

O Problema de Roteamento de Estoques: um olhar sobre a literatura

Fernando Leme Franco

Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro
Doutorando em Engenharia de Produção, COPPE/UFRJ
fernando_franco@uol.com.br

Alberto Gabbay Canen

COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro
agcanen@pep.ufrj.br

O Problema de Roteamento de Estoques: um olhar sobre a literatura

Fernando Leme Franco
Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro
Doutorando em Engenharia de Produção, COPPE/UFRJ
fernando_franco@uol.com.br

Alberto Gabbay Canen
COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro
agcanen@pep.ufrj.br

Resumo:

A globalização e o aumento da competitividade nas empresas têm levado pesquisadores a desenvolver, dos pontos de vista teórico e prático, o problema de roteamento de estoques (PRE). Este artigo é uma revisão da produção do conhecimento na área do PRE. Aborda primeiramente os conceitos envolvidos do PRE assim como as diferenças entre o problema em questão e do roteamento de veículos (PRV). Os artigos pesquisados são olhados de acordo com o horizonte de planejamento e a modelagem da demanda, a partir da abordagem explicitada em cada um. Finaliza sugerindo caminhos futuros neste campo de pesquisa.

Palavras-chave:

Roteamento de Estoques, Roteamento de Veículos, Controle de Estoques, Logística, Revisão Bibliográfica.

The Inventory Routing Problem: a glimpse of the literature

Abstract:

Globalization and the increasing competitiveness among the organizations are driving researchers towards developing the Inventory Routing Problem (IRP) both from theoretical and practical perspectives. This article seeks to review knowledge production in the IRP field. Firstly, outlines the concepts associated with the IRP and its differences as compared to the Vehicle Routing Problem (VRP). Literature is analyzed according to the planning horizon and demand modeling, based on each one's explicated approach. It concludes suggesting possible avenues for research in this field.

Key words:

Inventory Routing, Vehicle Routing, Inventory Control, Logistics, Literature Review

Introdução

O problema de roteamento de estoques refere-se ao gerenciamento integrado da distribuição física e do controle de estoques. Controle de estoques e distribuição não são problemas novos, e têm sido estudados exaustivamente, de forma independente. Um dos primeiros estudos de controle de estoques remonta o início do século XX, Hopp & Spearman (1996). O primeiro artigo sobre roteamento de veículos com vistas à distribuição de produtos parece ter sido atribuído a Dantzig e Hamser (1959), e a primazia com relação ao roteamento de estoques é creditada a Fedegruen e Zapkin (1984). Além dos aspectos citados, roteamento e estoques, pode-se identificar outros, a partir da revisão de literatura feita por Baitas et al. (1998) sobre o problema dinâmico de roteamento de estoques, desta forma incluindo o fator dinâmico como um terceiro aspecto.

Klewegt et al. (1998), argumentam que o roteamento de estoques é o principal problema a ser resolvido visando à implementação da técnica de gerenciamento de estoques de venda. Esta é definida como um sistema integrado em que distribuidores e clientes compartilham informações de demanda e estoques, visando melhorar o desempenho da cadeia de suprimentos (Achabal et al., 2000). Fatores como o aumento da competitividade e a globalização têm levado pesquisadores a estudar o PRE, e empresas a implementar seus conceitos, ainda que parcialmente. A implementação prática do gerenciamento de estoques de venda somente se mostrou viável com o grande avanço da tecnologia de informações, no final do século XX, com conseqüente redução de custos (Klewegt et al., 1999). O gerenciamento de estoques de venda é apontado por Campbell et al. (1999) como um exemplo de valor agregado pela logística, incluindo disponibilidade, redução de tempos de ciclo, entregas consistentes e facilidade de emissão de ordens de compra, entre outros elementos reconhecidos como essenciais para a satisfação do cliente.

As diferenças entre os problemas de roteamento de estoques e de veículos, podem ser analisadas sob diversos aspectos, sendo que o roteamento de estoques pode ser interpretado como um enriquecimento do roteamento de veículos, incluindo nele o fator controle de estoques (Ball, 1988).

