



Marcelo Maciel Monteiro

**Um Modelo Integrado para o Projeto de Redes
Logísticas com Decisões de Localização de
Instalações, Produção, Transporte e Estoques.**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: José Eugenio Leal
Co-orientadora: Fernanda Maria Pereira Raupp

Rio de Janeiro
Dezembro de 2008



Marcelo Maciel Monteiro

Um Modelo Integrado para o Projeto de Redes Logísticas com Decisões de Localização de Instalações, Produção, Transporte e Estoques.

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Eugenio Leal

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Fernanda Maria Pereira Raupp

Co-orientadora

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Farah Caldas

Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Eduardo Uchoa Barbosa

Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Márcia Helena Costa Fampa

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Prof. Nélio Domingues Pizzolato

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 19 de dezembro de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Marcelo Maciel Monteiro

Graduado e com Mestrado em Engenharia de Produção pela UFF. Foi professor efetivo do curso de administração da Faculdade de Economia e Administração da UFJF nas disciplinas de Logística e Administração da Produção. Atualmente é orientador didático e professor da Escola de Gestão e Negócios na Universidade Petrobras atuando no programa de logística.

Ficha Catalográfica

Monteiro, Marcelo Maciel

Um modelo integrado para o projeto de redes logísticas com decisões de localização de instalações, produção, transporte e estoques / Marcelo Maciel Monteiro; orientadores: José Eugênio Leal, Fernanda Maria Pereira Raupp. – 2008.

100 f. : il. (color.) ; 30 cm

Tese (Doutorado em Engenharia Industrial)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Redes logísticas. 3. Modelagem estocástica. 4. Programação não linear inteira mista. 5. Algoritmo outer-approximation. I. Leal, José Eugênio. II. Raupp, Fernanda Maria Pereira. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

À Patricia, a minha pré-adolescente
Beatriz e ao pequeno Lucas.

Agradecimentos

À minha mãe pela minha formação e meu caráter que sem o qual não teria chegado até aqui.

Aos meus colegas e amigos da FEA- UFJF, Márcia, Anderson, Elçemir, Ricardo, Tanure e Humberto que acompanharam os primeiros anos no doutorado.

Aos meus amigos da Escola de Gestão e Negócios da Universidade Petrobras que me incentivaram neste projeto pessoal do doutorado.

Aos meus colegas da gerência de Soluções de Pesquisa Operacional Iachan, Sérgio e Luiz Carlos por ter me orientado no início do processo de modelagem junto a plataforma AIMMS.

Aos meus orientadores José Eugenio Leal e Fernanda Maria Pereira Raupp por ter visualizado o potencial deste trabalho e pelo acompanhamento que me deram durante o seu desenvolvimento.

Resumo

Monteiro, Marcelo Maciel; Leal, José Eugenio. **Um Modelo Integrado para o Projeto de Redes Logísticas com Decisões de Localização de Instalações, Produção, Transporte e Estoques**. Rio de Janeiro, 2008. 100 p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O trabalho tem como objetivo desenvolver uma formulação matemática para o problema de projeto de redes logísticas que seja integrado e flexível de modo a contemplar escolhas de localização de instalações, transporte, produção e estoques. O projeto de redes considera seleção de fornecedores, plantas e armazéns e de opções de transportes, com alocação de produtos para plantas de manufatura e armazéns, e ainda consideram questões de estocagem na rede logística como custos de manutenção e de obtenção de estoques. A formulação resultante é um modelo de programação não linear inteira mista, feita para um único período com demanda estocástica. Por ser um problema NP-Difícil, para a resolução do problema proposto foi utilizado o algoritmo “Outer-Approximation”, que foi testado por meio do dimensionamento de três classes distintas.

Palavras-chave

Redes Logísticas, Modelo Estocástico, Programação Não Linear Inteira Mista.

Abstract

Monteiro, Marcelo Maciel; Leal, José Eugenio. **An Integrated Model for Logistics Network Design of Facility Location, Production, Transportation and Inventory Decisions.** Rio de Janeiro, 2008. 100 p. D.Sc. Thesis – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This thesis aims to develop a mathematical formulation to an integrated and flexible logistics network design that include choices of facility locations, transportation, production and inventories. The network designs consider vendors, plants, warehouses and transportation modes choices. The proposed model considers products assignment to plants and warehouses, inventory holding and procurement costs. The mathematical formulation of the model is a Mixed Integer Non Linear Program (MINLP) problem, referring to a single period with stochastic demand. The problem is NP-Hard and we used the Outer-Approximation algorithmic as the method to resolve the model proposed. We tested the algorithmic for three different instances (scenarios).

Key-words

Logistics Network, Sthocastic Model, Mixed Integer NonLinear Programming.

