



Rosa Blajberg Benzecry

**Otimização da Programação de Movimentação de Petróleo:
Aplicação ao Sistema Terminal Duto Refinaria**

Dissertação de Mestrado (Opção profissional)

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Hamacher

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2010



Rosa Blajberg Benzecry

**Otimização da Programação de Movimentação de Petróleo:
Aplicação ao Sistema Terminal Duto Refinaria**

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

Prof. Dr. Silvio Hamacher
Orientador
PUC-Rio

Prof. Dr. Laura Silvia Bahiense da Silva Leite
UFRJ

Prof. Dr. Virgílio José Martins Ferreira Filho
UFRJ

Prof. José Eugênio Leal
Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 22 de fevereiro de 2010

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

Rosa Blajberg Benzecry

Graduada em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2002. Iniciou carreira profissional na Shell Brasil, sendo analista na área de planejamento de rede do Varejo e precificação de combustíveis do mercado de Grandes Consumidores. Desde 2004 é funcionária da Petrobras e trabalha na área de Logística do Abastecimento, na gerência de Suprimento de Petróleo, onde foi responsável pela programação de navios de petróleo da Bacia de Campos, e programação de suprimento de petróleo para as refinarias de São Paulo. Atualmente é responsável pela frente de processos do projeto de Sistema Integrado da Logística do Abastecimento.

Ficha Catalográfica

Benzecry, Rosa Blajberg

Otimização da programação de movimentação de petróleo : aplicação ao sistema terminal duto refinaria / Rosa Blajberg Benzecry ; orientador: Silvio Hamacher. – 2010.
88 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
Inclui bibliografia

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Programação. 3. Petróleo. 4. Duto. 5. Navio. I. Hamacher, Silvio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Dedico este trabalho especialmente
Ao meu marido Henrique e minha família.

Agradecimentos

Ao meu orientador, professor Silvio Hamacher, pelo estímulo, tempo e disposição em contribuir para a execução deste trabalho.

À minha gerente Giselle Prata Guedes Coelho, pelo incentivo em realizar este mestrado, pela flexibilidade concedida para a elaboração desta dissertação, bem como pelas orientações e ensinamentos transmitidos ao longo destes anos de trabalho na Logística.

À colega petroleira Bárbara Carvalho Pereira, pela grande ajuda na elaboração do modelo e utilização do AIMMS.

À Petrobras e ao gerente geral de operações logísticas, Rubens Azevedo, pela oportunidade que me foi dada.

À meus pais, Marlene e Israel, pelo amor incondicional, imenso e constante incentivo na minha formação acadêmica e carreira profissional, e por tudo que sou hoje.

Aos meus irmãos, Carlos, Silvia, Rubens, nora e cunhado, Jane e Rony, e meus sobrinhos, Daniel, Debora, Gabriel e David pela nossa união, amizade e apoio.

À meu marido Henrique, pelo amor, carinho, paciência e companheirismo.