O roteamento de veículos refere-se à distribuição de bens e serviços, para diferentes clientes, através de um depósito central (Canen e Pizzolato, 1993, dentre outros). A solução deste tipo de problema visa à redução de custos através da definição de rotas, em função das ordens de entrega recebidas, para um período finito de tempo. O intervalo de tempo finito e a necessidade de atender integralmente à quantidade definida em cada ordem de entrega são fatores determinantes do tipo de modelagem utilizada, bem como da solução encontrada.

No problema de roteamento de estoques, a quantidade a ser entregue é definida em função da demanda real dos clientes, e não da demanda agregada através de ordens de compra. A quantidade a ser entregue a cada cliente, bem como a sua freqüência, passam a ser função desta demanda. O objetivo é a redução de custos para um intervalo de tempo infinito. A principal restrição é atender integralmente à demanda dos clientes. Em alguns casos esta restrição é relaxada com a introdução de custos por demanda não atendida.

Consideramos dois fatores como fundamentais para definir a modelagem e solução do problema: o horizonte de análise e a modelagem da demanda. O horizonte de análise se refere ao período de tempo que será considerado para efeito de otimização. A modelagem para período de tempo infinito, proposta como base do problema, é muitas vezes relaxada, e o problema é resolvido para períodos finitos de tempo. A utilização de um horizonte de tempo finito não descaracteriza o problema, além de estar mais próxima de aplicações práticas. A modelagem de demanda, nos trabalhos considerados, vai desde uma demanda constante até uma modelagem por distribuições probabilísticas conhecidas, sendo que alguns trabalhos utilizam dados reais para validar a metodologia (Campbell et al. 1997). Campbell et al. (1999) apresentam a solução de um problema prático de roteamento de estoques aplicado a uma distribuidora de gás, composta de cerca de 60 fabricas e 10.000 consumidores. O problema é resolvido em duas fases, sendo que a primeira utiliza um modelo de programação linear, e a segunda, um algoritmo de planejamento de entregas. Ao final, os referidos autores mostram que o procedimento proposto é melhor do que o procedimento usado pela referida empresa, em diversos quesitos de desempenho.

A partir da importância do roteamento de estoques explicitado, o presente artigo é uma revisão da literatura na área, objetivando oferecer referências no sentido aplicativo e não em detalhes algorítmicos, de modo que pesquisadores interessados possam a vir buscar acesso aos originais das mesmas.

A Produção do Conhecimento na Área:

A Figura 1 mostra a distribuição de trabalhos analisados neste artigo, considerando-se os fatores horizonte de análise e conhecimento da demanda. Para um horizonte de análise correspondente a um período, o problema de roteamento de estoques se aproxima do problema de roteamento de veículos. A diferença básica é que o segundo considera, além do custo de transporte, os custos de armazenamento e de demanda não satisfeita (Federgruen e Zapkin 1984). Quanto maior o horizonte considerado, maior a dificuldade de modelagem. De forma semelhante, quanto menor o conhecimento da demanda, maior a dificuldade de solução do problema.

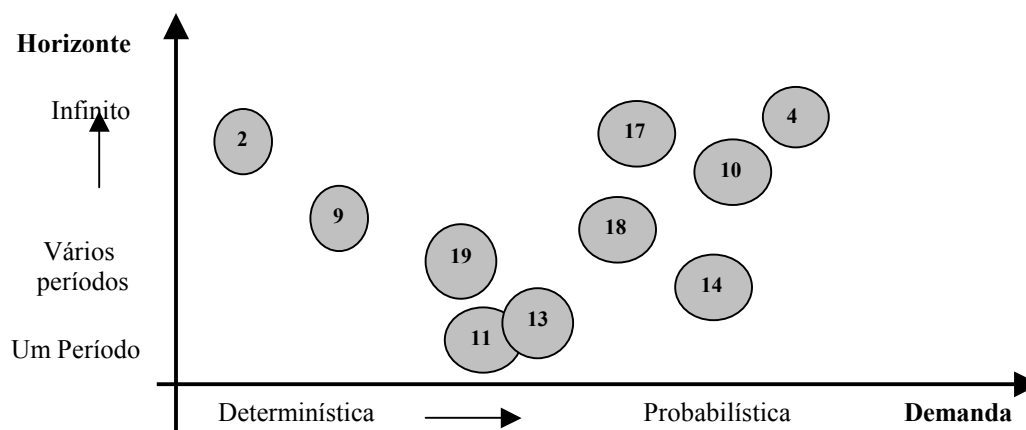


Figura 1 – Artigos analisados com relação ao horizonte de análise e modelagem da demanda.

