478-491, nov. 2008.
- FUGENSCHUH, A. Solving a school bus scheduling problem with integer programming. **European Journal of Operational Research**, v. 193, p: 867-884, nov. 2007.
- HILLIER, Frederick S., LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8 ed., São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- HOLLIS, B. L.; FORBES, M. A.; DOUGLAS, B. E. Vehicle routing and crew scheduling for metropolitan mail distribution at Australia Post. **European Journal of Operational Research**, v. 173, n. 1, p. 133-150, ago. 2006.
- JOHANSSON, Ola M. The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system. **Waste Management**, v. 26, n. 8, p. 875-885, 2006.
- LIN, C. K. Y. A vehicle routing problem with pickup and delivery time windows, and coordination of transportable resources. **Computers & Operations Research**, v. 38, n. 11, p. 1596-1609, nov. 2011.
- MARQUES, Vitor José Azevedo; LEAL, José Eugênio (Orientador). **Método heurístico de distribuição. Estudo de caso: distribuição de sementes a partir de um Centro de Distribuição**. Rio de Janeiro, 2007. 102p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- MARTÍNEZ, Luis M.; VIEGAS, José M. Design and Deployment of an Innovative School Bus Service in Lisbon. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 20, n. único, p. 120-130, 2011.
- SILVA, Rodrigo Casado Oliveira. **Avaliação da implantação de softwares de roteirização de veículos**. PUC-Rio. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Industrial. Agosto de 2007.
- SWERSEY, Arthur J.; BALLARD, Wilson. Scheduling School Buses. **Management Science**, v. 30, n. 7, p. pre-1986, jul. 1984.
-

ANEXO 1 – Classificação dos principais problemas de roteirização (Adaptado de Belfiore, 2006)

Siglas	Número roteiros	Localização dos clients	Tipo de demanda	Restrições	Variáveis de decisão	Tipo da Frota	Número de veículos
<i>TSP</i>	1	Nós	Determinística	-	Roteiros de entrega	1 veículo	Limitado
<i>CPP</i>	1	Arcos	Determinística	-	Roteiros de entrega	1 veículo	Limitado
<i>MTSP</i>	Múltiplos	Nós	Determinística	-	Roteiros de entrega	Homogênea	Limitado
<i>VRP</i>	Múltiplos	Nós	Determinística	Capacidade do veículo	Roteiros de entrega	Homogênea	Limitado
<i>MDVRP</i>	Múltiplos	Nós	Determinística	Capacidade do veículo	Roteiros de entrega	Homogênea	Limitado
<i>CARP</i>	Múltiplos	Arcos	Determinística	Capacidade do veículo	Roteiros de entrega	Homogênea	Limitado
<i>SVRP</i>	Múltiplos	Nós	Estocástica	Capacidade do veículo	Roteiros de entrega	Homogênea	Limitado
<i>VRPSD</i>	Múltiplos	Nós	Determinística	Capacidade do veículo	Roteiros de entrega Quantidade por cliente	Homogênea	Limitado
<i>FSVRP</i>	Múltiplos	Nós	Determinística	Capacidade do veículo	Roteiros de entrega e dimensão da frota	Homogênea	Ilimitado
<i>HFFVRP</i>	Múltiplos	Nós	Determinística	Capacidade do veículo	Roteiros de entrega	Heterogênea	Limitado
<i>FSMVRP</i>	Múltiplos	Nós	Determinística	Capacidade do veículo	Roteiros de entrega, dimensão e composição da frota	Heterogênea	Ilimitado
<i>PVRP</i>	Múltiplos	Nós	Determinística	Capacidade do veículo	Roteiros de entrega	Homogênea	Limitado
<i>TDVRP</i>	Múltiplos	Nós	Determinística	Capacidade do veículo Tempo dependente	Roteiros de entrega	Homogênea	Limitado
<i>VRPTW</i>	Múltiplos	Nós	Determinística	Capacidade do veículo Janela de tempo	Roteiros de entrega	Homogênea	Limitado
<i>VRPSTW</i>	Múltiplos	Nós	Determinística	Capacidade do veículo Janela de tempo flexível	Roteiros de entrega	Homogênea	Limitado
<i>DPD Dial-a-ride</i>	Múltiplos	Nós	Determinística	Capacidade do veículo Precedência entre tarefas	Roteiros de entrega	Homogênea	Limitado

LEGENDA:

TSP: Problema do Caixeiro Viajante **CPP:** Problema do Carteiro Chinês **MTSP:** Problema de Múltiplos Caixeiros Viajantes **VRP:** Problema Clássico de Roteirização de Veículos **MDVRP:** VRP com múltiplos caixeiros **CARP:** VRP com demanda em arcos **SVRP:** VRP com demanda estocástica **VRPSD:** VRP com entregas fracionadas **FSVRP:** VRP + dimensionamento de frota homogênea **HFFVRP:** VRP com frota homogênea **PVRP:** VRP periódico **TDVRP:** VRP com tempo dependente **VRPTW:** VRP com janelas de tempo **VRPSTW:** VRP com janelas de tempo flexíveis **PDP:** Problema de coleta e entrega (VRP + precedência)