



Maria Celina Tavares Carneiro

**Otimização sob incerteza de carteiras de investimentos:
aplicação à cadeia integrada de petróleo e derivados.**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Silvio Hamacher

Rio de Janeiro
Abril de 2008



Maria Celina Tavares Carneiro

**Otimização sob incerteza de carteiras de investimentos:
aplicação à cadeia integrada de petróleo e derivados.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre (opção profissional) pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Silvio Hamacher

Presidente e orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Fernando Antonio Lucena Aiube

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Virgílio Ferreira Filho

UFRJ

Prof. Luiz Guilherme Barbosa Marzano

CEPEL

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 09 de abril de 2008

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

Maria Celina Tavares Carneiro

Graduou-se em Engenharia de Produção Elétrica na Puc-Rio em 2003. Trabalhou como analista de logística na Lafarge de 2003 a 2004. Ingressou na Petrobras após concurso em 2004 no cargo de Engenheira de Produção, trabalhou dois anos na área de suprimento da empresa e atualmente trabalha no Abastecimento, atuando na área de gestão de portfólio.

Ficha Catalográfica

Carneiro, Maria Celina Tavares

Otimização sob incerteza de carteiras de investimentos : aplicação à cadeia integrada de petróleo e derivados / Maria Celina Tavares Carneiro ; orientador: Silvio Hamacher. – 2008.
106 f. ; 30 cm

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

Inclui bibliografia

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Otimização estocástica. 3. Gerenciamento de riscos. 4. Petróleo. 5. CVAR. 6. MiniMax. 7. Refino. I. Hamacher, Silvio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Agradecimentos

Gostaria de registrar meus sinceros agradecimentos:

Ao professor Silvio Hamacher, pelo constante incentivo, apoio dispensado e participação efetiva em todas as fases deste trabalho;

Ao professor e consultor Fernando Aiube por sua fundamental contribuição no desenvolvimento deste trabalho, agora se dispondo a participar da banca examinadora;

Aos doutores Virgílio Ferreira Filho e Luiz Guilherme Marzano, pela pronta disposição de participar da banca examinadora;

Ao amigo Sérgio Vitor pelos comentários e sugestões fornecidas ao longo do trabalho;

À Gabriela Ribas pelo apoio na fase de desenvolvimento do modelo;

Ao meu marido, Rafael, pelo companheirismo, compreensão e apoio em todos os momentos;

Aos meus queridos pais Antonio e Carolina pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida;

À Petróleo Brasileiro S.A. pela oportunidade concedida na realização deste mestrado.

Resumo

Carneiro, Maria Celina. **Otimização sob Incerteza de Carteiras de Investimentos: Aplicação à Cadeia Integrada de Petróleo e Derivados.** Rio de Janeiro, 2008. 106p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nos últimos anos, nota-se uma forte tendência no Brasil de oferta de petróleos cada vez mais pesados e ácidos em contraposição a uma crescente demanda de derivados mais leves dentro de especificações mais rígidas. Dessa forma, o Brasil se depara com a necessidade em adaptar suas refinarias e rede logística a esse novo perfil. Nesse contexto é importante a avaliação da cadeia integrada de petróleo e derivados no longo prazo, visando auxiliar a tomada de decisão em relação aos projetos que devem ser considerados na carteira de investimentos. Por se tratar de uma decisão de longo prazo, é importante levar em consideração as incertezas relacionadas aos parâmetros considerados, como: oferta e preço de petróleos, demanda e preço de derivados e outros. Assim, torna-se possível a avaliação de uma carteira de projetos de investimentos considerando os riscos existentes. Este trabalho propõe apresentar uma metodologia de otimização sob incerteza, que utilize programação estocástica em conjunto com técnicas de otimização de portfólio, aplicada ao estudo de uma carteira de investimentos na área de abastecimento de petróleo. O estudo é focado em um modelo de programação linear que maximiza o resultado presente líquido esperado ao longo de um horizonte de tempo estipulado, dado um nível de risco aceitável. Foram propostas duas abordagens de medida de risco: Conditional Value-at-Risk (CVaR) e Minimax. A partir dos resultados numéricos, ficou comprovado que a decisão otimizada de investimento na área de petróleo e derivados apresenta variação com o nível de risco que se pretende assumir.

Palavras-chave

Otimização estocástica; gerenciamento de riscos; petróleo; CVAR, MiniMax; refino.

Abstract

Carneiro, Maria Celina Tavares. **Optimization Under Uncertainty: An Integrated Oil Chain Application**. Rio de Janeiro, 2008. 106p. M.Sc. Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Over the last years, a strong trade-off between crude oil offer and oil product demand has been posed in Brazil: while the oil produced in Brazil is getting heavier, its' products must be light, constrained by rigid specifications. Hence, the country needs to adapt its refineries and logistic network to this new profile. In this context, a long term analysis of the integrated oil chain is a relevant task. This analysis helps the decision maker to choose projects that should be considered in portfolio investment. During the decision process, it is important to take into account uncertainties related to some parameters: crude oil prices, crude oil offer, product prices, expected demand and others. By doing that, it is possible for the analyst to evaluate a project portfolio considering risks. The present work proposes a methodology for optimization under uncertainty, applied to the study of a portfolio investment for the downstream oil industry, employing both stochastic programming and portfolio optimization techniques. The study is focused on a linear programming model that maximizes the expected net present value (NPV) along the specified time horizon and risk level. Two approaches have been proposed to measure risk: Conditional Value-at-Risk (CVaR) and Minimax. The results show that the investment choice in the oil chain varies with the imposed risk level.

Keywords

Stochastic optimization; risk management; oil; CVAR; MiniMax; Refining.