Para demandas consideradas como determinísticas, soluções utilizando a formulação de lote econômico podem ser adaptadas, facilitando a solução do problema (Anily e Federgruen 1990). Desta forma, na figura 1, quanto mais a direita e acima, maior será a dificuldade de modelagem e solução do problema.

Vários trabalhos analisados concentram-se na área de demanda probabilística e horizonte de análise infinito, no entanto, adotam restrições em relação ao problema proposto. Algumas destas restrições visam atender características específicas do caso analisado, como entregas diretas em Barnes-Schuster e Bassok (1997), ou divisão em sub-problemas em Kleywegt et al. (1999).

Artigo	Ano	Autor	Abordagem
2	1990	Anily e Federgruen	O algoritmo particiona os clientes por região, considerando carregamento completo, com análise de lote econômico para cada região.
4	1997	Barnes-Schuster e Bassok	O algoritmo analisa o impacto da variação de diversos parâmetros nos custos, definindo os melhores valores para serem usados.
9	1987	Dror e Ball	Utiliza algoritmos do caixeiro viajante, incluindo penalidades em função dos estoques de segurança e datas de entregas.
10	1996	Dror e Trudeau	Algoritmo baseado em fluxo de caixa, com ênfase na maximização da eficiência operacional.
11	1984	Federgruen e Zapkin	O algoritmo mostra primeiramente um particionamento de clientes, para resolvê-lo como uma extensão do roteamento de veículos.
13	1984	Golden, Assad e Dahl	O algoritmo calcula a urgência de cada cliente, roteando em função desta urgência.
14	1997	Herer e Levy	O algoritmo roteia os clientes, minimizando os desvios em relação ao melhor período de entregas, calculado previamente.
17	1999	Kleywegt et al.	Soluciona o problema através de cadeias de Markov, particionando os clientes. Esta partição considera entregas diretas, com a restrição de número limitado de veículos.
18	1993	Minkoff	O algoritmo decompõe o problema, gerando uma função de penalidade. Estas penalidades são incorporadas ao problema principal, que é resolvido através de cadeias de Markov.
19	1992	Trudeau e Dror	O algoritmo utiliza os dados finais de estoque de cada cliente para efetuar o roteamento do período seguinte, sendo então utilizado período a período.

Tabela 1 – Artigos apresentado na Figura 1, de acordo com sua abordagem.

A Figura 1 e a Tabela 1 acima mostram os artigos cujos algoritmos serão comentados na seqüência deste trabalho. A numeração segue a mesma seqüência apresentada nas referências bibliográficas. A totalidade dos artigos listados se concentra na solução através de heurísticas. Assim, estas são utilizadas mesmo por aqueles que usam programação linear em alguma fase do desenvolvimento. É importante observar que se trata de trabalhos teóricos, sem oferecer aplicações práticas.

Alguns trabalhos citados na bibliografia não aparecem na Figura 1, pois são revisões bibliográficas (Baita et al.1998), apresentam métodos de solução utilizando diversos algoritmos (Campbell et al. 1997, Campbell et al. 1999) ou não são específicos do PRE (Achabal et al. 2000, Canen e Pizzolato 1993, Gallego e Simchi-Levi 1990).

O problema de roteamento de estoque é um problema de difícil solução, que na melhor das hipóteses poderá ser resolvido através da adaptação de um problema de roteamento de veículos, que é NP-Hard (Baita et al. 1998). Algumas das soluções propostas resolvem o problema apenas por um curto intervalo de tempo. No primeiro trabalho publicado (Federgruen e Zipkin, 1984), este intervalo de tempo era de apenas um período, sendo que posteriormente foi estendido para vários períodos (Dror e Ball 1987, Jaillet et al. 1997). As diferentes abordagens encontradas na literatura, em geral, referem-se à modelagem do efeito das decisões de curto prazo na performance a longo prazo (Dror e Ball 1987). A abordagem de curto prazo tende a deixar para períodos posteriores o maior número possível de entregas, o que induz um aumento de custos nesses períodos. O balanceamento entre a otimização de curto e longo prazo é o fator chave na solução do problema de roteamento de estoques.