Resumo

Benzecry, Rosa Blajberg. **Otimização da Programação de Movimentação de Petróleo: Aplicação ao Sistema Terminal Duto Refinaria**. Rio de Janeiro, 2010. 88p. Dissertação de Mestrado (Opção profissional) - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As decisões de cunho operacional tomadas no dia-a-dia das atividades de programação de movimentação de petróleo têm um forte impacto sobre o custo total desta cadeia de suprimentos. O desafio das áreas que tomam estas decisões diárias é elaborar uma programação de movimentação com o menor custo, com um alto nível de confiança e que seja factível para um determinado horizonte de tempo. Neste contexto, a utilização de programação matemática na programação de refinarias, dutos e terminais da cadeia de petróleo e derivados vem atraindo atenção crescente da indústria de petróleo. Este trabalho apresenta uma formulação matemática baseada em Programação Linear Inteira Mista (MILP) para o problema da movimentação de petróleo de um terminal até uma refinaria. No caso estudado, a movimentação acontece através de navios que descarregam seu produto no terminal de São Francisco do Sul, localizado no Estado de Santa Catarina, passando pelo duto OSPAR até chegar a seu destino final – a Refinaria de Araucária (REPAR), localizada no Estado do Paraná. Os principais resultados do modelo são a programação do sequenciamento de qual navio irá atracar no terminal, qual petróleo será descarregado e qual o volume e tipo de petróleo que será bombeado no duto para chegar a refinaria. O objetivo do modelo é minimizar os custos operacionais tomando-se em consideração o atendimento à demanda da refinaria, restrições de capacidade, disponibilidade de petróleo, manutenção dos estoques da refinaria e o bombeio ou não durante o período conhecido como horosazonal. Cenários testados com dados fornecidos pela Petrobras demonstram que através dos resultados do modelo é possível definir se há necessidade de utilizar o duto durante o horário de ponta ou não, garantindo a contratação de energia previamente junto às concessionárias, evitando desta forma o pagamento de multas, reduzindo um custo evitável. A partir dos resultados numéricos, ficou comprovado que o modelo pode gerar uma programação de movimentação de petróleo otimizada, em cenários de uma semana e um mês, ou indicar que não existe programação viável para tal cenário.

Palavras-chave

programação; petróleo; duto; navio

Abstract

Benzecry, Rosa Blajberg. **An Optimization Model of Crude Oil Scheduling: a Case Study on Terminal Pipeline Refinery system.** Rio de Janeiro, 2010. 88p. MSc Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The operational decisions of crude oil scheduling activities taken on a daily basis have a strong influence upon the overall supply chain cost. The challenge is to create a crude oil schedule that minimizes the total cost, and at the same time is feasible considering a limited scheduling horizon. The use of mathematical programming for the oil industry has increasingly drawn attention. This study presents a mathematical programming model based on mixed integer linear programming (MILP) for the crude oil scheduling of a system connecting a terminal to a refinery. On the case studied, the transfer occurs through tankers that unload their crude oil on the São Francisco do Sul terminal, located at Santa Catarina state, going through the OSPAR pipeline until it reaches its final destiny – Araucaria refinery (REPAR), located at Paraná state. The main results of the model are the scheduling of ships at the terminal, the scheduling of the pipeline and stocks levels at the terminal and at the refinery. The main goal of this model is to minimize the cost involved in operation, meeting the refinery demand, oil supply, capacity constraints, and the maintenance of refinery crude oil stock levels. This formulation was applied to real scenarios, with time-horizon from a week to a month, and was effectively solved with the proposed solution approach.

Keywords

Crude Oil, Pipeline, Ship, Scheduling

Sumário

1	Introdução	12
1.1.	Objetivos e delimitação da pesquisa	12
1.2.	Estrutura da dissertação	14
2	Fundamentação Teórica	16
2.1.	A atividade de programação	16
2.2.	Programação de produção de refinarias	17
2.3.	Programação de dutos	19
2.4.	Programação da cadeia de suprimentos	24
2.5.	Considerações	28
3	Estudo de Caso	29
3.1.	Planejamento e programação da cadeia de suprimentos de petróleo e derivados	29
3.2.	O sub-sistema Terminal de São Francisco do Sul – OSPAR - REPAR	32
3.3.	Descrição do suprimento de petróleo da REPAR	34
3.4.	Diagnóstico do problema de programação do sub-sistema	36
3.4.1.	O custo variável de energia	38
3.4.2.	O custo de navios	40
3.5.	Considerações	41
4	Modelagem proposta da programação do sub-sistema	43
4.1.	Hipóteses Consideradas	45
4.2.	Critérios de avaliação e solução do modelo	47
4.3.	Modelo	48
4.3.1.	Notação	49
4.3.2.	Formulação Matemática	52
4.3.3.	Restrições da refinaria e terminal	53
4.3.4.	Restrições dos navios	55
4.3.5.	Restrições dos dutos	56
5	Experimentos computacionais	61
5.1.	Definição dos parâmetros	61
5.2.	Soluções das instâncias e Análise dos Resultados	65
5.2.1.	Instância 1A	66
5.2.2.	Instância 1B	70
5.2.3.	Instância 2 ^a	72
5.2.4.	Instância 2B	73
5.2.5.	Instância 3 ^a	75
5.2.6.	Instância 3B	77
5.2.7.	Instância 1C	80
6	Conclusões e trabalhos futuros	82
6.1.	Propostas para trabalhos futuros	83
7	Referências Bibliográficas	85

