RESOLVENDO O PROBLEMA DO DIMENSIONAMENTO E ALOCAÇÃO DINÂMICA DE VEÍCULOS NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS

Rejane Arinos Vasco
Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Engenharia de Produção
Rod. Washington Luís, Km 235 – São Carlos, SP CEP 13565-905
rejanearinos@uol.com.br

Reinaldo Morabito Neto
Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Engenharia de Produção
Rod. Washington Luís, Km 235 – São Carlos, SP CEP 13565-905
morabito@ufscar.br

RESUMO

Este trabalho trata do problema do dimensionamento e da alocação dinâmica de veículos no transporte rodoviário de cargas completas entre terminais, sendo esse problema pertencente à classe de problemas de alocação dinâmica de recursos e consiste em definir "movimentos" de uma frota de veículos que realiza viagens entre terminais geograficamente dispersos que interagem entre si. Estes movimentos podem ser: veículos carregados, veículos vazios para reposicionamento, ou veículos mantidos em um terminal como provisão para o atendimento de demandas futuras. São propostos dois modelos matemáticos, sendo o primeiro deles para representar o problema estritamente de alocação dinâmica de veículos, e outro que, além de realizar a alocação de veículos, também modela o problema do dimensionamento da frota necessária para operação. São apresentados ainda experimentos computacionais para teste dos modelos propostos em problemas de tamanho e complexidade similares aos encontrados na prática. Os resultados preliminares obtidos com a abordagem são promissores.

PALAVARAS CHAVE. Alocação de veículos, Dimensionamento de frotas, Otimização multi-período.

Área principal: L&T - Logística & Transportes

ABSTRACT

This work deals with the problem of fleet sizing and dynamic vehicle allocation problem in truckload trucking transportation between terminals. This problem belongs to the class of dynamic resource allocation and aims to define the "movements" of a fleet of vehicles traveling between geographically disperse terminals that interact between them. These movements can be: full loaded movements, empty movements for fleet repositioning, or vehicles kept in stock in one terminal as a provision for future demands. We propose two mathematical models, the first one to represent only the vehicle allocation problem, and the second one not only models the vehicle allocation problem, but also the fleet sizing problem. Computational experiments are presented using randomly generated problems with size and complexity similar to real world problems. The preliminary results using this approach are promising.

KEYWORDS. Freight car allocation, Fleet sizing, Multi-periodic optimization.

Main area: L&T - Logística & Transportes

1. Introdução

Este artigo se propõe a apresentar modelos matemáticos que podem apoiar as decisões na gestão de frotas de empresas prestadoras de serviços de transporte rodoviário de cargas. Em particular, na otimização do uso de veículos nos transportes de transferências de cargas entre terminais, envolvendo veículos de média e grande capacidade, tendo como fator crítico e determinante a maximização da utilização dos recursos nas operações. Vários problemas operacionais, em especial o gerenciamento da frota de transferência, consistem em dinamicamente alocar recursos limitados às requisições de tarefas.

Especificamente, este trabalho trata do problema do dimensionamento e da alocação dinâmica de veículos no transporte rodoviário de cargas completas entre terminais. Esse problema pertence à classe de problemas de alocação dinâmica de recursos e consiste em definir "movimentos" de uma frota de veículos que realiza viagens entre terminais geograficamente dispersos que interagem entre si. Estes movimentos podem ser: veículos carregados com carga completa, veículos vazios para reposicionamento, ou veículos mantidos em um terminal como provisão para o atendimento de demandas futuras. A ênfase é dada na caracterização do problema em situações reais, na modelagem matemática do problema e na solução do mesmo utilizando técnicas de pesquisa operacional.

São propostos dois modelos matemáticos, sendo o primeiro deles para representar o problema estritamente de alocação dinâmica de veículos, e outro que, além de realizar a alocação de veículos, também modela o problema do dimensionamento da frota necessária para operação. São apresentados ainda experimentos computacionais para teste dos modelos propostos, utilizando-se problemas com dados gerados aleatoriamente, de tamanho e complexidade similares aos encontrados na prática. Os resultados ainda preliminares obtidos com a abordagem são promissores.