Federgruen e Zipkin (1984) modelam o problema de roteamento de estoques como uma extensão do problema de roteamento de veículos, considerando além dos custos de transporte, o custo de armazenamento e custo devido à demanda não atendida. O problema é modelado para o horizonte de análise de um período, sendo que as informações de estoque no final do período, para cada cliente, são usadas para o cálculo do roteamento de veículos no período seguinte. A solução do problema é obtida através de heurística, utilizando uma decomposição em sub-problemas de alocação e roteamento, coordenada apropriadamente. Como nem todos os clientes receberão entregas em um determinado período, utiliza-se uma rota fantasma para esses clientes.

Golden et al. (1984), também analisam o problema da minimização de custo para o horizonte de análise de um período, no entanto, introduzem a restrição de manter um estoque adequado, para todos os clientes, ao final do período. A solução é obtida através de uma heurística que calcula a urgência de cada cliente. Desta forma, os clientes são primeiramente selecionados em função de sua urgência, e o roteamento é feito a seguir.

Dror e Ball (1987) analisam o problema para um horizonte de análise de vários períodos através de um procedimento, no qual reduzem o problema para o horizonte de um período. Este procedimento avalia os custos futuros das decisões presentes. A política básica estabelece que todos os clientes cujos estoques chegarem a zero, no período considerado, devem ser reabastecidos. Os custos para desvios em relação a esta política são calculados (custos de não ser abastecido caso precise, e custo de ser reabastecido caso não precise). A solução do problema é obtida pela minimização do custo do desvio, através de um procedimento heurístico.

Trudeau e Dror (1992) expandem essas idéias usando uma análise similar, consideram o planejamento de alguns períodos. No caso específico deste artigo, eles utilizam o período de uma semana. As informações no final de cada semana são utilizadas como dados de entrada para o planejamento da semana seguinte.

Herer e Levy (1997) utilizam o conceito de distância temporal, ao invés de localização geográfica para definir as rotas. No estudo, incorporam os custos fixos, de armazenamento e relativos à demanda não atendida. A solução, para um período fixo, é obtida usando uma adaptação do algoritmo de Clark e Wright (1964) para roteamento de veículos. Nesta

modelagem, os autores consideram que os custos do capital imobilizado em estoques, nos clientes, serão de responsabilidade do distribuidor. Desta forma, o cliente paga somente pelos produtos que efetivamente utilizar.

Anily e Federgruen (1990) estudam a minimização do custo de transporte e armazenamento para um horizonte longo. São estabelecidos padrões para efetuar uma partição dos clientes. Após esta partição, os clientes são divididos em regiões cuja demanda deve ser igual a uma carga completa do veículo de entrega. A estratégia é visitar todos os clientes em uma região, caso algum cliente desta região receba uma entrega.

Usando uma idéia similar, Gallego e Simchi-Levi (1990) analisam o efeito, a longo prazo, de entregas diretas. A política de entregas diretas considera que a cada viagem o veículo irá visitar um único cliente. A conclusão é que, entregas diretas são eficientes em 94% dos casos, desde que os lotes econômicos dos clientes sejam no mínimo igual a 71% da carga máxima dos veículos de entrega.

Kleywegt et al. (1999) também utilizam o conceito de entregas diretas para formular o problema através de cadeias de Markov. O estudo mostra que soluções exatas são obtidas, em tempo razoável, apenas quando são considerados poucos clientes. Para solucionar o problema para instâncias maiores, os clientes são separados em grupos e o problema é resolvido para os sub-problemas resultantes.

