



Gabriela Pinto Ribas

**Modelo de Programação Estocástica para o
Planejamento Estratégico da Cadeia Integrada
de Petróleo**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Alexandre Street de Aguiar

Co-Orientador: Prof. Silvio Hamacher

Rio de Janeiro

Agosto de 2008



Gabriela Pinto Ribas

**Modelo de Programação Estocástica para o
Planejamento Estratégico da Cadeia Integrada
de Petróleo**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Dr. Alexandre Street de Aguiar
Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Dr. Silvio Hamacher
Co-Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC/Rio

Dra. Laura Silvia Bahiense da Silva Leite
COPPE/UFRJ

Dr. Humberto José Bortolossi
UFF

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de agosto de 2008

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

Gabriela Pinto Ribas

Gabriela Ribas é formada em Engenharia de Produção pela PUC-Rio (2006) e obteve seu título de MSc em Engenharia Elétrica com ênfase em Métodos de Apoio à Decisão também pela PUC-Rio (2008). Participou do grupo de consultores da COPPEAD durante o período de 2004/2006, tendo oportunidade de desenvolver projetos na área de logística, dentre os quais se destacam: previsão de vendas, planejamento de peças de reposição, roteirização e localização de centros de distribuição. Atualmente, cursa doutorado na mesma instituição e segue desenvolvendo pesquisas na área de modelagem matemática e otimização estocástica no Departamento de Engenharia de Produção pelo Núcleo de Excelência em Otimização.

Ficha Catalográfica

Ribas, Gabriela Pinto

Modelo de programação estocástica para o planejamento estratégico da cadeia integrada de petróleo / Gabriela Pinto Ribas ; orientador: Alexandre Street de Aguiar; co-orientador: Silvio Hamacher. – 2008.

104 f. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Otimização sob incerteza integrada de petróleo. 4. Programação estocástica. I. Aguiar, Alexandre Street de. II. Hamacher, Silvio. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

A meus pais e irmão, Sandra Thayse Pinto Ribas, Plínio Tadeu Pinto Ribas, e Julhano Pinto Ribas, pelo carinho, dedicação e presença em toda minha vida.

Agradecimentos

Ao orientador Silvio Hamacher, pela excelente orientação e pelos ensinamentos e aprimoramentos acadêmicos. Agradeço ainda por todas as oportunidades concedidas durante minha vida acadêmica.

Ao orientador Alexandre Street pela motivação, ensinamentos e tempo dedicado à minha orientação.

Aos colegas Adriana Leiras, Alexandre Tessarollo, Camila Epprecht, Fabrício Oliveira e Paula Nunes pelas discussões e contribuições sobre os mais diversos temas relacionados a esta dissertação.

Ao CNPq e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos e pelo ótimo ambiente de estudo.

Resumo

Ribas, Gabriela Pinto; Aguiar, Alexandre Street de (Orientador). **Modelo de Programação Estocástica para o Planejamento Estratégico da Cadeia Integrada de Petróleo**. Rio de Janeiro, 2008. 104p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A indústria do petróleo é uma das mais importantes e dinâmicas do Brasil. Em uma indústria naturalmente integrada como a petrolífera, é necessário um adequado planejamento estratégico da cadeia integrada de petróleo que contemple todos os seus processos, como a produção de petróleo, refino, distribuição e comercialização de derivados. Além disso, a indústria de petróleo está suscetível a diversas incertezas relacionadas a preço de petróleo e derivados, oferta de óleo bruto e demanda de produtos. Em face destas oportunidades e desafios, foi desenvolvido no âmbito desta dissertação um modelo de programação estocástica para o planejamento estratégico da cadeia de petróleo brasileira. O modelo contempla as refinarias e suas unidades de processos, as propriedades dos petróleos e derivados, a logística nacional e decisões de comercialização de petróleo e derivados, incluindo incertezas associadas a preço de mercado, produção de petróleo nacional e demanda interna de derivados. A partir do modelo estocástico foram formulados um modelo robusto e um modelo MinMax no intuito de comparar o desempenho e a qualidade da solução estocástica. Os modelos propostos foram aplicados a um exemplo real, com 17 refinarias e 3 centrais petroquímicas que processam 50 produtos intermediários, destinados a produção de 10 derivados associados à demanda nacional, 8 campos de exploração de petróleo, 14 produtores gás natural, 1 produtor de óleo vegetal, 13 terminais, 4 bases de distribuição e 278 arcos de transporte. Na análise de resultados foram utilizadas medidas como Valor Esperado da Informação Perfeita (EVPI) e Valor da Solução Estocástica (VSS).