Sumário

1	Introdução	11
1.1	Motivação e Contribuição do Estudo	12
1.2	Objetivos e Delimitação do Estudo	18
1.3	Organização do Estudo	19
2	Revisão da Literatura	21
2.1	Modelagem de uma Rede Logística de Suprimentos	21
2.2	Modelagem a Decisão de Estoques	26
2.2.1	Classificação dos Modelos de Gestão de Estoques	28
2.2.2	O Modelo Clássico da Quantidade do Lote Econômico (LEC)	30
2.2.3	O Modelo Estocástico do Ponto do Pedido	32
2.3	Modelagem Matemática de Redes Logísticas	36
3.0	Modelo Proposto do Projeto de Redes Logísticas	46
3.1	Formulação do Modelo	46
3.2	Algoritmo de Resolução	50
4	Experimento Computacional	56
4.1	Primeira Instância	58
4.2	Segunda Instância	64
4.3	Terceira Instância	69
4.4	Quarta Instância	75
4.5	Análise dos Experimentos	76
5	Considerações Finais	79
6	Referências Bibliográficas	83
	ANEXO 1 - Referências Bibliográficas das Tabelas 3 e 4	87
	ANEXO 2 - O Algoritmo “Outer-Approximation”	94

Lista de figuras

Figura 1 – Cadeia de Suprimentos típica.	21
Figura 2 – Decisões na Cadeia de Suprimentos.	23
Figura 3 – Modelo do ponto do pedido (Q,r) para uma demanda determinística	30
Figura 4– “Trade-off” na definição do tamanho do pedido.	31
Figura 5– Distribuição da Demanda Durante o Lead-Time (DDLT).	35
Figura 6 – Rede logística modelada por Miranda e Garrido (2004)	43
Figura 7 – Metodologias para resolver problemas de projeto de redes logísticas.	52
Figura 8 – Gráfico de $f(x)=(x)^{1/2}$	56
Figura 9 – Estrutura da cadeia de suprimentos modelada e testada na primeira instância.	60
Figura 10 – Rede logística otimizada da primeira instância.	61
Figura 11 – Mapa de fluxos de produtos entre o CD1 e os clientes atendidos na primeira instância.	61
Figura 12 – Estrutura da cadeia de suprimentos modelada e testada da segunda instância.	65
Figura 13 – Rede logística otimizada da segunda instância.	65
Figura 14 – Mapa de fluxos de produtos entre o CD1 e CD4 com os clientes atendidos na segunda instância.	66
Figura 15 – Estrutura da cadeia de suprimentos modelada e testada da terceira instância.	71
Figura 16 – Rede logística otimizada para a terceira instância.	71
Figura 17 – Estrutura da rede de suprimentos modelada da quarta instância.	76
Figura 18 – Representação gráfica dos custos de distribuição dos produtos nas três instâncias.	78
Figura 19 – Região viável do exemplo numérico E_z	97
Figura 20 – Região viável e solução ótima do algoritmo AO para o exemplo numérico E_z	100

Lista de tabelas

Tabela 1 – Identificação dos trabalhos publicados com relação à estrutura da cadeia de suprimentos, considerando o número de mercadorias, horizonte de planejamento e os tipos de dados do modelo.	15
Tabela 2 – Decisões de Redes Logísticas baseadas em decisões de localização e alocação	17
Tabela 3– Notação utilizada no modelo proposto por Cordeau, Pasin e Solomon (2006)	39
Tabela 4 - Notação utilizada em Miranda e Garrido (2004).	45
Tabela 5 – Notação dos parâmetros do modelo proposto	50
Tabela 6 – Comparações entre metodologias para o exemplo numérico E1	54
Tabela 7 – Quantidade de produtos transportados do armazém w para os clientes c da primeira instância.	62
Tabela 8 – Custos acumulados da rede logística na instância 1.	62
Tabela 9 – Parâmetros da política de ponto do pedido com demanda incerta para a instância 1 a partir do CD1.	63
Tabela 10– Custos acumulados da rede logística na instância 2.	67
Tabela 11 – Quantidade de produtos transportados do armazém w para os clientes c na instância 2.	68
Tabela 12 - Parâmetros da política de ponto do pedido com demanda incerta para a instância 2.	69
Tabela 13 – Classificação, lead-time, nível de serviço e valores de z da tabela normal dos produtos modelados na terceira instância.	70
Tabela 14 – Custos acumulados da rede logística na instância 3.	72
Tabela 15 – Quantidade de produtos transportados do armazém w para os clientes c .	73
Tabela 16 - Parâmetros da política de ponto do pedido com demanda incerta para a instância 3.	75
Tabela 17 – Estatística computacional das instâncias rodadas.	77
Tabela 18 – Solução do exemplo de aplicação do algoritmo OA.	100