

O PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS CARGA COMPLETA COM JANELAS DE TEMPO

Frederico Abou Mourad
Cláudio Barbieri da Cunha

Departamento de Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

Este artigo descreve um trabalho de mestrado em andamento que trata da roteirização de veículos carga completa com janelas de tempo, um problema de distribuição comumente encontrado em empresas. O problema é definido de forma bastante genérica, podendo ser aplicado em diferentes situações. O trabalho considera ainda a presença de uma frota de veículos dedicada e a contratação de frota *spot* para atendimento de viagens específicas. Para a resolução do problema está sendo desenvolvida uma heurística baseada em busca tabu.

ABSTRACT

This paper describes an in-progress master's research work related to vehicle routing with full truck loads and time windows constraints, a distribution problem commonly found in practice. The problem is described in a generic way, with potential application to different situations. The presence of a private-owned fleet as well as contracted vehicles is also considered. A heuristic based on tabu search is being developed for its solution.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Ballou (1998), o transporte usualmente representa, para a maioria das empresas, o elemento mais importante nos custos logísticos, podendo absorver de um a dois terços deste custo. Desta forma, num mercado competitivo, é fundamental que uma empresa possua um sistema de transporte eficiente, que garanta qualidade de serviço adequada a baixos custos, para se destacar no mercado. Na busca de sistemas de transporte mais eficientes, as empresas inevitavelmente se deparam com problemas de roteirização e programação de veículos.

A roteirização de veículos é, conforme apontou Assad (1988), uma das histórias de grande sucesso da Pesquisa Operacional nas últimas décadas. De acordo com Cunha (2000), esse interesse, que dura mais de 30 anos, decorre da combinação de dois fatores: a importância cada vez maior, no contexto logístico, dos problemas de roteirização e a sua complexidade matemática (problema combinatório, do tipo NP-difícil), o que torna impossível a obtenção de soluções ótimas para instâncias encontradas no mundo real, trazendo o desafio da busca de novas heurísticas mais eficientes.

Este trabalho de mestrado propõe a análise de um caso específico do problema de roteirização de veículos. Além da modelagem matemática do problema, o estudo propõe a adoção de um método heurístico baseado em busca tabu para a resolução do mesmo e sua aplicação a um caso real.

2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

No problema estudado a demanda de transporte é dada na forma de viagens origem/destino, sendo que a ocupação do veículo não é considerada pelo modelo. Para cada viagem é indicado ainda o dia em que a carga deve estar no local de entrega.

Cada um dos locais possui um horário de funcionamento e um tempo de atendimento (coleta/entrega). As janelas horárias são tratadas de forma restritiva, ou seja, caso o veículo se apresente em um local fora do horário de funcionamento, o mesmo irá esperar até o horário

permitido para iniciar o atendimento. Todo o atendimento é iniciado e finalizado no mesmo dia.

A frota é homogênea, porém são consideradas duas formas de contratação: uma frota dedicada, com remuneração mensal e uma frota contratada de maneira *spot*, com pagamento por viagem. A grande diferença entre elas encontra-se no custo de reposicionamento da frota.

O reposicionamento de um veículo está ligado ao percurso realizado entre viagens. Quando um veículo atende a duas viagens, o caminho entre o destino da primeira e a origem da segunda viagem é percorrido sem nenhum transporte de carga, gerando custos improdutivos. Estes custos são contabilizados no caso de veículos dedicados, enquanto que no caso de veículos *spot* este custo não é destacado. Em contrapartida, o custo da viagem produtiva de um veículo *spot* é maior que o de um veículo dedicado por considerar um tempo de busca de carga de retorno.

O modelo considera no início do horizonte de planejamento, a localização atual dos veículos da frota dedicada, bem como o horário em que estarão disponíveis. Além disso, cada um deles pode, se necessário, fazer uma parada para manutenção e limpeza em data e local determinados.

O objetivo do problema é determinar quais viagens são atendidas por quais veículos, bem como a programação dos mesmos, de forma a atender toda a demanda ao menor custo total de transporte, respeitando as restrições de atendimento (janelas horárias, datas de entrega) e operacionais (manutenção e limpeza).

Em geral o problema é resolvido com uma certa frequência e um horizonte de planejamento fixo. Por exemplo, pode-se resolver o problema diariamente, considerando um horizonte de planejamento semanal ou quinzenal. A decisão relacionada às movimentações programadas para o primeiro dia do horizonte poderia ser operacionalizada; no dia seguinte o problema seria novamente resolvido, considerando as decisões anteriores que não podem ser modificadas, em função dos veículos já estarem executando as viagens programadas, e as novas demandas que eventualmente apareceram durante o dia, conferindo ao modelo um caráter dinâmico.

A definição do problema foi planejada e desenvolvida de forma a abranger diversas situações práticas. Como exemplo de aplicações pode-se citar, entre outras:

- uma transportadora que possui frota própria e agregados ou sub-contratados para atender as solicitações de transporte;
- um embarcador que possua ou contrate alguma frota dedicada para atender seus clientes;
- o transporte colaborativo entre dois embarcadores;
- a programação de cavalos mecânicos para atender as solicitações de transporte e reposicionamento de contêineres vazios.

3. ESTRATÉGIAS DE SOLUÇÃO DESCRITAS NA LITERATURA

Souza (1999) trata este problema de forma exata em sua dissertação de mestrado dividindo-o em duas etapas. A primeira etapa consiste em gerar todos os roteiros viáveis e seus custos

associados. Na segunda etapa, com posse de todos os roteiros viáveis e seus respectivos custos associados gerados na primeira etapa, são selecionados os melhores roteiros, resolvendo-se um problema de programação linear do tipo partição de conjunto (*Set Partitioning Problem*), buscando a minimização dos custos.