2. O problema do dimensionamento e alocação dinâmica de veículos na literatura

O trabalho de Powell, Sheffi e Thiriez (1984) foi um dos primeiros trabalhos na literatura que estudou o problema de alocação dinâmica de veículos para o transporte rodoviário de cargas. Foi apresentado um modelo dinâmico não linear, levando em conta as incertezas nas previsões de demanda.

Powell (1986) refinou e estendeu o modelo apresentado em Powell, Sheffi e Thiriez (1984) e incorporou incertezas na quantidade de veículos mantidos em estoque, permitindo que veículos ociosos permanecessem em estoque. As decisões foram representadas em uma rede espaço–tempo, onde cada nó i representou uma região em um dado ponto no tempo, sendo o problema resolvido utilizando-se o algoritmo de Frank-Wolfe.

Powell (1987) apresentou um modelo alternativo que pode ser usado em ambiente operacional, na determinação de como gerenciar uma frota de veículos, definindo se certas cargas devam ser aceitas ou rejeitadas por meio de análise da margem de contribuição em enviar veículos vazios em atendimento a uma demanda futura, ou aguardar em uma determinada região de um período a outro.

Powell (1988) revisou o problema de alocação dinâmica de veículos no contexto de transporte de cargas completas por caminhões, com atenção especial ao despacho e reposicionamento de caminhões em antecipação a demandas futuras previstas. O autor afirmou ainda que os modelos determinísticos, apesar de serem mais simples, são viáveis na prática.

Powell et al. (1988) apresentaram uma aplicação prática em uma transportadora de carga completa nos Estados Unidos, tratando do problema de alocação dinâmica de veículos e de motoristas, incorporando incertezas na demanda futura por transportes.

Frantzeskakis e Powell (1990) estudaram o problema estocástico de alocação dinâmica de veículos, tratando as incertezas de demanda, e modelaram matematicamente como um problema de programação estocástica. Os autores desenvolveram uma heurística para solução do problema e compararam os resultados obtidos com várias aproximações determinísticas.

Braklow et al. (1992) apresentaram um modelo interativo de otimização em larga escala, chamado pelos autores de SYSNET, com objetivo de definir o roteamento da carga parcelada em uma rede de transporte, e também o reposicionamento de veículos vazios para responder ao desbalanceamento da demanda. O modelo foi aplicado em uma empresa americana de transporte de carga parcelada, Yellow Freight.

Powell, Jaillet e Odoni (1995) aprofundaram e estenderam o estudo do problema de alocação dinâmica de veículos e consideraram três tipos de atividades dos veículos: movimento cheio, movimento vazio e aguardando (sem operação). Os autores apresentaram ainda uma formulação básica do problema, expresso como uma rede dinâmica para um único tipo de veículo, e também para múltiplos tipos de veículos.

Powell (1996) revisou o problema de alocação dinâmica aplicado nas áreas de logística e transporte. O trabalho focou no transporte de longa distância com designações de veículos a cargas em tempo real.

Powell e Carvalho (1998a, 1998b) modificaram a formulação introduzida por Powell, Jaillet e Odoni (1995) para tratar um problema de gerenciamento de frota, chamado de *Logistics Queueing Network* (LQN). Apresentaram soluções com desvios mínimos do ótimo global, com maior flexibilidade para representar situações reais, superando *softwares* genéricos para solução de problemas de programação linear.

Outros estudos relacionados ao problema de dimensionamento e alocação dinâmica de veículos podem são apresentados em Dejax e Crainic (1987), Hall (1999), Hall e Zhong (2002), e Ghiani, Laporte e Musmanno (2003).

Até onde se pode pesquisar, não foi encontrado na literatura nenhum trabalho que estudou simultaneamente o problema de dimensionamento e alocação dinâmica de veículos no nível de decisão tático ou estratégico, não sendo também encontrada nenhuma aplicação para o transporte rodoviário de cargas no Brasil.

O único trabalho, para o modal ferroviário, que tratou simultaneamente do problema de dimensionamento e alocação dinâmica de veículos foi Beaujon e Turnquist (1991) que propuseram um modelo matemático para tratar simultaneamente problemas de alocação dinâmica de veículos com problemas do dimensionamento da frota para o atendimento da demanda.

Todos os trabalhos anteriormente desenvolvidos que trataram do problema da alocação dinâmica de veículos assumiam a quantidade de veículos a ser utilizada como um dado do problema, e focaram no uso eficiente desta quantidade fixa de veículos. Uma revisão bibliográfica mais abrangente sobre o problema de dimensionamento e alocação dinâmica de veículos pode ser visto em Vasco (2011).

3. Modelos matemáticos

Para o correto entendimento dos modelos matemáticos, são definidos os conjuntos, parâmetros e variáveis de decisão utilizadas.

Conjuntos:

- N: conjunto de terminais da rede de transporte;
- E: conjunto de tipos de veículos, que possuem a mesma capacidade de carga para transporte, porém com diferentes parâmetros de custo e restrições de circulação, por exemplo.
- T: conjunto de períodos do horizonte de planejamento;

Parâmetros:

- τ_{ij}: tempo de viagem, em períodos, entre terminais os terminais i e j, $i \in N,\ j \in N$;
- d_{ijt}: demanda por transporte de cargas, de i para j, no período t, $i \in N,\ j \in N, t \in T$;
- p_{ij}: lucro (receita – custos operacionais diretos) obtido ao se realizar a rota do terminal de origem i para o terminal de destino $j,\ i \in N, j \in N$;
- c_{ij}^{v}: custo de deslocamento vazio de veículos do tipo v, de o terminal de origem i para o terminal de destino $j, i \in N,\ j \in N, v \in E$;

– C^v: custo fixo ao se adicionar um veículo do tipo v ao sistema, $v \in E$;
– $\bar{m}_{it}^v$: posicionamento atual dos veículos existentes no sistema, representando a quantidade de veículos do tipo v existentes no terminal i no período t, $v \in E$, $i \in N$, $t \in T$;
– A_{ij}^v: parâmetro binário sendo igual a 1 se o veículo do tipo v pode realizar o percurso do terminal de origem i para o terminal de destino j, ou zero caso contrário, $i \in N$, $j \in N$, $v \in E$.

Variáveis de decisão:
– X_{ijt}^v: fluxo de veículos cheios do tipo v usados para satisfazer a demanda d_{ijt}, $i \in N$, $j \in N$, $t \in T$, $v \in E$;
– Y_{ijt}^v: fluxo de veículos vazios do tipo v movimentados do terminal de origem i para o terminal de destino j no período t, $i \in N$, $j \in N$, $t \in T$, $v \in E$;
– m_{it}^v: quantidade de veículos do tipo v a serem inseridos no sistema no terminal i no período t, $i \in N$, $t \in T$, $v \in E$. No primeiro modelo aqui apresentado esta variável foi tratada como parâmetro de entrada.

3.1 Modelo para alocação dinâmica de veículos (M_1)

O modelo nomeado de M_1 realiza exclusivamente a alocação dinâmica de veículos, assumindo a frota como dada. Considerando os conjuntos, parâmetros e variáveis de decisão já definidos, o modelo matemático M_1 para representar o problema de alocação dinâmica de veículos pode ser definido como:

$$\max \mathcal{Z}_1 = \sum_{i \in N} \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} \sum_{t \in T} \sum_{v \in E} \left(p_{ij} X_{ijt}^v - c_{ij}^v Y_{ijt}^v \right) \tag{3.1}$$

sujeito à:

$$\sum_{j \in N} (X_{ijt}^v + Y_{ijt}^v) - \sum_{\substack{k \in N \\ k \neq i \\ t > \tau_{ki}}} (X_{ki(t-\tau_{ki})}^v + Y_{ki(t-\tau_{ki})}^v) = m_{it}^v + Y_{ii(t-1)}^v, \quad \forall i \in N \ , \ \forall t \in T \ , \ \forall v \in E \tag{3.2}$$

$$\sum_{v \in E} X_{ijt}^v \leq d_{ijt} \qquad \forall i,j \in N \ , \ \forall t \in T \ , \tag{3.3}$$

$$X_{ijt}^v = 0, \text{ se } A_{ij}^v = 0, \ \ \forall i,j \in N, \quad \forall t \in T, \quad \forall v \in E \tag{3.4}$$

$$Y_{ijt}^v = 0, \text{ se } A_{ij}^v = 0, \ \ \forall i,j \in N, \quad \forall t \in T, \quad \forall v \in E \tag{3.5}$$

$$X_{ijt}^v, \ Y_{ijt}^v, \ inteiros, \quad \forall i,j \in N, \quad \forall t \in T, \quad \forall v \in E \tag{3.6}$$

A função objetivo (3.1), visa maximizar a diferença entre a receita obtida com o transporte de cargas (movimentos cheios), e o custo ao se deslocar veículos vazios para reposicionamento. A restrição (3.2) impõe a conservação de fluxo no início de cada período, enquanto que a restrição (3.3) assegura que o número de movimentos carregados seja menor ou igual a demanda. Como consequência, temos que as diferenças $\sum_{v \in E} x_{ijt}^v - d_{ijt}$, $\forall i,j \in N$, $t \in T$, representam as cargas rejeitadas, ou não atendidas. As variáveis Y_{iit}^v, $i \in N$, $t \in T$, $v \in E$, representam a quantidade de veículos do tipo v que permanecem ociosos no nó i de um período a outro, sendo também conhecidos como movimentos de "estoque" ou "inventário" de veículos.

As restrições (3.4) e (3.5), visam garantir que veículos de um dado tipo transitem, cheios ou vazios, em somente um determinado conjunto de percursos. Essas restrições são relevantes do ponto de vista prático, pois permitem direcionar um determinado grupo de veículos a realizarem um subconjunto de rotas. Por exemplo, direcionar veículos agregados a rotas que possuam frete de retorno. Convém salientar que estas restrições podem ser substituídas por simples procedimentos de fixação de variáveis, disponíveis nos pacotes de otimização.

3.2 Modelo de dimensionamento da frota necessária para operaçaõ (M_2)

No modelo M_1 pode ocorrer demandas não atendidas ou rejeitadas. Uma abordagem alternativa para o problema seria: dado um determinado conjunto de cargas a serem transportadas (demandas a serem atendidas), com seus percursos e períodos definidos, e veículos previamente posicionados, o problema pode ser o de dimensionar a quantidade, posição e período de veículos adicionais, necessários para que todas as demandas sejam atendidas.

Inspirado no trabalho de Beaujon e Turnquist (1991) é proposto a seguir, um modelo matemático para representar o problema de dimensionamento da frota e alocação dinâmica de veículos. Esse modelo permite que questões importantes de planejamento sejam respondidas, como: (i) como e onde os veículos devem ser alocados / distribuídos, (ii) quais os tamanhos desses agrupamentos de veículos e em quais períodos, e (iii) como os veículos devem ser alocados entre movimentos cheios, vazios e agrupamentos.

No modelo M_2, o parâmetro m_{it}^v, $i \in N$, $t \in T$, $v \in E$, passou a ser, portanto, uma variável de decisão. É introduzido o parâmetro C^v, $v \in E$, para representar o custo fixo ao se alocar um veículo do tipo v ao sistema, e, o posicionamento atual dos veículos existentes no sistema é representado pelo parâmetro $\bar{m}_{it}^v$, $i \in N$, $t \in T$, $v \in E$. Assumindo os parâmetros e variáveis já definidos anteriormente, o modelo M_2 pode ser escrito como:

$$\min \mathcal{Z}_2 = \sum_{i \in N} \sum_{t \in T} \sum_{v \in E} \left(C^v (m_{it}^v - \bar{m}_{it}^v) \right) + \sum_{i \in N} \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} \sum_{t \in T} \sum_{v \in E} c_{ij}^v Y_{ijt}^v \tag{3.7}$$

sujeito à:

(3.2), (3.4), (3.5), (3.6),

$$\sum_{v \in E} X_{ijt}^v = d_{ijt} \qquad \forall i, j \in N \quad , \forall t \in T \tag{3.8}$$

$$m_{it}^v \geq \bar{m}_{it}^v \qquad \forall i \in N \quad , \forall t \in T, \quad \forall v \in E \tag{3.9}$$

$$m_{it}^v, \ inteiros, \quad \forall i \in N, \quad \forall t \in T, \quad \forall v \in E \tag{3.10}$$