Sumário

1	Introdução	11
2	Modelos de Otimização sob Incerteza	15
2.1.	Introdução	15
2.2.	Otimização sob Incerteza	16
2.3.	Otimização de Portfólio	19
2.3.1.	Introdução	19
2.3.2.	Média Variância – Markowitz	19
2.3.3.	Modelo MiniMax	22
2.3.4.	Value-at-Risk (VaR)	24
2.3.5.	Conditional Value-at-Risk (CVaR)	26
2.3.6.	Outras Medidas de Risco	30
2.4.	Conclusões	33
3	Programação Matemática no Downstream	35
3.1.	Modelos Típicos	36
3.1.1.	Blending	37
3.1.2.	Scheduling	39
3.1.3.	Logística	42
3.1.4.	Planejamento de Produção no Médio Prazo	44
3.1.5.	Planejamento de Longo Prazo	46
3.2.	Otimização sob Incerteza no Dowstream	47
3.2.1.	Modelos sem Consideração de Risco	47
3.2.2.	Modelos com Consideração de Risco	49
3.3.	Conclusões	51
4	Otimização de Portfólio na Área de Refino – Modelo de Solução	52
4.1.	Introdução	52
4.2.	Modelo Simplificado de Otimização do Parque de Refino	52
4.3.	Exemplo Quantitativo do Modelo Simplificado de Otimização do	

Parque de Refino	56
4.3.1. Valores Numéricos Considerados	56
4.3.2. Apresentação dos Cenários	59
4.3.3. Resultados Obtidos	61
4.4. Exemplo Quantitativo Utilizando Abordagem CVaR	63
4.5. Exemplo Quantitativo Utilizando Abordagem Minimax	66
4.6. Considerações Finais	68
5 Descrição do Modelo	69
5.1. Introdução	69
5.2. Descrição do Problema	69
5.2.1. Modelo Determinístico	71
5.2.2. Modelo Estocástico	73
5.2.3. Abordagens Propostas para Consideração de Risco	75
6 Construção de Cenários	77
6.1. Parâmetros Estocásticos	77
6.1.1. Oferta de Petróleo e Demanda de Derivados	78
6.1.2. Preço de Petróleo e Derivados	80
6.2. Construção dos Cenários	83
7 Resultados	87
7.1. Doze Cenários com Incerteza na Oferta de Petróleo, Demanda de Derivados e Preços	88
7.2. Nove Cenários com Incerteza na Oferta de Petróleo e Demanda de Derivados	91
7.3. Nove Cenários com Incerteza na Demanda de Derivados e Preços	92
7.4. Síntese dos Resultados	93
7.5. Considerações Finais	95
8 Conclusões	96
9 Bibliografia	99

Lista de figuras

Figura 2.1 – Fronteira Eficiente	21
Figura 2.2 – Risk Area Ratio (Aseeri and Bagajewicz, 2004)	31
Figura 3.1 – Cadeia de Suprimentos de Petróleo e Derivados Típica (Fonte: Neiro e Pinto, 2004)	43
Figura 4.1 - Modelo Simplificado de um Esquema de Refino	53
Figura 4.2 - Cenários	60
Figura 4.3 – Fronteira Eficiente do Portfólio com Uso de CVaR	64
Figura 4.4 - Percentuais Ótimos de Instalação	65
Figura 4.5 – Fronteira Eficiente do Portfólio com Uso de CVaR	66
Figura 4.6 – Fronteira Eficiente do Portfólio com Uso de Retorno Mínimo	67
Figura 5.1 – Refinarias e Oleodutos no Sudeste (Fonte: Transpetro)	70
Figura 6.1 – Distribuições de Preço do Brent por Período	81
Figura 6.2 – Distribuição de Preço do Brent no Período 1	82
Figura 6.3 – Abordagem 1 - Construção de 12 Cenários	84
Figura 6.4 – Abordagem 2 - Construção de 9 Cenários sem Variação de Preço	85
Figura 6.5 - Abordagem 3 - Construção de 9 Cenários sem Variação de Oferta de Petróleo	86
Figura 7.1– Fronteira Eficiente do Portfólio com Uso do CVaR e Minimax	89
Figura 7.2 - Fronteira Eficiente do Portfólio com Uso do CVaR e Minimax	91
Figura 7.3 - Fronteira Eficiente do Portfólio com Uso do CVaR e Minimax	93

Lista de tabelas

Tabela 4.1 - Rendimentos dos Petr6leos a partir da Destila73o Atmosf6rica	57
Tabela 4.2 - Rendimentos das Unidades de Processo	58
Tabela 4.3 – Custo Operacional por Unidade	58
Tabela 4.4 - Capacidade de Investimento por Unidade	59
Tabela 4.5 – Cen3rios – Curva de Petr6leo	59
Tabela 4.6 – Cen3rios - Derivados	60
Tabela 4.7 - Simula73oes	61
Tabela 4.8 - Resultados	61
Tabela 4.9 - Resultado por Cen3rio – Simula73o 7	62
Tabela 6.1 - Caracter3sticas da Constru73o de Cen3rios para Demanda de Derivado	78
Tabela 6.2 - Caracter3sticas da Constru73o de Cen3rios para Oferta de Petr6leos	79
Tabela 6.3 - Caracter3sticas da Constru73o de Cen3rios para Pre73os de Petr6leo e Derivados	83
Tabela 7.1 - Unidades de Processo Candidatas	87
Tabela 7.2 - Perfil de Investimentos 3timo	90
Tabela 7.3 - S3ntese das Tr3s Abordagens	94
Tabela 7.4 - Perfil de Investimentos nas Tr3s Abordagens	94