



**Thiago Dias de Oliveira**

**Modelo de otimização para avaliação do  
suprimento de gasolina e diesel na região  
Nordeste do Brasil**

**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  
da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Fabrício Oliveira

Rio de Janeiro  
Novembro de 2014



**Thiago Dias de Oliveira**

**Modelo de otimização para avaliação do suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste do Brasil**

**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 da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Fabrício Oliveira**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC/Rio

**Prof. Hugo Miguel Varela Repolho**

Departamento de Engenharia Industrial – PUC/Rio

**Prof. Sílvio Hamacher**

Departamento de Engenharia Industrial – PUC/Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de Novembro de 2014

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

## Thiago Dias de Oliveira

Bacharel em Química pela Universidade Brasília em 2007 e especialização para exercer o cargo de Analista de Comercialização e Logística pela Universidade Petrobras em 2008. Funcionário da Petrobras desde fevereiro de 2008, trabalhou por quatro anos com o acompanhamento das entregas de gasolina e diesel em São Paulo e na região Centro-Oeste do país. Trabalha desde março de 2012 na gestão do suprimento de diesel nas regiões Norte e Nordeste do país.

### Ficha Catalográfica

Oliveira, Thiago Dias de

Modelo de otimização para avaliação do suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste do Brasil / Thiago Dias de Oliveira; orientador: Fabrício Oliveira. – 2014.

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

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2014.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Cadeia de suprimento da indústria de petróleo. 3. Planejamento tático. 4. Transporte marítimo. 5. Programação matemática. I. Oliveira, Fabrício. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

## Agradecimentos

A Deus, que me conduz em meus caminhos e me dá força para vencer todas as batalhas, me preparando para vencer cada desafio.

Aos meus filhos, Carol (*in memoriam*) e Pedro, que trouxeram um novo significado para minha vida.

À minha esposa, Larissa, pelo carinho, compreensão e apoio que me deu neste período, sempre me incentivando para concluir esta nova etapa, e pela cumplicidade que sempre teve em todos os momentos.

Aos meus pais, Helvécio e Lúcia, que conseguiram me passar todos os seus valores para que eu me transformasse na pessoa que sou hoje.

Ao meu irmão, Gustavo, que sempre esteve ao meu lado.

Aos demais familiares e amigos, que sempre torceram e me apoiaram em todos os desafios nos quais eu me aventurei.

Ao orientador Fabrício Oliveira, que ao longo desta parceria, se mostrou uma pessoa extremamente comprometida, dedicada e sempre disposta a me ajudar no projeto, mesmo quando tudo não passava de uma simples idéia.

À Petrobras, que representada pelos Gerentes Gerais e Gerente que tive ao longo destes seis anos, possibilitou o meu desenvolvimento e me concedeu esta oportunidade de cursar a pós-graduação.

À PUC-Rio, que me proporcionou esta etapa de desenvolvimento, representada pelo corpo docente altamente qualificado do Departamento de Engenharia Industrial.

## Resumo

Oliveira, Thiago Dias de; Oliveira, Fabrício (Orientador). **Modelo de otimização para avaliação do suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro, 2014. 79p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O aumento expressivo no consumo de combustíveis no Brasil trouxe grandes desafios para a cadeia de suprimento no país. Ao longo dos últimos cinco anos (2009-2013), o mercado brasileiro de gasolina e diesel cresceu 62,8% e 32,0%, respectivamente. Porém, os investimentos em produção e infraestrutura não acompanharam este crescimento, tornando estes desafios cada vez maiores. Na região Nordeste do país, que é suprida majoritariamente por cabotagem, a infraestrutura para movimentação dos derivados de petróleo está aquém daquela necessária, trazendo ineficiências à cadeia de suprimentos e aumentando significativamente os custos envolvidos nas operações. Para avaliação do suprimento desta região, foi proposto um modelo de programação matemática que considera todas as restrições que impactam diretamente o suprimento de gasolina e diesel, identificando inclusive aquelas restrições que são ocasionadas por outros agentes da cadeia, como por exemplo, insuficiência de tancagem dos clientes, restrição de calados dos portos e elevadas taxas de ocupação dos portos públicos, aumentando os custos de sobrestadia. Para complementar a análise, alternativas para direcionamento de investimento dos distribuidores de forma eficiente, minimizando os custos da cadeia de suprimento, foram avaliadas. O modelo também foi utilizado na discussão dos níveis de serviço praticados pela Petrobras no atendimento da demanda de gasolina e diesel nos polos da região. O trabalho teve uma abordagem da cadeia de suprimento voltada para o planejamento tático, se mostrando como uma ferramenta eficiente para suporte à tomada de decisões.

## Palavras-chave

Cadeia de suprimento da indústria de petróleo; planejamento tático; transporte marítimo; programação matemática.

## Abstract

Oliveira, Thiago Dias de; Oliveira, Fabrício (Advisor). **Optimization model for evaluating the supply of gasoline and diesel in the Brazil's Northeast region**. Rio de Janeiro, 2014. 79p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The significant increase of fuel consumption in Brazil has brought major challenges to the supply chain in the country. Over the last five years (2009-2013), the Brazilian market for gasoline and diesel has increased 62.8% and 32.0%, respectively. However, investments in production and infrastructure have not kept up this growth, increasing the challenges. In the Northeast region of the country, which is supplied largely by coastal shipping, the infrastructure for the petroleum products movement falls short of what is needed bringing several inefficiencies to the supply chain and significantly increasing the costs involved in operations. To assess the supply of this region, a mathematical programming model was proposed which considers all the constraints that directly impact the supply gasoline and diesel, including identifying those constraints that are caused by other actors in the chain, such as insufficient costumer's tankage, draught restriction of ports and high occupancy rates of public ports, raising the cost of demurrage. To complement the analysis, alternative scenarios to allocate the distributor's investments efficiently were evaluated to minimize the costs of the supply chain. The proposed model was also used to discuss the service levels committed by Petrobras in meet the demand for gasoline and diesel at the region. The study had an approach to supply chain oriented for tactical planning, showing as an efficient tool to support decision making.

## Keywords

Petroleum supply chain; tactical planning; maritime transportation; mathematical programming.

## Sumário

1	INTRODUÇÃO .....	12
1.1	Objetivo .....	14
1.2	Metodologia.....	15
1.3	Estrutura do trabalho.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Planejamento da cadeia de suprimento .....	16
2.1.1	Planejamento estratégico.....	18
2.1.2	Planejamento tático .....	19
2.1.3	Planejamento operacional.....	21
2.2	Otimização da cadeia de suprimento de petróleo .....	22
2.3	Transporte marítimo.....	24
3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	27
3.1	A cadeia de suprimentos da indústria petrolífera brasileira.....	27
3.2	Suprimento de gasolina e diesel no Brasil .....	30
3.2.1	Suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste do Brasil .....	32
4	MODELO PLIM PARA APOIO NA TOMADA DE DECISÕES NA CADEIA DE SUPRIMENTO <i>DOWNSTREAM</i> DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA .....	36
4.1	Objetivo do modelo .....	36
4.2	Descrição do modelo.....	38
4.2.1	Índices .....	39
4.2.2	Parâmetros .....	39
4.2.3	Variáveis .....	41
4.2.4	Função Objetivo e Restrições.....	42
5	ESTUDO DE CASO .....	46
5.1	Apresentação do contexto do Estudo de Caso .....	46
5.2	Análise de Resultados do Estudo de Caso .....	50

6	ANÁLISE DE CENÁRIOS .....	58
6.1	Impacto das restrições ocasionadas por agentes externos.....	58
6.2	Direcionamento de investimentos de terceiros.....	63
6.2.1	Calado do Porto de Cabedelo – PB .....	63
6.2.2	Entrega de derivados no Porto de Pecém – CE.....	66
6.3	Nível de Serviço .....	70
7	CONCLUSÃO .....	73
7.1	Trabalhos futuros .....	74
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76



## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Planejamento da Cadeia de Suprimento.....	17
Figura 2.2 – Representação geral de um problema de rede da cadeia de suprimento.....	19
Figura 2.3 – Infratestrutura da PETROBRAS: cadeia de suprimento de petróleo .....	20
Figura 3.1 – Sub-cadeias da cadeia de suprimento de petróleo .....	27
Figura 3.2 – Importação líquida de derivados de petróleo no Brasil.....	28
Figura 3.3 – Agentes do <i>downstream</i> da cadeia de suprimento de petróleo.....	29
Figura 3.4 – Plano de Negócios e Gestão 2014-2018.....	30
Figura 3.5 – Evolução dos mercados de gasolina e diesel .....	31
Figura 3.6 – Evolução da tancagem de combustíveis da distribuição.....	31
Figura 3.7 – Bases primárias de distribuição.....	33
Figura 3.8 – Produção/Consumo de gasolina e diesel na região Nordeste do Brasil (em mil m <sup>3</sup> ) .....	34
Figura 3.9 – Número de bases e capacidade de armazenagem de derivados de petróleo, exceto GLP, na região Nordeste do Brasil .....	35
Figura 4.1 – Rede da cadeia de suprimento de derivados de petróleo .....	37
Figura 5.1 – Rede logística do suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste.....	46
Figura 5.2 – Produção e mercado de gasolina e diesel no Brasil em 2013.....	47
Figura 5.3 – Mercados da região Nordeste do Brasil .....	49
Figura 5.4 – Custos logísticos no suprimento de gasolina e diesel da região Nordeste do Brasil .....	51
Figura 5.5 – Custos logísticos por período.....	52
Figura 5.6 – Estoque médio mensal de derivados por período .....	52

Figura 5.7 – Participação dos principais portos nas movimentações de gasolina e diesel por período .....	53
Figura 5.8 – Taxa de ocupação da tancagem da Transpetro durante o período .....	54
Figura 5.9 – Importação de gasolina e diesel no período.....	54
Figura 6.1 – Média dos custos logísticos mensais dos cenários analisados.....	60
Figura 6.2 – Média mensal das movimentações nos portos públicos nos cenários analisados.....	61
Figura 6.3 – Média mensal dos custos logísticos nos cenários 1 e 7 (em R\$ MM) .....	62
Figura 6.4 – Evolução dos custos logísticos com o suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste com o aumento do calado do porto de Cabedelo.....	64
Figura 6.5 – Médias mensais dos custos logísticos com o suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste com o aumento do calado do porto de Cabedelo.....	65
Figura 6.6 – Vista aérea do Porto de Mucuripe e localização dos ativos de distribuição de derivados.....	67
Figura 6.7 – Evolução dos custos logísticos com o suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste com a substituição do porto de Mucuripe pelo porto de Pecém .....	69
Figura 6.8 – Médias mensais dos custos logísticos com o suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste com a substituição do porto de Mucuripe pelo porto de Pecém .....	69
Figura 6.9 – Evolução da média mensal dos custos logísticos nos cenários avaliados .....	71
Figura 6.10 – Comparação das médias mensais dos custos logísticos com o suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste com a alteração do nível de serviço exigido .....	72

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Comparação de características operacionais de modais de transporte .....	25
Tabela 2.2 – Revisão bibliográfica com a comparação dos modelos de otimização na cadeia de suprimento dos trabalhos analisados.....	26
Tabela 4.1 – Índices do modelo .....	39
Tabela 4.2 – Sub-índices do modelo.....	39
Tabela 4.3 – Parâmetros do modelo .....	39
Tabela 4.4 – Variáveis do modelo.....	41
Tabela 5.1 – Grupamento de polos, terminais e refinarias.....	48
Tabela 5.2 – Volumes transportados pelo modal rodoviário entre os polos.....	55
Tabela 5.3 – Nível de serviço prestado pela Petrobras no suprimento de gasolina e diesel na região por produto .....	56
Tabela 5.4 – Nível de serviço prestado pela Petrobras no suprimento de gasolina e diesel na região por polo e produto.....	57
Tabela 6.1 – Déficit / Excesso de tancagem nos polos de cabotagem da região Nordeste para o período.....	58
Tabela 6.2 – Tempo máximo de ressuprimento por polo e produto .....	59
Tabela 6.3 – Cenários analisados.....	60
Tabela 6.4 – Nível de serviço prestado pela Petrobras no suprimento de derivados na região por produto – Cenário 7 .....	62
Tabela 6.5 – Nível de serviço prestado pela Petrobras no suprimento de derivados na região por polo e produto – Cenário 7 .....	62
Tabela 6.6 – Nível de serviço prestado pela Petrobras no suprimento de derivados na região por polo e produto após investimento em Cabedelo.....	65
Tabela 6.7 – Navios atracados no Porto de Mucuripe-CE entre 01 e 15/09/2014 .....	66
Tabela 6.8 – Cenários com diferentes níveis de serviço .....	71

# 1 Introdução

A demanda por combustíveis fósseis no Brasil vem apresentando elevadas taxas de crescimento nos últimos anos. De acordo com os dados da ANP (2014a), no período entre 2005 e 2013, a demanda por gasolina A apresentou um crescimento de 79,3%, enquanto que o diesel apresentou um crescimento médio de 49,3% neste mesmo período. O aumento desta demanda pode ser justificado por vários fatores, dentre os quais podemos destacar, no caso da gasolina, a expansão do crédito no país, aumento na renda da população e a escassez na oferta de etanol nestes últimos anos. Para o diesel temos a expansão da fronteira agrícola e aumento da produtividade no plantio, geração de energia pelas termelétricas e aumento da produção industrial.

Em contrapartida, a produção destes derivados cresceu a uma taxa de média de apenas 6,2% a.a e 3,5% a.a. para gasolina A e diesel, respectivamente, entre os anos de 2005 e 2013. Com estas taxas de crescimento da produção de derivados abaixo das taxas de crescimento da demanda, o Brasil se tornou deficitário no balanço de gasolina A e viu o déficit do balanço de diesel aumentar ainda mais. Este cenário resultou em um expressivo aumento das importações de derivados de petróleo no país.

Para atender ao aumento na movimentação de derivados de petróleo nos sistemas logísticos brasileiros, esperava-se investimento em capacidade de produção e infraestruturas logística. Porém, estes têm sido insuficientes (IPEA, 2010).

A Petrobras, por questões estratégicas, priorizou seus investimentos na exploração e produção de petróleo. As melhorias nos sistemas portuários, que deveriam ser realizadas pelos Governos Estaduais e pelo Governo Federal, ficaram aquém da necessidade do país. As distribuidoras, respaldadas legislação da agência reguladora do setor, também não investiram adequadamente em capacidade de armazenagem e escoamento dos derivados.

Diante deste cenário já estabelecido, observa-se um engargalamento dos sistemas logísticos brasileiros e um expressivo aumento dos custos

logísticos para suprimento dos derivados petróleo, especialmente gasolina e diesel, que correspondem a 63,6 % do volume total de combustíveis comercializados no país no ano de 2013 ANP(2014a).

Vale ressaltar que há uma preocupação de todos os agentes para mudar este cenário. A Petrobras irá inaugurar uma nova refinaria de petróleo ainda em 2014 e há previsão de construção de mais três refinarias nos próximos anos. Com a Lei dos Portos, de Junho de 2013, que determina que a exploração dos portos e instalações portuárias pode ser realizada mediante concessão ou arrendamento, há previsão de maiores investimentos nos sistemas portuários. Além destes fatores, a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP lançou uma nova resolução obrigando as distribuidoras a possuir estoques de derivados de petróleo nas regiões onde estes são comercializados e que poderá ter como consequência um aumento na tancagem disponível para movimentação dos produtos.

Com a atual política de preços de derivados praticada pela Petrobras, que busca o equilíbrio dos preços no mercado interno com a paridade de importação no longo prazo, torna-se necessário uma redução nos custos incorridos para uma melhoria no resultado da empresa, culminando no lançamento do Programa de Otimização de Custos Operacionais – PROCOP.

Parte dos custos incorridos no suprimento destes polos é ocasionada por outros agentes da cadeia de distribuição, sendo que a Petrobras incorpora grande parte dos custos oriundos destas restrições impostas por terceiros. Como exemplo, podemos citar o assoreamento nos portos, impactando nos lotes que poderão ser descarregados naquele polo, a tancagem de derivados das distribuidoras insuficiente, tornando necessário um aumento na frequência de navios para suprir o polo, além da elevada concorrência para utilização de portos públicos, aumentando os custos de sobrestadia.

Atualmente, a empresa utiliza um modelo de programação matemática para realizar seu planejamento tático, porém características particulares dos

polos atendidos por cabotagem, como as restrições citadas acima, não são consideradas no modelo, impossibilitando a determinação destes custos.

A identificação destes custos torna-se necessária para que a Petrobras possa repassá-los para os demais integrantes da cadeia de suprimento de derivados, incentivando-os a realizar investimentos em infraestrutura para melhoria das operações e, conseqüentemente, reduzindo as ineficiências e os custos oriundos destas, com reflexos positivos para todos os integrantes da cadeia, inclusive para o consumidor final.

## **1.1 Objetivo**

O objetivo do trabalho é a proposição de uma ferramenta, baseada em programação matemática, para o planejamento tático do suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste do Brasil, buscando a minimização dos custos logísticos envolvidos neste suprimento, com a geração de cenários para identificar os custos oriundos de restrições impostas à Petrobras pelos demais agentes da cadeia de suprimento de derivados.

A modelagem a ser desenvolvida poderá ser utilizada para discussão com as distribuidoras, para que aloquem seus investimentos na cadeia de suprimento de maneira eficiente, além da expansão da área de influência daqueles polos que apresentem os menores custos de suprimento, gerando melhorias para toda a cadeia.

O modelo proposto visa complementar as análises realizadas pelo atual modelo de planejamento do Abastecimento, detalhando o suprimento de polos atendidos por cabotagem.

## **1.2 Metodologia**

O estudo realizado para esta dissertação compreendeu primeiramente uma revisão bibliográfica sobre a modelagem da cadeia de suprimento, com ênfase na utilização do modal marítimo. Na pesquisa realizada, não foi encontrado nenhum modelo que se adequasse ao problema proposto, fazendo-se necessário o desenvolvimento de um modelo próprio. Para o desenvolvimento do modelo, foram consultados especialistas que trabalham na diretoria de Abastecimento da Petrobras para validação das premissas do modelo.

Após o desenvolvimento do modelo, foi feita a validação do mesmo. Para isso, foi criado um cenário com um menor número de nós e também uma menor quantidade de períodos. Os resultados obtidos no modelo foram comparados com os custos logísticos da Petrobras de anos anteriores.

Finalmente, todos os dados necessários foram obtidos juntos às gerências da Petrobras e nos demais sítios de outros integrantes da cadeia de suprimento de derivados e inseridos no modelo. Na sequência, foram feitos cenários que não contemplavam as restrições impostas por terceiros. Os resultados foram analisados e comparados com objetivo de avaliar a eficácia do modelo proposto e a identificação dos custos decorrentes destas restrições.

## **1.3 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho organiza-se da seguinte forma: após esta introdução será apresentada, no Capítulo 2, a revisão bibliográfica da literatura dos assuntos abordados neste trabalho. O Capítulo 3 contém a apresentação do problema que será seguida pela descrição do modelo, no Capítulo 4. Os estudos de caso serão descritos e analisados nos Capítulos 5 e 6. Finalmente o trabalho se encerra com as conclusões do autor e sugestões de trabalhos subsequentes.

## 2 Revisão bibliográfica

Este capítulo tem como objetivo apresentar as principais referências bibliográficas que suportaram este trabalho. Os conceitos partem do planejamento da cadeia de suprimento, passando pelos seus três estágios: estratégico, tático e operacional. Após abordar a otimização da cadeia de petróleo, este trabalho discorre sobre *downstream*, com um enfoque no transporte marítimo.

### 2.1 Planejamento da cadeia de suprimento

Diante de um ambiente cada vez mais competitivo e uma busca incessante por melhores resultados, as empresas estão identificando a necessidade de uma avaliação completa da cadeia de suprimento na qual estão inseridas, etapa por etapa, seja como fornecedoras ou compradoras de produtos e/ou serviços. Este assunto é abordado por Lambert e Cooper (2000), cujo trabalho afirma que uma das mais significantes quebras de paradigma de uma gestão empresarial moderna é o fato da empresa já não mais competir como uma unidade individual e autônoma, mas sim como cadeias de suprimentos.

Podemos entender como cadeia de suprimentos, uma abordagem que integra fornecedores, fabricantes, depósitos, clientes, centro de distribuição, matéria-prima, produtos intermediários, produtos finais, estoques e serviços. Goetschalckx (2011) define que “cadeia de suprimento é uma rede integrada de recursos e processos que é responsável pela aquisição de matérias-primas, a transformação destes materiais em produtos intermediários e acabados, além da distribuição destes produtos acabados para os consumidores finais”.

O planejamento da cadeia de suprimento é composto por três etapas que são correlacionadas entre elas e que são exemplificadas na Figura 2.1. Segundo Leiras *et al.* (2013), o planejamento estratégico (longo prazo) determina a estrutura da cadeia de suprimento, como por exemplo, localização das facilidades. O planejamento tático (médio prazo) tem como objetivo tomar decisões como a definição de metas de produção para cada instalação e o transporte a partir destas instalações para os centros de distribuição. Finalmente, o planejamento operacional (curto prazo) está relacionado a atividades como, por exemplo, a



definição de tarefas das unidades de cada instalação, considerando os recursos disponíveis e restrições de tempo.

Os níveis de planejamento são pensados para estarem relacionados de uma forma hierárquica: as decisões do planejamento estratégico estabelecem metas, objetivos e restrições para as decisões táticas, que por sua vez, implementam e apoiam diversas funções de execução operacional.



Figura 2.1 – Planejamento da Cadeia de Suprimento. Fonte: Maravelias e Sung (2009) modificado

A integração do planejamento da cadeia de suprimento é abordada por Maravelias e Sung (2009), cujo trabalho afirma que devido às interconexões entre os diferentes níveis da cadeia de suprimento, há numerosos *trade-offs* entre as decisões tomadas nos diversos nós da cadeia de suprimentos. Para atingir uma solução otimizada global, as interdependências entre as diferentes funções de planejamento devem ser consideradas e as decisões de planejamento para estes diversos níveis deverão ser tomadas simultaneamente.

### 2.1.1

#### Planejamento estratégico

Conforme Verderame *et al.* (2010), o planejamento estratégico determina a direção de longo prazo da cadeia de suprimento, enquanto considera mudanças de tendência do mercado e da indústria. Decisões sobre construção de novas instalações, eliminação de instalações existentes, modernizações, inclusão e substituição de fornecedores de matéria prima e outros aspectos da cadeia de suprimento devem ser levados em consideração no nível do planejamento estratégico.

Rodrigues e Sellitto (2008) detalham a cadeia de suprimento da cadeia automobilística, iniciando com o desenho desta cadeia e discorrendo sobre os arranjos interorganizacionais dos diversos *stakeholders*, além de descrever práticas colaborativas utilizadas neste segmento. O trabalho apresentou os resultados do planejamento desta cadeia, com melhorias alcançadas pelas parcerias e alianças sinérgicas.

Ribas *et al.* (2010) propõem um modelo de planejamento estratégico para uma cadeia de petróleo integrada considerando três fontes de incerteza: a produção de petróleo, demanda por derivados de petróleo e os preços. Com o objetivo de maximizar o resultado considerando os custos de investimentos realizados e o lucro operacional esperado, é utilizado um modelo estocástico que descreve a probabilidade de ocorrência de cada cenário para lidar com as incertezas descritas. Ainda no campo das incertezas, os autores apresentam uma abordagem robusta para lidar com ponto de vista de aversão ao risco. O modelo foi aplicado na cadeia de petróleo brasileira, considerando as disponibilidades e particularidades deste sistema.

Leão *et al.* (2011) propõem um modelo matemático para uma rede de planejamento de biodiesel. Com o objetivo de redução de custos, o modelo leva em consideração o número e a localização das unidades de esmagamento de sementes oleaginosas e das plantações, produtividade de cada tipo de semente utilizada, custos de transporte de óleo vegetal e de sementes oleaginosas, além da tecnologia empregada. Outro fator estratégico a ser considerado é o número de

famílias (pequenos produtores agrícolas) que devem ser atendidas pela modelo, dado que há incentivos governamentais para a produção de biocombustíveis.

### 2.1.2

#### Planejamento tático

O planejamento tático tem como objetivo a maximização dos lucros e minimização dos estoques e da insatisfação do cliente, ainda segundo Verderame *et al.* (2010). O trabalho de Ferrio e Wassick (2008) propõe um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) para otimizar uma cadeia de suprimento de uma indústria de produtos químicos. O modelo tem como objetivo reduzir os custos para o suprimento da demanda por produtos químicos, levando em consideração as unidades de produção, os centros de distribuição e atendimento aos clientes. O modelo geral para o problema proposto é apresentado na Figura 2.2.

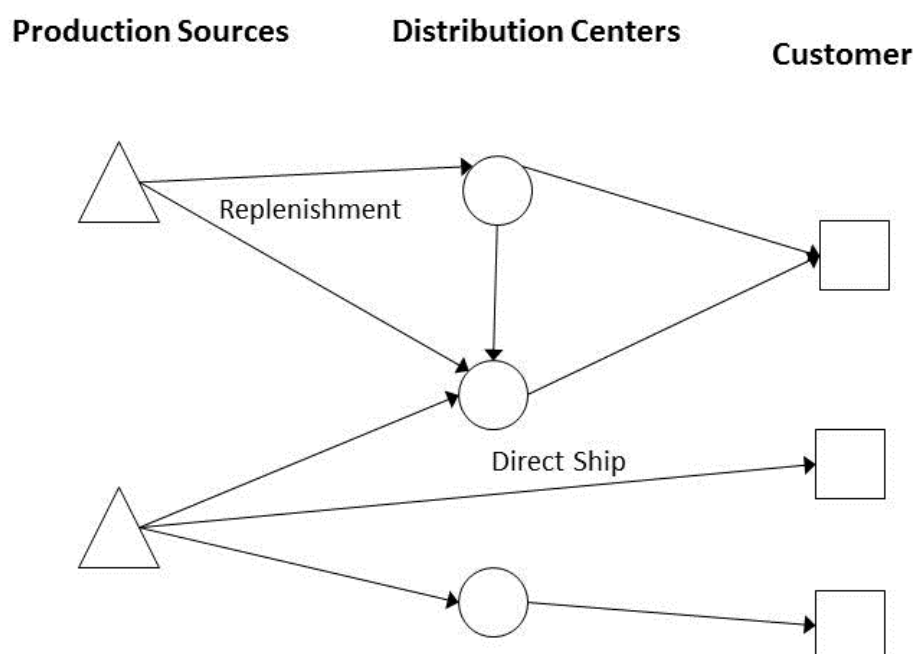


Figura 2.2 – Representação geral de um problema de rede de cadeia de suprimento.

Fonte: Ferrio e Wassick (2008)

O trabalho de Andrade (2012) propõe um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) para avaliação de alternativas de investimentos na rede logística, propondo possibilidades de expansão de capacidade de armazenagem,

de transporte e movimentação de elementos da rede, trazendo o valor presente líquido de cada decisão de investimento avaliado. O trabalho aborda investimentos no *midstream* e *downstream*.

Carvalho (2009) propõe um modelo matemático para localização de uma unidade misturadora de adubos e fertilizantes na região Centro-Oeste do Brasil. O modelo proposto leva em consideração o custo de transporte das matérias-primas até a instalação e o do produto final até os pontos de consumo, buscando uma minimização destes custos. Com a adoção de alguns cenários, o modelo PLIM identificou potenciais municípios da região para localização das novas instalações.

O processo de alocação de petróleo nas refinarias da PETROBRAS é definido a partir de um modelo de programação matemática apresentado por Rocha *et al* (2009). O modelo proposto tem como objetivo uma minimização dos custos, que são compostos de custos de movimentação de petróleo e derivados, de estoque dentre outros. A cadeia de suprimento de petróleo é apresentada na Figura 2.3.

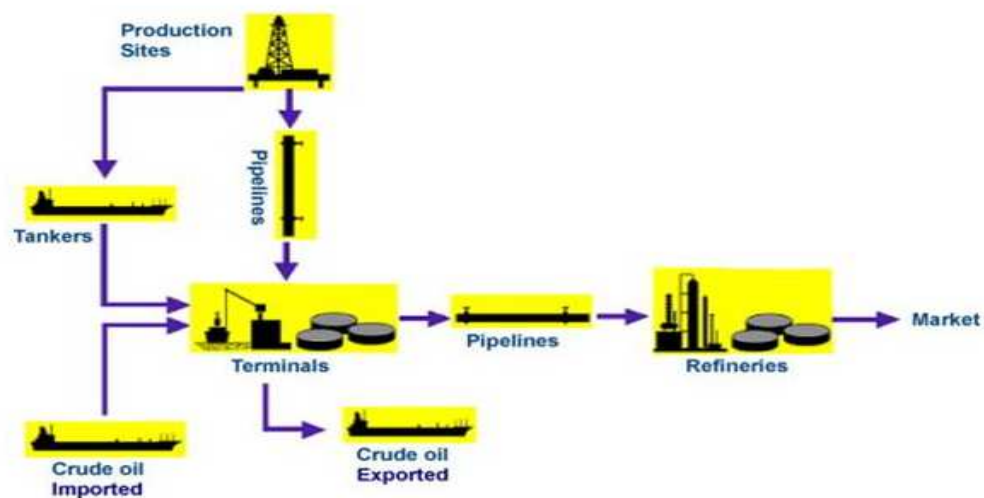


Figura 2.3 – Infraestrutura da PETROBRAS: cadeia de suprimento de petróleo. Fonte: Rocha *et al* (2009).

### 2.1.3

#### Planejamento operacional

Conforme identificado na Figura 2.1, o planejamento operacional está associado às questões de programação de entrega, planejamento de transportes e atendimento da demanda. Campos *et al.* (2006) propõem a resolução de um problema de roteirização de veículos para entregas de produtos considerando restrições de tempo e de capacidade. O problema é resolvido por diferentes heurísticas e os resultados obtidos são comparados. Todos os métodos determinaram rotas mais econômicas que as atuais praticadas, com resultados satisfatórios, que foram melhorando após a utilização daqueles mais sofisticados. Os resultados apresentados são suficientes para justificar o investimento em modelos mais complexos de roteirização, principalmente para aquelas empresas que possuem operações de grande porte, nas quais pequenos ganhos percentuais na solução podem gerar grandes ganhos no resultado financeiro.

O trabalho de Christiansen (1999) estabelece um modelo matemático para programação de entregas considerando restrições de estoques na origem e no destino e restrições de janela de tempo para operação. As restrições de cada navio e porto (estoques e janela de operação) são decompostas pelo método de *Dantzig-Wolfe*. O modelo proposto, que tem como objetivo a redução dos custos de transporte, foi utilizado para resolução de um problema de transporte de amônia dos pontos de produção para os pontos de consumo.

Andersson *et al.* (2011) propõem um modelo matemático para programação de entregas considerando as mesmas restrições de estoques e de janelas de tempo para operação, além de inserir a possibilidade de fracionamento das cargas. O objetivo deste modelo é maximizar os lucros nas operações da frota de navios, através do transporte de cargas contratadas e cargas *spot* (não contratadas) e minimizando os custos de operação destes navios.

## 2.2 Otimização da cadeia de suprimento de petróleo

Modelos de otimização são bastante utilizados na cadeia de suprimento de petróleo. Maravelias e Sung (2009) afirmam que as cadeias de suprimentos da indústria química contêm grandes oportunidades para redução de custo, pois são sistemas complexos e que sofrem alteração constantemente, sendo que estas atividades representam uma parcela significativa dos custos totais para atender os clientes.

Sear (1993) lista seis decisões que devem ser tomadas na cadeia de suprimentos de petróleo. São elas:

- Localização dos clientes previstos e quais serão os volumes anuais de cada classe de produto direcionados para estes clientes. As demandas do consumidor deverão ser atendidas;
- Localização de seus armazéns e possibilidade de parcerias para utilizar armazéns de terceiros;
- Atribuição de qual depósito atenderá cada cliente. Quando isso for estabelecido, poderá ser determinada a taxa de transferência de cada depósito;
- Localização de refinarias e quantidade disponível de cada produto. A mesma avaliação deverá ser feita para os pontos de importação;
- Rotas primárias de transporte, vinculando os produtos das refinarias aos armazéns, e o fluxo ao logo de cada uma;
- Determinação das transações comerciais com os demais agentes da cadeia. Isso envolve o direito de troca de uma quantidade de produto com uma refinaria ou depósito de um competidor. Atingir uma redução de custos é a motivação para ambas as partes. A localização precisa e os volumes que serão transacionados devem ser determinados.

Uma companhia que quer se manter ativa no mercado por um longo prazo enfrenta o problema de sempre estar revisando todas as variáveis de decisão elencadas acima com o objetivo de minimizar os custos de satisfazer a demanda dos clientes que ela opta atender.

Joly e Pinto (2003) propõem modelo de programação matemática para programação de produção de óleo combustível e asfalto de uma refinaria. Foi proposto inicialmente um modelo de programação não linear inteira mista (PNLIM) que foi substituído por um modelo MILP. O objetivo deste modelo é reduzir os custos operacionais da produção destes dois derivados sujeitos às restrições de balanço, de fluxo dos produtos, dos requerimentos de viscosidade, além da demanda pelos produtos e das questões operacionais das unidades.

A modelagem matemática é bastante utilizada para otimização da cadeia de suprimento de petróleo e de seus derivados. Em seu trabalho, Oliveira e Hamacher (2012) propõem um modelo de programação matemática para lidar com o suprimento de derivados de petróleo sobre incertezas na Região Norte do Brasil. O objetivo deste modelo é minimizar os custos envolvidos neste suprimento, considerando também possíveis investimentos que poderão ser feitos para expansão da capacidade de movimentação, armazenagem de produtos, além da expansão dos terminais marítimos. Como na movimentação de derivados de petróleo na região analisada são utilizados os rios da região, o modelo considerou também o regime de vazão e navegabilidade destes rios ao longo do tempo. Para lidar com as incertezas do modelo, foi desenvolvido um modelo estocástico de dois estágios. Para reduzir o número de cenários possíveis do modelo, foi utilizada uma aproximação por média amostral para obter a solução otimizadora.

Para resolver um problema de distribuição de derivados de petróleo em um sistema marítimo de curta distância, Agra *et al.* (2013) propuseram um modelo de programação inteira mista. Com o objetivo de minimizar os custos – custo de transporte, custo de operação e penalidades por não cumprimento do horário das janelas disponibilizadas – deste sistema, o modelo proposto é utilizado para planejamento do suprimento de quatro produtos no arquipélago de Cabo Verde.

Vale ressaltar a observação feita por Carvalho (2009), de que apesar dos grandes benefícios da modelagem matemática para resolução de problemas, este ferramental deve ser considerado como um fator auxiliar ao processo de tomada de decisões, podendo ser necessárias outras formas complementares. O modelo matemático deve ser alimentado com as fontes de dados mais confiáveis

possíveis, buscando assim, obter a melhor e mais precisa resposta possível desta estrutura matemática.

### **2.3 Transporte marítimo**

Conforme Al-Khayyal e Hwang (2007), a pesquisa operacional reconheceu a necessidade de abordagens matemáticas sistemáticas para otimizar roteiros e programação de veículos para atender a necessidade de consumidores dispersos. Apesar de cerca de 90% de todo o volume e 70% do valor de todas as mercadorias transportadas em todo mundo ser feita pelo mar, pouco trabalho tem sido desenvolvido para roteirização e programação de navios.

O trabalho de Christiansen *et al.* (2004) mostra que o transporte marítimo difere de outros modos de transporte de carga e que os navios têm diferentes problemas de roteirização e programação. As diferentes características do diversos modais de transporte são representadas na Tabela 2.1.



## Modo

Característica Operacional	Marítimo	Aéreo	Rodoviário	Ferrovário
<b>Variedade da frota (física e econômica)</b>	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
<b>Unidade de potência é uma parte integrada da unidade de transporte</b>	Sim	Sim	Muitas vezes	Não
<b>Tamanho da unidade de transporte</b>	Fixo	Fixo	Normalmente fixo	Variável
<b>Opera ininterruptamente</b>	Usualmente	Raramente	Raramente	Usualmente
<b>Tempo de viagem</b>	Dias ou semanas	Horas ou dias	Horas ou dias	Dias
<b>Incerteza operacional</b>	Grande	Grande	Pequena	Pequena
<b>Direito de passagem</b>	Compartilhado	Compartilhado	Compartilhado	Dedicado
<b>Custo de taxas portuárias</b>	Sim	Sim	Não	Não
<b>Pedágios</b>	Possível	Não	Possível	Possível
<b>Destino pode mudar em andamento</b>	Possível	Não	Não	Não
<b>Abrange várias janelas de tempo operacional</b>	Sim	Não	Não	Sim
<b>Operação da unidade de transporte depende do peso da carga</b>	Sim	Raramente	Não	Não
<b>Múltiplos produtos podem ser transportados ao mesmo tempo</b>	Sim	Não	Sim	Sim
<b>Retorna à origem</b>	Não	Não	Sim	Não

Tabela 2.1 – Comparação de características operacionais de modais de transporte.

Fonte: Christiansen *et al.*(2004)

Segundo Andersson *et al.* (2011), o transporte marítimo é o mais importante modo de transporte de mercadorias e envolve uma enorme quantia de valores. O transporte de carga pode gerar centenas de milhares de dólares com a receita de frete, enquanto que o custo de capital e operacional pode atingir dezenas ou milhares de dólares por dia. Assim, um planejamento adequado do roteiro dos navios e de programação é crucial, desde uma modesta melhoria na utilização da frota pode se traduzir um grande aumento de lucro para o operador do navio. Além disso, uma melhor utilização da frota, usualmente, reduz as emissões atmosféricas.

A Tabela 2.2 apresenta um resumo da revisão bibliográfica utilizada neste trabalho. Em cada trabalho avaliado foram identificadas as seguintes características: nível de planejamento, modelo aplicado à cadeia de suprimento de petróleo e a etapa da cadeia de suprimentos, além da utilização de transporte marítimo.

Referência	Planejamento	Petróleo e derivados	Cadeia de Suprimentos	Transporte Marítimo
Ribas <i>et al.</i> (2010)	Estratégico	✓	UP / MID / DOW	✗
Leão <i>et al.</i> (2011)	Estratégico	✗	DOW	✗
Rodrigues e Sellitto (2008)	Estratégico	✗		✗
Ferrio e Wassick (2008)	Tático	✗		✗
Andrade (2012)	Tático	✓	MID / DOW	✗
Carvalho (2009)	Tático	✗		✗
Rocha <i>et al.</i> (2009)	Tático	✓	UP / MID	✗
Campos <i>et al.</i> (2006)	Operacional	✗		✗
Christiansen (1999)	Operacional	✗		✓
Andersson <i>et al.</i> (2011)	Operacional	✗		✓
Oliveira e Hamacher (2012)	Tático	✓	DOW	✓
Joly e Pinto (2003)	Tático	✓	MID	✗
Agra <i>et al.</i> (2013)	Operacional	✓	DOW	✓

Legenda: UP – Upstream / MID – Midstream / DOW – Downstream

Tabela 2.2 – Revisão bibliográfica com a comparação dos modelos de otimização na cadeia de suprimento dos trabalhos analisados – Fonte: autor

Os trabalhos analisados, apesar de contemplarem todas as etapas do planejamento e da cadeia de suprimento de petróleo, não são suficientes para avaliar o modelo de suprimento de derivados da região Nordeste do Brasil, pois não contemplam particularidades daquela região, especialmente a utilização de transporte marítimo. Diante disso, torna-se necessário a construção de um novo modelo para atender as expectativas deste trabalho.

### 3

## Descrição do problema

### 3.1

#### A cadeia de suprimentos da indústria petrolífera brasileira

A cadeia de suprimento de petróleo é composta por três principais sub-cadeias, representadas na Figura 3.1.

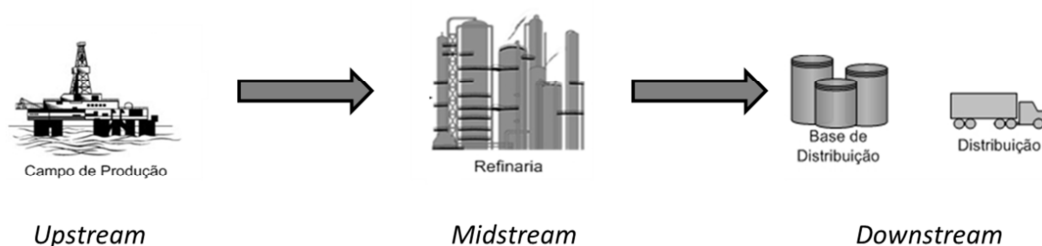


Figura 3.1 – Sub-cadeias da cadeia de suprimento de petróleo. Fonte: Andrade (2012)

Em seu trabalho, Andrade (2012) relaciona o *upstream* às atividades de exploração e produção de petróleo, o *midstream* à atividade de refino de petróleo e produção de derivados e a atividade de *downstream* aos processos de transporte e comercialização destes derivados.

O *upstream* na cadeia de suprimento de petróleo consiste basicamente nas atividades de exploração e produção de petróleo. Durante o processo de exploração, são feitas análises geológicas para mapeamento e prospecção de campos de produção de petróleo e gás natural associado. Após esta etapa inicial, é realizada a perfuração e o início da produção nos poços perfurados.