Soluções utilizando cadeias de Markov foram propostas por Minkoff (1993), que considera a existência de um número ilimitado de veículos. Os problemas causados por um número muito grande de estados foram resolvidos via decomposição. A heurística incorpora um custo individual de transporte a cada cliente, e resolve os diversos sub-problemas individualmente.

Dror e Trudeau (1996) utilizam o conceito de fluxo de caixa para formular um problema para horizonte longo de análise. Implicitamente assume-se que os clientes pagam o valor relativo à quantidade recebida a cada entrega. Desta forma, quanto maior for a frequência de entregas, mais constante será o fluxo de caixa. Esta vantagem deverá ser confrontada com a elevação de custos decorrentes do aumento do número de entregas. São considerados tantos os casos de demanda determinística como probabilística.

Barnes-Schuster e Bassok (1997) consideram o problema do ponto de vista de horizonte de análise infinito e demanda estocástica. O depósito é considerado apenas um agregador de dados (não mantém estoques) e são consideradas apenas entregas diretas. A solução deste problema estabelece limites inferiores de entrega com metas de otimização.

Caminhos Futuros

Os artigos analisados neste estudo referem-se a modelos do problema de roteamento de estoque vistos do ponto de vista matemático. Entretanto, a implementação prática desses modelos depende de outras considerações. Uma análise de cadeias logísticas mostra que a administração das empresas está preparada para enxergar apenas os níveis imediatamente anterior e posterior da cadeia. Em outras palavras, a empresa tende a enxergar apenas seus

fornecedores e seus clientes, não tendo vínculos com os fornecedores de seus fornecedores, ou com os clientes de seus clientes, a não ser que partes da cadeia sejam operadas pela mesma empresa. A implementação de conceitos de interligação de atividades logísticas fará com que o relacionamento dos agentes dentro da cadeia seja cada vez mais complexo. Desta forma, o vínculo entre a empresa e o fornecedor de seus fornecedores tem que ser considerada do ponto de vista administrativo e jurídico. Estudos deste tipo são bastante apropriados no momento em que diversas empresas estão em vias de implementar o gerenciamento integrado de elementos da cadeia logística, do tipo do roteamento de estoques, apresentado neste estudo.

Conclusões

Muito embora existam diversos artigos que apresentam revisões de literatura abordando o problema de roteamento de estoques, conforme mencionado neste trabalho, este artigo é relevante no sentido de promover uma revisão da produção atual do conhecimento na área, focalizando, especificamente, os aspectos de horizonte de análise e conhecimento da demanda. Estes, conforme argumentamos, são os principais aspectos que diferenciam o problema de roteamento de estoques, do roteamento de veículos. Mais ainda, eles incorporam dificuldades crescentes à modelagem e à solução do problema.

A literatura pesquisada mostra que o tema roteamento de estoques tem sido estudado por mais de quinze anos, porém aplicações práticas não são o foco das mesmas. Esta literatura mostra, também, que existe uma razoável gama de métodos e algoritmos propostos, desde adaptações das técnicas de roteamento de veículos e controle de estoques, até propostas bastante inovadoras utilizando fluxo de caixa. É difícil imaginar modelos abrangentes que possam ser aplicados a uma grande variedade de casos. O que parece mais viável, é a utilização de modelos que otimizem casos específicos, como os apresentados neste artigo.

Observamos também, que a pesquisa com modelos que integram elementos logísticos, até então estudados de forma isolada, é uma tendência na literatura, em função de que hoje já existe a tecnologia necessária para sua implementação. Esta implementação está se tornando economicamente viável não somente em função da redução dos custos da tecnologia de informações, como também pela publicação de ferramentas de análise mais adequadas.

O artigo não pretendeu esgotar a questão, mas tão somente oferecer subsídios teóricos para a compreensão do tema, constituindo-se em parte de uma agenda de pesquisa em desenvolvimento pelos presentes autores.

Referências Bibliográficas

01. ACHABAL, D. D.; MC INTYRE, S. H.; SMITH, S. A.; KALYANAM, K 2000. A Decision Support System for Vendor Managed Inventory. *Journal of Retailing*, Vol.76, No.4, p.430-454.