Lista de figuras

Figura 1 – Cadeia de suprimentos de petróleo e derivados típica	25
Figura 2 – Desdobramento do planejamento em programação	31
Figura 3 – Sistema REPAR – Terminal de São Francisco do Sul	33
Figura 4 – Deslocamento de lotes de produtos dentro de um duto	44
Figura 5 – Deslocamento de lotes de tamanho variável dentro de um duto	45
Figura 6 – Desenho esquemático da restrição em que cada trecho do duto contém apenas um produto	56
Figura 7 – Desenho esquemático da chegada dos lotes na refinaria	59
Figura 8 – Sequência de bombeio	67
Figura 9 – Projeção de estoque de petróleo leve na refinaria – resultado da instância 1 ^a	68
Figura 10 – Projeção de estoque de petróleo pesado na refinaria – resultado da instância 1 ^a	68
Figura 11 – Projeção de estoque de petróleo leve no terminal – resultado da instância 1A	69
Figura 12 – Projeção de estoque de petróleo pesado no terminal – resultado da instância 1 ^a	69
Figura 13 – Projeção de estoque de petróleo leve na refinaria – resultado da instância 1B	70
Figura 14 – Projeção de estoque de petróleo pesado na refinaria – resultado da instância 1B	71
Figura 15 – Projeção de estoque de petróleo leve no terminal – resultado da instância 1B	72
Figura 16 – Projeção de estoque de petróleo leve na refinaria – resultado da instância 2B	74
Figura 17 – Projeção de estoque de petróleo pesado na refinaria – resultado da instância 2B	74
Figura 18 – Projeção de estoque de petróleo leve na refinaria – resultado da instância 3A	76

Figura 19 – Projeção de estoque de petróleo pesado na refinaria – resultado da instância 3A	76
Figura 20 – Projeção de estoque de petróleo leve na refinaria – resultado da instância 3B	78
Figura 21 – Projeção de estoque de petróleo pesado na refinaria – resultado da instância 3B	78
Figura 22 – Projeção de estoque de petróleo leve no terminal – resultado da instância 3B	79
Figura 23 – Projeção de estoque de petróleo pesado no terminal – resultado da instância 3B	80

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resumo da literatura existente em relação ao problema de transporte em rede dutoviária	20
Tabela 2 – Distribuição da capacidade de refino no Brasil	32
Tabela 3 – Tarifa de demanda contratada da COPEL	40
Tabela 4 – Distribuição percentual do custo total do Transporte Marítimo em 2007	41
Tabela 5 – Modelagem dos lotes no duto	62
Tabela 6 – Parâmetros de estoque e demanda das instâncias utilizadas	64
Tabela 7 – Parâmetros relativos a navios das instâncias utilizadas	64
Tabela 8 – Resumo das instâncias	66
Tabela 9 – Análise de sensibilidade para o valor de f – cenário 1A	67
Tabela 10 – Resultado da instância 1 ^a	67
Tabela 11 – Resultados da instância 1B	71
Tabela 12 – Resultados da instância 2B	74
Tabela 13 – Resultados da instância 3A	75
Tabela 14 – Resultados da instância 3B	77
Tabela 15 – Resultados da instância 3B	79
	81