Palavras-chave

Otimização Sob Incerteza, Cadeia Integrada de Petróleo, Programação Estocástica

Abstract

Ribas, Gabriela Pinto; Aguiar, Alexandre Street de (Advisor). **A Stochastic Programming Model for the Strategic Planning of the Oil Supply Chain**. Rio de Janeiro, 2008. 104p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The oil industry is one of the most important and dynamic in Brazil. As the oil industry naturally integrated, we need an appropriate strategic planning to the oil supply chain that consider all its processes, such as oil production, refining, distribution and refined products marketing. Moreover, the oil industry is susceptible to various uncertainties regarding the oil and products price, crude oil supply and products demand. In light of these opportunities and challenges, it was developed in this dissertation a stochastic programming model for the strategic planning of the Brazilian oil supply chain. The model includes refineries and process units, oils and their products properties, logistics and national marketing decisions of oil and products, including uncertainties associated with market price, oil domestic production and refined products domestic demand. Based on the stochastic model a robust model and a MinMax model were formulated in order to compare the performance and quality of the stochastic solution. The proposed models were applied to a real example, with 17 refineries and 3 petrochemical power plants that process 50 intermediate products, intended to production of 10 final products associated to national demand, 8 oil fields, 14 natural gas producers, 1 vegetal oil producer, 13 terminals, 4 delivery points and 278 arches of transport. In the results analysis was used as measures the Expected Value of Perfect Information (EVPI) and the Value of the Stochastic Solution (VSS).

Keywords

Optimization Under Uncertainty, Oil Supply Chain, Stochastic Programming.

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Objetivos da Pesquisa.....	11
1.2	Estrutura do trabalho	12
2	A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO NO BRASIL	14
2.1	Cadeia Integrada de Petróleo.....	17
2.2	Aplicações de Programação Matemática.....	18
3	OTIMIZAÇÃO SOB INCERTEZA.....	22
3.1	Programação Estocástica (SP).....	22
3.1.1	Modelo de Programação Linear Estocástica com Dois Estágios (Two-Stage Stochastic Linear Program with Recourse)	24
3.1.2	Medidas de Comparação entre Modelos Determinísticos e Estocásticos....	26
3.2	Programação Robusta.....	29
3.2.1	Modelo de Programação Robusta – Modelo de Arrependimento	30
3.3	Problemas de Otimização sob Incerteza na Indústria do Petróleo.....	31
4	MODELOS DE PLANEJAMENTO NA CADEIA DE PETRÓLEO	34
4.1	Níveis de Decisão	34
4.2	Áreas de Atuação Industrial	35
4.3	Estrutura da Classificação	36
5	O MODELO DE PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA CADEIA INTEGRADA DE PETRÓLEO	40
5.1	Descrição do Problema.....	41
5.2	Descrição do Modelo Matemático.....	43
5.2.1	Rede Logística – Nós.....	43
5.2.2	Rede Logística – Arco de Transporte.....	45
5.2.3	Refinaria – Unidade de Processos	46
5.2.4	Investimento	47
5.2.5	Exportação e Importação	48
6	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA.....	50
6.1	Modelo Estocástico Simplificado.....	50
6.2	Modelo Matemático Determinístico.....	53
6.2.1	Restrições relativas ao processo de refino.....	55
6.2.2	Restrições referentes à logística e à comercialização.....	58
6.2.3	Função Objetivo (FO).....	60
6.3	Modelo Matemático Estocástico	63
6.4	Modelo Matemático Robusto	68
6.5	Modelo Matemático MinMax.....	70
7	RESULTADOS	72
7.1	Descrição do Caso Estudado	72
7.1.1	Levantamento de Dados	74

7.1.2	Parâmetros Associados à Incerteza.....	74
7.1.3	Geração de Cenários.....	76
7.2	Desempenho Computacional.....	78
7.3	Análise de Resultados.....	79
7.3.1	Modelo Determinístico.....	79
7.3.2	Modelo Estocástico.....	81
7.3.3	Modelo Robusto.....	88
7.3.4	Modelo MinMax.....	92
7.4	Resumo dos Resultados.....	95
8	CONCLUSÃO.....	97
8.1	Trabalhos Futuros.....	98
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100