02. ANILY, S.; FEDERGRUEN, A. 1990. One Warehouse Multiple Retailer with Vehicle Routing Cost. *Management Science*, Vol.36, No.1, p.92-114.
03. BAITA, F.; UKOVICH, W.; PESENTI, R.; FAVARETTO, D. 1998. Dynamic Routing-and-Inventory Problems: A Review. *Transportation Research*, Vol.33, No.8, p.585-598.
04. BALL, M.O. 1988. Allocation/routing: models and algorithms. in: Herer, Y. T. and Levy, R. 1997. The Metered Inventory Routing Problem, an Integrative Heuristic Algorithm. *International Journal of Production Economics*, Vol. 51, p. 69-81.
05. BARNES-SCHUSTER, D.; BASSOK, Y. 1997. Direct Shipping and the Dynamic Single-Depot/ Multi-Retailer Inventory System. *European Journal of Operational Research*, Vol.101, p. 509-518.
06. CAMPBELL, A.; CLARKE, L.; KLEYWEGT, A.; SAVELSBERGH, M. W. P. 1997. The Inventory Routing Problem. *Technical Report*, Georgia Institute of Technology, GA.
07. CAMPBELL, A.; CLARKE, L.; SAVELSBERGH, M. W. P. 1999. An Inventory Routing Problem. *Technical Report*, Georgia Institute of Technology, GA.
08. CANEN, A. G.; PIZZOLATO N. D. 1993. The Vehicle Routing Problem: A Managerial Report. *Logistics Focus*, Vol.1, No.2, p. 6-9.
09. DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. 1959. The truck Dispatching Problem. *Management Science*, Vol.6, No.1, p.81-91.
10. DROR, M.; BALL, M. 1987. Inventory/Routing: Reduction from an Annual to a short-period Problem. *Naval Research Logistics*, Vol.34, p.891-905.
11. DROR, M.; TRUDEAU, P. 1996. Cash Flow Optimization in Delivery Scheduling. *European Journal of Operational Research*, Vol.88, p.504-515.
12. FEDERGRUEN, A. ; ZIPKIN, P. 1984. A Combined Vehicle Routing and Inventory Allocation Problem. *Operations Research*, Vol.32, No.5, p.1019-1037.
13. GALLEGO, G.; SIMCHI-LEVI, D. 1990. On the Effectiveness of Direct Shipping Strategy for the One-warehouse Multi-retailer R-systems. *Management Science*, Vol.36, No.2, p. 240-243.
14. GOLDEN, B. L.; ASSAD, A. A.; DAHL, R. 1984. Analysis of Large Scale Vehicle Routing Problem with an Inventory Component. Em Campbell, A., Clarke, L., Kleywegt, A. and Savelsbergh, M. W. P. 1997. The Inventory Routing Problem. *Technical Report*, Georgia Institute of Technology, GA.

15. HERER, Y. T.; LEVY, R. 1997. The Metered Inventory Routing Problem, an Integrative Heuristic Algorithm. *International Journal of Production Economics*, Vol. 51, p. 69-81.
16. HOOP, W. J ; SPEARMAN , M. L.1996., *Factory Physics*, Irwin
17. JAILLET, P.; HUANG, L.; BARD, J. F.; DROR, M. 1997. A Rolling Horizon Framework for the Inventory Routing Problem. *Technical Report*, The University of Texas at Austin, TX.
18. KLEYWEGT, A. J.; NORI, V. S.; SAVELSBERGH, M. W. P. 1998. A Computational Approach for the Inventory Routing Problem. *Technical Report*, Georgia Institute of Technology, GA.
19. KLEYWEGT, A. J.; NORI, V. S.; SAVELSBERGH, M. W. P. 1999. The Stochastic Inventory Routing Problem with Direct Deliveries. *Technical Report*, Georgia Institute of Technology, GA.
20. MINKOFF, A. S. 1993. A Markov Decision Model and Decomposition Heuristic for Dynamic Vehicle Dispatching. *Operations Research*, Vol. 41, No.1, p. 77-90.
21. TRUDEAU, P. ; DROR, M. 1992. Stochastic Inventory Routing: Route Design with Stockouts and Route Failure. *Transportation Science*, Vol.26, p. 171-184.