Em sua dissertação de mestrado, Stringher (2004) considera a designação de rotas (viagens origem/destino) a veículos de frota própria ou dedicada. A designação é feita de forma que a conjugação destas rotas forme ciclos fechados, visando minimizar custos de transporte. A metodologia é similar à apresentada por Souza (1999), possuindo uma fase de enumeração de viagens possíveis e uma seguinte de escolha do melhor conjunto de alternativas que supram a demanda ao menor custo possível.

Quando aplicados a casos com demandas existentes em muitas origens e destinos, a primeira fase da metodologia gera uma grande quantidade de roteiros viáveis, inviabilizando o processamento da segunda etapa de solução. Stringher (2004) mostra inclusive a regra de formação destes roteiros, ou seja, dado o número de origens e destinos, qual a quantidade de roteiros viáveis existentes. Para contornar este problema, Souza (1999) recomenda a utilização de uma heurística que faça uma seleção prévia dos roteiros ou a implementação de um procedimento mais eficiente (sugere como exemplo o método de geração de colunas) para resolução da segunda etapa do problema. Embora ambas metodologias apresentadas fornecerem a solução ótima, não se mostram eficientes na resolução de problemas de grande porte.

Em Ball *et al.* (1983), são apresentados três métodos de solução aproximados para um problema semelhante. O problema por eles estudado é de nível tático-operacional, incorporando ao problema aqui proposto uma decisão a respeito do tamanho da frota própria a ser alocada para a operação de distribuição de uma empresa. Dessa forma, são comparados os custos relativos a um veículo próprio com os custos de um serviço terceirizado para o atendimento de cada demanda. Apesar de existirem restrições de janelas de atendimento, estas foram desconsideradas nas metodologias propostas, pois eram pouco restritivas. Para contemplá-las, pequenos ajustes são realizados ao final do procedimento a fim de viabilizar as soluções encontradas.

4. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta inclui duas fases distintas, uma de construção da solução inicial viável para o problema e outra de melhoria desta solução.

4.1. Construção da Solução Inicial

O objetivo desta etapa é criar uma solução que atenda as restrições impostas para servir como base do processo de melhoria de solução.

Para isso, pretende-se implementar algumas heurísticas de inserção rápidas, baseadas, por exemplo, nas heurísticas de Solomon (1987) adaptando-as para atender as restrições impostas.

Nestas heurísticas, as viagens são inseridas uma a uma na solução, visando apenas a otimização local, ou seja, a melhor inserção possível na solução atual. Assim, cada inserção não considera o impacto que pode causar nas inserções seguintes e por isso são também

classificadas como heurísticas míopes. Em geral constroem soluções de qualidade mediana a um custo computacional excessivamente baixo.

4.2. Melhoria da Solução

Através de heurísticas de busca, a intenção desta fase é a de melhorar a solução inicial criada, mantendo a viabilidade da solução.

Nas heurísticas de busca são utilizados movimentos, ou seja, operações que, aplicadas a uma solução, geram uma outra diferente que pode ou não ser viável. Através da aplicação constante destes movimentos, o algoritmo guia a busca de uma boa solução no espaço de soluções viáveis do problema.

O algoritmo escolhido foi a Busca Tabu (Glover, 1990; Glover e Laguna, 1993, 1997), metaheurística reconhecida pela excelente eficiência e eficácia no tratamento de problemas de roteirização. Laporte *et. al.* (2000) indicam a busca tabu como a metaheurística com resultados mais promissores na resolução de problemas de roteirização de veículos.

Provavelmente será implementada uma versão simples da metaheurística, considerando movimentos de inserção e simples troca. Para evitar a formação de ciclos, será utilizada uma memória de curto prazo com tempo tabu pré-definido.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Talvez pela aparente simplicidade do processo de distribuição de cargas completas, o problema aqui tratado ainda não foi amplamente explorado na literatura.

Como resultado do trabalho de mestrado espera-se desenvolver e implementar um modelo de solução para o problema proposto. O algoritmo gerado será ainda utilizado em um caso real, a fim de se medir o potencial de ganho oferecido pelo modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assad, A. A. (1988) Modeling and implementation issues in vehicle routing. In: Golden, B. L. e A. A. Assad (eds.) *Vehicle Routing: Methods and Studies*. North Holland, Amsterdam, p. 7-46.
- Ball, M. O.; B. L. Golden; A. A. Assad e L. D. Bodin (1983) Planning for truck fleet size in the presence of a common carrier option. *Decision Sciences*, v. 14, pp. 103-120.
- Ballou, R. H. (1998) *Business Logistics Management: Planning, Organizing and Controlling the Supply Chain*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Cunha, C. B. (2000) Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. *Transportes*, v. 8, n. 2, p. 51-74.
- Glover, F. (1990) Tabu search: a tutorial. *Interfaces*, v. 20, n. 4, p.74-94
- Glover, F. e M. Laguna (1993) Tabu search. In: Reeves, C. (ed.) *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. Blackwell, Oxford, UK.
- Glover, F. e M. Laguna (1997) *Tabu Search*. Kluwer Academic Publishers.
- Laporte, G.; M. Gendreau; J.Y. Potvin e F. Semet (2000). Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem, *International Transactions in Operational Research*, v. 7, n. 4/5, pp. 285-300.
- Solomon, M. (1987) Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints, *Operations Research*, v. 35, n. 2, pp. 254-265.
- Souza, E. C. (1999) *Modelagem e Resolução de um Problema de Transporte do Tipo: "Carga Única – Coleta e Entrega" com Janelas de Tempo*. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.
- Stringher, F. G. (2004) *Designação de Rotas para Frota Dedicada em uma Rede de Distribuição de Linha Branca*. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes.