

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Adriana Costa Soares**

**Diagnóstico e modelagem da rede de distribuição  
de derivados de petróleo no Brasil**

**Dissertação de Mestrado**

**Departamento de Engenharia Industrial**

**Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro, 20 de fevereiro de 2003.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Adriana Costa Soares**

**Diagnóstico e modelagem da rede de distribuição  
de derivados de petróleo no Brasil**

**Dissertação de Mestrado**

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

Orientador: Jose Eugenio Leal

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2003

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Adriana Costa Soares**

## **Diagnóstico e modelagem da rede de distribuição de derivados de petróleo no Brasil**

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.

**Jose Eugenio Leal**  
Orientador  
PUC-Rio

**Sergio Leal Braga**  
PUC-Rio

**Ronaldo Balassiano**  
COPPE-UFRJ

**Ney Augusto Dumont**  
Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 20 de fevereiro de 2003

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

### **Adriana Costa Soares**

Graduou-se em Engenharia de Produção na UFF (Universidade Federal Fluminense) em 2001. Atualmente trabalha com logística e sistemas de transportes, especialmente com sistemas de informação geográfica

#### Ficha Catalográfica

Soares, Adriana Costa

Diagnóstico e modelagem da rede de distribuição de derivados de petróleo no Brasil / Adriana Costa Soares; orientador: José Eugenio Leal. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Industrial, 2003.

[15], 156 f. : il. ; 30 cm Dissertação de Mestrado

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Custos logísticos. 3. Sistemas de Informação geográfica. 4. Logística de distribuição de petróleo e derivados. 5. Estoques estratégicos de combustíveis. I. Leal, José Eugenio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

A meus queridos pais, Celina e Pedro, e  
meus queridos irmãos, Thales e Fábio.

## **Agradecimentos**

A Deus, por ter me dado forças e olhado por mim sempre, me ajudando na busca dos melhores caminhos.

Aos meus queridos pais e irmãos por todo o carinho e apoio nos momentos difíceis e felizes deste trabalho. Sem a força de vocês não teria sido possível desenvolver esse trabalho.

Ao meu orientador e amigo, Prof. José Eugênio Leal, pelo apoio e confiança depositada em mim no decorrer desta dissertação.

A meu namorado e grande amor Richard, por todo carinho, paciência, compreensão e apoio em todos os momentos e por me fazer feliz a cada dia.

Aos meus orientadores da graduação Helder Gomes Costa e Maurício Kischinhevsky, que me mostraram o prazer da pesquisa e me apoiaram na decisão do ingresso no meio acadêmico.

As minhas grandes amigas, fiéis companheiras, Andressa, Luciana, Gisela, Mariana, Patrícia e Déborah, minha irmãzinha querida.

A toda equipe do Projeto de Estoques Estratégicos, em especial ao Ítalo e a Elaine, uma amiga que me ensinou todos os segredos do TransCAD.

A ANP por disponibilizar os dados, em especial ao Carlos Maligo, pelas conversas sobre a distribuição de combustíveis e pelo apoio no meu projeto de doutorado.

A todos os meus amigos, colegas, professores e funcionários do Departamento de Engenharia Industrial pelo apoio e confiança.

A CAPES pelo apoio financeiro.

## Resumo

Soares, Adriana. **Diagnóstico e Modelagem da Rede de Distribuição de Derivados de Petróleo no Brasil**. Rio de Janeiro, 2003. 171p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação apresenta um estudo sobre a Logística de Distribuição de Derivados de Petróleo, com o desenvolvimento de um modelo matemático para a determinação do custo logístico de distribuição de estoques estratégicos de combustíveis no Brasil. Este modelo não se propõe a determinar o custo ótimo de distribuição e sim estabelecer uma distribuição racional dos estoques estratégicos de combustíveis, com base na malha real de distribuição. Para o desenvolvimento do modelo, primeiramente foi realizado um diagnóstico da distribuição nacional de derivados energéticos de petróleo, mais especificamente gasolina, diesel, querosene de aviação, óleo combustível e gás liquefeito de petróleo. Para cada um desses produtos determinou-se a malha de distribuição, com os fluxos de produtos entre refinarias e terminais até as bases de combustíveis secundárias, com seus respectivos modais. Em uma segunda etapa foi construída uma base de dados georreferenciada no software TransCAD, com os dados levantados e diagnosticados anteriormente. Este sistema de informação geográfica serviu como suporte para análises logísticas e como facilitador na visualização e entendimento dos resultados. Os resultados dos custos logísticos de distribuição são mostrados por produto, para evidenciar o caráter diferenciado da distribuição de cada derivado.

## Palavras-chave

Custos Logísticos; Sistemas de Informação Geográfica; Logística de Distribuição de Petróleo e Derivados; Estoques Estratégicos de Combustíveis

Soares, Adriana Costa; Leal, José Eugenio (Advisor). **Diagnosis and Modeling of the Petroleum Logistic Network in Brazil** Rio de Janeiro, 2003. 171p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This master thesis presents a study about the petroleum products distribution system, with the development of a mathematical model for the determination of the logistic costs of strategic oil stocks in Brazil. This model doesn't intend to determine the minimum distribution cost, but establishes a rational distribution of the strategic oil stocks, based in the real distribution network. For the development of the model, firstly a diagnosis of the national distribution was accomplished, more specifically gasoline, diesel, aviation kerosene, combustible oil and liquefied gas of petroleum. For each one of those products, the distribution network was determined, with the flows of products among refineries and terminals until the secondary bases of fuels, with its respective transportation modals. In a second stage, a geographical database was built in the software TransCAD, with all available data. This geographical information system was a support tool for logistic analyses, visualization and better understanding of the results. The results of the total distribution costs are presented by product, to evidence the differentiated character of the distribution of each product.

## **Keywords**

Logistics Costs; Geographical Information Systems; Strategic oil stocks; Petroleum Products Distribution



## Sumário

1. Introdução	1
1.1 Cenário e Tendência	1
1.2 Apresentação do Problema	2
1.3 Objetivos e Premissas	3
1.4. Importância e relevância do estudo	5
1.5. Limitação do universo de análise	5
1.6. Estrutura da Tese	6
2. A Logística	7
2.1 O Conceito da Logística	7
2.2 A Evolução do Conceito da Logística	11
2.3 A Distribuição Física de Produtos	13
2.3.1 Componentes do Sistema de Distribuição	16
2.3.2 Custo Logístico Total	17
2.3.3 A Compensação de Custos (trade-offs)	18
2.3.4. Modelos de distribuição para determinação dos Custos Logísticos	19
2.3.5 Modelos de Distribuição Aplicados a Logística de Petróleo	22
2.3.6. Planejamento da Rede de Distribuição Logística	23
2.4 A Importância dos Conceitos Relacionados à Logística para o Desenvolvimento do Estudo	26
3. Sistemas de Informação Geográfica	28
3.1 Definição e Conceitos Básicos	28
3.2. Características da Informação Geográfica	30
3.3. Classificação do SIG	31
3.4. Tipos Básicos de Elementos Espaciais	32
3.6. Estrutura e Modelagem dos Dados Geográficos	33
3.7 Banco de Dados Geográfico	34
3.8. Projeto de um SIG	35
3.9. Aplicações a Transportes	36
3.10. O Software TransCAD	38
4. Logística na Indústria de Petróleo	41
4.1. Considerações Iniciais	41

4.2 Situação Atual do Setor no Brasil _____	42
4.2.1. Oferta e Demanda de Petróleo _____	42
4.2.2. Oferta e Demanda de Derivados de Petróleo _____	46
4.3. A questão do Estoque Estratégico de Petróleo e Derivados no Mundo _____	52
4.4. A questão do Estoque Estratégico de Petróleo e Derivados no Brasil _____	55
4.5. Estrutura Logística de Distribuição de Derivados de Petróleo ____	57
4.5.1. Fontes de Origem de Derivados: Refinarias _____	61
4.5.2. Fontes de Origem de Derivados: Terminais de Armazenagem	63
4.5.3 Bases de Distribuição Primárias e Secundárias _____	65
4.5.4 Armazenadoras _____	66
4.5.5 Oferta de Transportes _____	67
4.6 Análise da Logística na Indústria Nacional de Petróleo _____	69
5.0. Determinação do Custo Logístico de Distribuição para a construção e manutenção de Estoques Estratégicos no Brasil _____	71
5.1. Considerações Gerais _____	71
5.2. Itens de Custo Considerados _____	72
5.2.1 Custo de Investimento para a Formação dos Estoques Estratégicos _____	73
5.2.2. Custo de Movimentação para a Formação dos Estoques ____	73
5.2.3. Custos de Manutenção dos Estoques _____	74
5.3. Construção do Modelo e Procedimento de Análise _____	75
5.3.1. Custo de Estoque _____	76
5.3.2 Custo de Transporte _____	77
5.3.3 Custo de Armazenagem _____	78
5.3.4 Modelo do Custo Logístico de Distribuição _____	78
5.4. Construção da Base de Dados de Distribuição para a Logística do Petróleo _____	79
5.5 Determinação dos Custos Unitários de Transporte _____	89
5.6 Georeferenciamento dos Dados de Distribuição de Derivados de Petróleo _____	91
5.6.1. Modelagem do Sistema _____	92
5.6.2. Dimensionamento da Rede de Distribuição _____	94
5.6.3. Determinação das Áreas de Influência e Cálculo dos Caminhos Mínimos _____	96

5.7. Observações sobre o Levantamento de Dados e Modelagem do Sistema _____	97
6.0 Geração e Análise dos Resultados _____	100
6.1 Considerações sobre a metodologia de cálculo _____	100
6.2. Custo Logístico de Distribuição de Gás Liquefeito de Petróleo__	102
6.3. Custo Logístico de Distribuição de Gasolina _____	107
6.4. Custo Logístico de Distribuição de Diesel _____	110
6.5. Custo Logístico de Distribuição de Querosene de Aviação _____	114
6.6. Custo Logístico de Distribuição de Óleo Combustível _____	118
6.7. Resumo e Análise dos Resultados _____	123
6.8. Estrutura de Custos Utilizando Valores Agregados _____	124
7. Considerações Finais _____	127
8. Referências Bibliográficas _____	130
Apêndice I: Procedimento de Cálculo para determinação dos custos de Distribuição _____	135
Apêndice II: Fluxos de Transporte Considerados _____	138
Apêndice III: Planilha para Coleta de Dados Referentes à Distribuição de Combustíveis _____	149
Anexo I: Determinação das Tarifas de Transporte Ferroviário, Dutoviário e Fluvial _____	153

## Índice de Figuras

Figura 1: Processo de Gerenciamento Logístico _____	8
Figura 2: Macrofluxo de Distribuição _____	10
Figura 3: Fluxo Logístico _____	11
Figura 4: Compensação de Custos _____	19
Figura 5: Rede Logística Genérica _____	24
Figura 6: Estrutura interna de um SIG _____	30
Figura 7: Camada de Dados Geográficos _____	33
Figura 8: Etapas de desenvolvimento de um SIG _____	35
Figura 9: : Rede Logística Esquemática de Distribuição da Indústria de Petróleo _____	59
Figura 10: Estrutura da Logística de Distribuição para o GLP _____	60
Figura 11: Distribuição Espacial das Refinarias _____	62
Figura 12: Disposição Espacial dos Terminais de Armazenagem _____	64
Figura 13: Distribuição Espacial das Bases _____	66
Figura 14: Malha Dutoviária Brasileira _____	68
Figura 15: Itens do Custo Logístico de Distribuição _____	72
Figura 16: : Esquema de Criação do Banco de Dados _____	80
Figura 17: Área de Influência Real da Região Sul para o GLP _____	84
Figura 18: Área de Influência calculada pelo TransCAD _____	85
Figura 19: Constituição do Volume dos Estoques Estratégicos _____	87
Figura 20: : Modelo Entidade – Relacionamento _____	92
Figura 21: Raio de Atuação das Bases de Gasolina e Diesel _____	97
Figura 22: Distribuição Espacial do Estoque Estratégico de GLP _____	106
Figura 23: Distribuição Espacial do Estoque de Gasolina _____	110
Figura 24: Distribuição Espacial de Querosene de Aviação _____	118
Figura 25: Distribuição Espacial dos Estoques de OC _____	122

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Importação de Derivados de Petróleo Energéticos _____	49
Tabela 2: Produção de Derivados de Petróleo Energéticos 1992-2001 _	50
Tabela 3: Oferta total de derivados _____	50
Tabela 4: Vendas Nacionais, pelas distribuidoras, dos principais derivados de petróleo _____	51
Tabela 5: Estruturas de Estocagem para Reservas Estratégicas _____	54

Tabela 6: Produção de Derivados nas Refinarias em 2001 _____	63
Tabela 7: Volumes de Estoques incorretos obtidos na Base de dados da ANP _____	82
Tabela 8: Divergências na Base de Dados da ANP com relação à Localização de Bases _____	82
Tabela 9: : Alocação da Demanda das Bases Secundárias nas Bases Primárias _____	88
Tabela 10: : Alocação da Demanda das Bases Primárias às Refinarias _____	88
Tabela 11: Tabela de Formação de Preços Rodoviário _____	89
Tabela 12: Determinação dos Coeficientes da Reta _____	90
Tabela 13: Tarifas de Transporte para Gasolina _____	91
Tabela 14: : Custo Logístico de Distribuição para GLP _____	103
Tabela 15: Custo Logístico de distribuição do GLP sem financiamento (R\$) _____	103
Tabela 16: Localização do Volume Diário de Estoque Estratégico de GLP _____	104
Tabela 17: : Custo Logístico Anual de Distribuição para a Gasolina _____	107
Tabela 18: Custo logístico de distribuição da gasolina sem financiamento (milhões de R\$) _____	108
Tabela 19: Localização do Volume Diário do Estoque Estratégico de Gasolina _____	108
Tabela 20: : Custo Logístico Total para Diesel _____	111
Tabela 21: Custo logístico de distribuição do diesel sem financiamento (R\$) _____	112
Tabela 22: Localização do Volume Diário do Estoque Estratégico de Diesel _____	112
Tabela 23: : Custo Logístico Anual de Distribuição para o querosene de aviação _____	115
Tabela 24: Custo logístico de distribuição do diesel sem financiamento (R\$) _____	116
Tabela 25: Localização dos Volumes Diários dos Estoques Estratégicos de Qav _____	116
Tabela 26: : Custo Logístico Anual de Distribuição para o óleo combustível _____	119
Tabela 27: Custo logístico de distribuição do óleo combustível sem financiamento (R\$) _____	120
Tabela 28: Localização dos Volumes Diários de Estoques Estratégicos de OC _____	120
Tabela 29: Resumo dos Resultados de Custos para Distribuição do Estoque Estratégico nas Bases Primárias _____	123

Tabela 30: Dados de Entrada para Análise de Custos Médios \_\_\_\_\_ 125

Tabela 31: Comparativo entre custo médio e custo total calculado para 1 dia de estoque estratégico \_\_\_\_\_ 126

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Evolução da Produção de petróleo, por localização) 1992 – 2001 (terra e mar) \_\_\_\_\_ 43

Gráfico 2: Evolução do volume importado e do dispêndio com importação de petróleo \_\_\_\_\_ 44

Gráfico 3 - Distribuição percentual da importação de petróleo, segundo procedência – 2001 \_\_\_\_\_ 45

Gráfico 4 - Evolução do volume de petróleo refinado, segundo origem (nacional e importada) - 1992 – 2001 \_\_\_\_\_ 46

Gráfico 5: Distribuição Percentual da Produção de derivados de petróleo energético – 2001 \_\_\_\_\_ 47

Gráfico 6: Evolução da importação de derivados de petróleo energéticos e não energéticos - 1992 – 2001 \_\_\_\_\_ 47

Gráfico 7: Distribuição percentual da importação de derivados, segundo procedência – 2001 \_\_\_\_\_ 48

Gráfico 8: Volume importado e exportado, dispêndio com importação e e receita com exportação de derivados de petróleo - 1992 – 2001 \_\_\_\_\_ 49

Gráfico 9: Oferta de derivados de petróleo \_\_\_\_\_ 51

Gráfico 10: Evolução da Demanda Nacional de Derivados \_\_\_\_\_ 52

## Definição de símbolos

$Vol_a$  : volume total de todos os municípios atendidos diretamente pela base primária  $a$

$Vol_{ab}$  : volume total de todos os municípios atendidos diretamente pela base secundária  $b$  alocado na base primária  $a$

$E_{R_a}$  : volume total alocado na base primária  $a$

$CE_a$  : custo financeiro de estoque na base  $a$

$\alpha$  : taxa de custo financeiro por ano

$\mu$  : valor médio unitário do produto , em R\$/ton e R\$/m<sup>3</sup>

$Vol_a$  : volume total de todos os municípios atendidos diretamente pela base primária  $a$

$f_a^o$  : fração do volume enviado para base primária  $a$  a partir da origem  $o$

$p_{oa}^m$  : fração do produto transportado pelo modo de transporte  $m$  da origem  $o$  para a base primária  $a$

$d_{oa}^m$  : distância percorrida entre o ponto de fornecimento  $o$  e a respectiva base primária  $a$ , pelo modo de transporte  $m$

$C^m(f_a^o * p_{oa}^m * E_{R_a}, d_{oa}^m)$  : custo unitário de transporte para o modal  $m$ .

$freq$  : frequência de reposição do volume total estratégico durante o ano

$CT_a$  : custo total de transporte para transportar o volume total do estoque estratégico para a base primária  $a$

$C_{arm_a}(E_{R_a})$  : custo unitário de armazenagem na base primária  $a$

$C_{arm_a}$  : custo total de armazenagem na base primária  $a$

$CT$  : custo logístico de distribuição total para constituição dos estoques estratégicos