A função objetivo (3.7), visa minimizar o custo fixo ao se alocar veículos para a operação, adicionado aos custos variáveis associados ao deslocamento de veículos vazios. A restrição (3.2) é a equação de balanço de veículos para um dado terminal, em um determinado período e para cada tipo de veículo. As restrições (3.4)– (3.5), da mesma forma que no modelo M_1, visam garantir que veículos transitem somente em rotas permitidas, independente se o transporte é vazio ou carregado. Já a restrição (3.8), assegura que toda a demanda seja atendida, assumindo que a demanda não é restrita a um tipo específico de veículo. A restrição (3.9) assegura que os veículos já existentes no sistema, sejam considerados para o dimensionamento da frota.

4. Experimentos computacionais

Com a finalidade de se avaliar o desempenho dos modelos matemático propostos na solução de problemas de tamanho similar ao encontrado na prática, foi desenvolvido um programa utilizando a linguagem de programação C para gerar aleatoriamente problemas, tendo os seguintes parâmetros de entrada:

- 36 períodos (6 períodos de 4 horas cada, em 6 dias);
- 53 terminais;
- 300 percursos com cargas a serem transportadas, sendo em cada percurso até 10 cargas;
- 2 grupos de veículos (próprios e agregados);

– 130 ofertas de veículos, com o parâmetro $\bar{m}_{it}^{v}$ variando de 1 a 10 veículos, e $\sum_{i \in N} \sum_{t \in T} \sum_{v \in E} \bar{m}_{it}^{v} = 130$;

sendo esses valores inspirados em um problema real de uma empresa transportadora de carga parcelada pelo modal rodoviário operando no Brasil. Para os parâmetros:

– Capacidade dos terminais (K): foram gerados valores aleatórios entre 9 e 18, sendo esse um valor fixo para todos os terminais em todos os períodos;
– Penalização por *backlog* (h_{ijt}): foram gerados valores aleatórios entre 0,1 e 1,1, sendo esse um valor fixo para todas as demandas;
– Custo por tipo de veículo (C^{v}): sendo um valor aleatório entre 0,5 e 10,5;
– Custo de reposicionamento de veículos vazios (c_{ij}^{v}): valor aleatório entre 1 e 9;
– Tempo de viagem entre terminais (τ_{ij}): valor aleatório entre 1 e 19;
– O parâmetro A_{ij}^{v} foi fixado como sendo igual a 1 para todos os percursos e tipos de veículo (sem restrição).

Foram gerados aleatoriamente cinco problemas para cada modelo proposto, totalizando 25 problemas a serem resolvidos, utilizando os mesmos parâmetros descritos. Cada problema gerado foi resolvido utilizando o pacote de otimização CPLEX versão 11.1.1 (ILOG, 2008) para a obtenção da solução ótima dos problemas. A linguagem de modelagem AMPL (FOURER et al., 2002) foi utilizada para facilitar a interface entre os modelos e o CPLEX.

Os experimentos computacionais foram realizados em um *laptop* equipado com um processador Intel(R) Core(TM)2 Duo 2.20GHz (sendo que somente um processador foi utilizado), 4 GB de memória RAM e sistema operacional *Windows 7 Ultimate*.

Os resultados obtidos ao se resolver os problemas aleatórios gerados para cada modelo são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

M_1	Problema 1	Problema 2	Problema 3	Problema 4	Problema 5
Função Objetivo	2.533,00	2.267,00	2.180,00	2.915,00	1.726,00
Demanda atendida	205	168	162	215	128
Demanda não atendida	95	132	138	85	172
Movimentos cheios	205	168	162	215	128
Movimentos vazios	430	420	419	581	462
Movimentos de estoque	197	175	168	119	181
Tempo (s)	3,962	2,917	3,385	3,385	2,730
Qtd. de Variáveis	404.496	404.496	404.496	404.496	404.496
Qtd. de Restrições	509.436	509.436	509.436	509.436	509.436
Qtd. de Veículos	130	130	130	130	130

Tabela 1 : Resultados obtidos com as instâncias aleatórias geradas - M_1

M_2	Problema 1	Problema 2	Problema 3	Problema 4	Problema 5
Função Objetivo	432,17	158,73	390,83	111,02	233,17
Demanda atendida	300	300	300	300	300
Demanda não atendida	0	0	0	0	0
Movimentos cheios	300	300	300	300	300
Movimentos vazios	240	160	171	113	169
Movimentos de estoque	1.259	2.433	1.850	3.285	2.566
Tempo (s)	9,672	3,635	3,744	2,824	3,011
Qtd. de Variáveis	408.312	408.312	408.312	408.312	408.312
Qtd. de Restrições	513.252	513.252	513.252	513.252	513.252
Qtd. de Veículos	176	232	226	257	211

Tabela 2 : Resultados obtidos com as instâncias aleatórias geradas - M_2

Foram ainda gerados aleatoriamente problemas em que cada veículo pertence a um grupo diferente. Para isso fixou-se $|E| = 130$, e cada $m_{it}^v = \{0, 1\}$, $\forall i \in N$, $\forall t \in T$, $\forall v \in E$, satisfazendo:

$$\sum_{i \in N} \sum_{t \in T} \sum_{v \in E} m_{it}^v = |E|.$$

Em situações práticas pode ser necessário tratar individualmente cada veículo, em vez de separá-los em grupos, porém a complexidade para solução do modelo matemático deve crescer consideravelmente, em função do aumento do número de variáveis e restrições.

Foram utilizados os mesmos parâmetros apresentados anteriormente para gerar aleatoriamente os problemas, sendo que não foi possível encontrar a solução ótima em nenhum dos problemas gerados por conta da quantidade de memória necessária para o AMPL/Cplex.

5. Conclusões

Neste artigo foram apresentados modelos matemáticos para representar o problema de dimensionamento e alocação dinâmica de veículos, incluindo o reposicionamento de veículos vazios para o atendimento de demandas futuras. Foram descritos dois modelos, nomeados de M_1 e M_2, possuindo entre si, certa hierarquia no que diz respeito à complexidade e abrangência, no sentido de representarem de forma mais próxima os problemas similares aos encontrados na prática do transporte rodoviário de cargas no Brasil.

O modelo M_1 consistiu em: (i) dado um horizonte de planejamento finito composto de vários períodos, (ii) uma certa frota geograficamente dispersa com posicionamento e períodos conhecidos, e (iii) uma demanda de cargas completas a serem transportadas entre terminais nos períodos; definir as demandas a serem atendidas e os deslocamentos cheios e vazios de veículos, de tal forma a maximizar a diferença entre a receita líquida apurada no transporte de cargas entre terminais e, o custo de deslocamento de veículos vazios para reposicionamento, visando atender demandas futuras.

Uma importante restrição foi adicionada, em relação ao modelo clássico, muito relevante do ponto de vista prático. Essa restrição considera que certos tipos de veículos não realizam determinadas rotas. Ela é particularmente válida quando uma empresa transportadora utiliza veículos agregados, terceirizados, nas suas linhas de transferência entre terminais, em que são também consideradas questões sobre a qualidade de vida do motorista por possibilitar que o mesmo possa, de tempos em tempos, visitar seu domicílio de origem, onde vive a sua família, que muitas vezes está localizada em um município intermediário entre a origem e o destino da rota.

No caso do modelo M_2, a proposta foi definir além do problema de alocação e reposicionamento de veículos, também, o dimensionamento da frota para que toda a demanda seja atendida. O modelo M_2 é similar ao M_1, porém, com mais um conjunto de variáveis que define a quantidade, localização e tipo de veículo a ser alocado em cada terminal da rede. Esse modelo possui significativa importância prática, especialmente no nível de planejamento estratégico, em que deseja-se definir a quantidade de veículos de transferência necessários para operação.

Foram ainda resolvidos problemas gerados aleatoriamente com tamanhos similares aos encontrados na prática, com o objetivo de verificar se o método de solução empregado se mantinha adequado para tratar problemas de maior porte. Pôde-se verificar que, de forma geral, quando o problema possui somente dois grupos de veículos ($|E| = 2$) o problema pode ser resolvido sem maiores dificuldades utilizando o método *branch-and-cut* do Cplex, com um tempo de processamento aceitável na prática, em torno de 2 minutos. Porém, em situações práticas, pode ser necessário separar os veículos em muitos grupos (no limite, um grupo para cada veículo, para que os veículos sejam tratados individualmente), fazendo com que $|E|$ seja igual a quantidade de veículos disponíveis. Isso pode inviabilizar a solução do problema pelo Cplex, em função dos requisitos de memória computacional. Por fim, extensões dos modelos aqui apesentados estão sendo estudados e os avanços serão reportados em breve, como continuidade da pesquisa.

Referências

Beaujon, G. J. e Turnquist, M. A. (1991) A model for fleet sizing and vehicle allocation. *Transportation Science*, v. 25, n. 1, p. 19–45.

Braklow, J. W.; Graham, W. W.; Hassler, S. M.; Peck, K. E. e Powell, W. B. (1992) Interactive Optimization Improves Service and Performance for Yellow Freight System. *Interfaces*, v. 22, n. 1, p. 147–172.

Dejax, P. J. e Crainic, T. G. (1987) A review of empty flows and fleet management models in freight transportation. *Transportation Science*, v. 21, n. 4, p. 227–247.

Fourer, R.; Gay, D. M. e Kernighan, B. W. *AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming*. [S.l.]: Duxbury Press, 2002.

Frantzeskakis, L. F. e Powell, W. B. (1990) A successive linear approximation procedure for stochastic, dynamic vehicle allocation problems. *Transportation Science*, v. 24, n. 1, p. 40–57.

Ghiani, G.; Laporte, G. e Musmanno, R. *Introduction to logistics systems planning and control*. [S.l.]: John Wiley & Sons Ltd., 2003. (Wiley-Interscience series in systems and optimization).

Hall, R. W. (1999) Stochastic freight flow patterns: implications for fleet optimization. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 33, n. 6, p. 449 – 465.

Hall, R. W. e Zhong, H. (2001) Decentralized inventory control policies for equipment management in a many-to-many network. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 36, n. 10, p. 849 – 865.

Ilog. *ILOG CPLEX User's Manual*. 2008. V. 11.1.1.

Novaes, A. G. *Sistemas Logísticos: Transporte, Armazenagem e Distribuição Física de Produtos*. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2008.

Powell, W. B. (1986) A stochastic model of the dynamic vehicle allocation problem. *Transportation Science*, v. 20, p. 117–129.

Powell, W. B. (1987) An operacional planning model for the dynamic vehicle allocation problem with uncertain demands. *Transportation Research Part B*, v. 21, n. 3, p. 217–232.

Powell, W. B. (1988) A comparative review of alternative algorithms for the dynamic vehicle allocation problem. *Vehicle Routing: Methods and Studies, Elsevier Science Publisher B. V.*

Powell, W. B. (1996) A stochastic formulation of the dynamic assignment problem, with an application to truckload motor carrier. *Transportation Science*, v. 30, n. 3, p. 195–219, 1996.

Powell, W. B. e Carvalho, T. A. (1998) Dynamic control of logistics queueing networks for large-scale fleet management. *Transportation Science*, v. 32, n. 2, p. 90–109, 1998.

Powell, W. B. e Carvalho, T. A. (1998) Real-time optimization of containers and flatcars for intermodal operations. *Transportation Science*, v. 32, n. 2, p. 110–126.

Powell, W. B.; Jaillet, P. e Odoni, A. R. Stochastic and dynamic networks and routing. In: BALL, M. O.; MAGNANTI, T. L.; MONNA, C. L.; NEMHAUSER, G. L. (Ed.). Amsterdam: Elsevier Science. (Handbooks in Operations Research and Management Science, v. 8), p. 141–295, 1995.

Powell, W. B.; Sheffi, Y.; Nickerson, K. S.; Butterbaugh, K. e Atherton,S. (1988) Maximizing profits for north american van lines truckload division: A new framework for pricing and operations. *Interfaces*, v. 18, n. 1, p. 21–41.

Powell, W. B.; Sheffi, Y. e Thiriez, S. (1984) The dynamic vehicle allocation problem with uncertain demands. In: *Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory*. [S.l.: s.n.],. p. 357–374.

Vasco, R. A. Otimização na alocação dinâmica de veículos no transporte rodoviário de cargas completas entre terminais., 2011, 119p. Tese (texto para qualificação) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2011.