As recentes descobertas na região identificada como pré-sal aproximaram o Brasil dos maiores produtores mundiais de petróleo. Em 2013, a produção de petróleo foi de 2,1 milhões de barris/dia (ANP, 2014a). A expectativa é que em 2035 a produção de petróleo no país deverá variar entre 4,7 a 6,6 milhões de barris/dia, fato que pode alçar o Brasil ao posto de 6º maior produtor de petróleo do mundo (Petrobras, 2014a).

O segmento de *midstream* contempla as atividades de refino de petróleo e produção de derivados. Além das refinarias de petróleo, também fazem parte deste segmento as centrais petroquímicas, unidade de processamento de xisto e formuladores de derivados.

Recentemente, a Petrobras vem aumentando a produção de derivados através de aprimoramentos de processos de refino, porém a produção nacional está aquém da demanda do mercado nacional. A última refinaria a entrar em operação no país foi a Refinaria Henrique Lage – REVAP, que foi inaugurada em 1980. Conforme observado na Figura 3.2, mesmo com os esforços para aumento da produção de derivados de petróleo, o volume importado pelo país vem crescendo nos últimos anos. Para reduzir a dependência externa, a Petrobras está construindo novas refinarias que devem entrar em operação em 2014 (RNEST) e 2016 (COMPERJ).

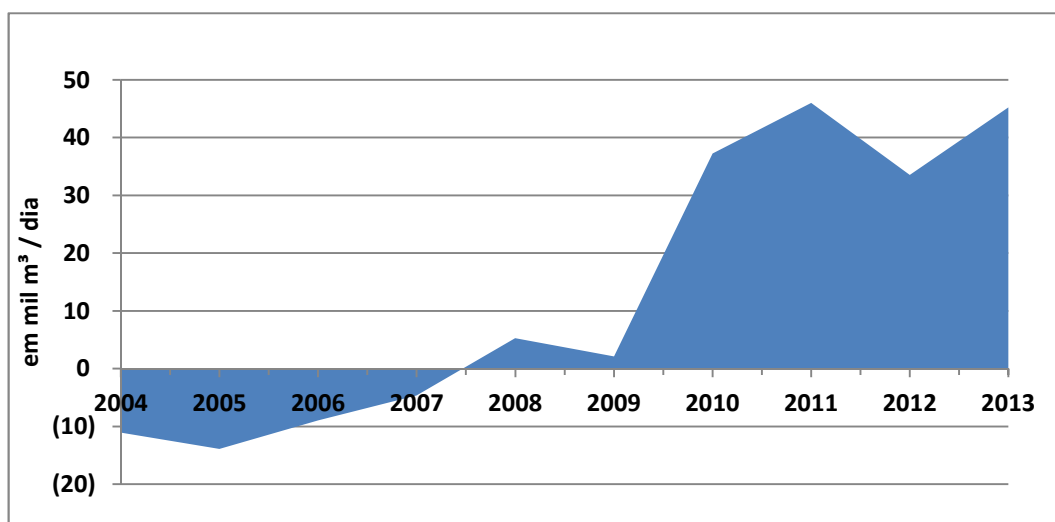


Figura 3.2 – Importação líquida de derivados de petróleo no Brasil. Fonte: ANP (2014a).

O segmento de *downstream* contempla as atividades de transporte e distribuição de combustíveis. Desta etapa da cadeia de suprimento participam vários agentes, distribuídos conforme a Figura 3.3.

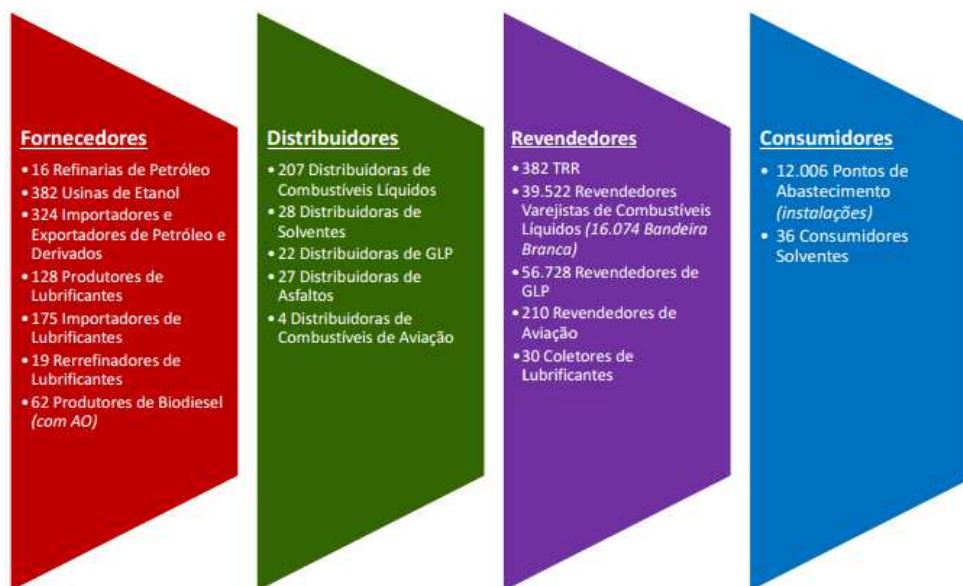


Figura 3.3 – Agentes do *downstream* da cadeia de suprimento de petróleo. Fonte: ANP (2014a)

A Petrobras é uma empresa verticalizada que atua em todos os segmentos da cadeia de suprimento de petróleo no Brasil, sendo responsável desde os processos de exploração e produção de petróleo até a comercialização e distribuição de derivados no país, passando também pelas atividades de refino e transporte de petróleo e derivados.

Estar presente em tantos segmentos tem exigido grandes investimentos da empresa e um elevado dispêndio de capital. Como o endividamento da empresa já começa a comprometer o grau de investimento no mercado, fato que pode dificultar a captação de dinheiro no mercado internacional, além de elevar as taxas de juros nestas operações, a Petrobras fundamentou seu Plano de Negócios e Gestão (PNG) 2014–2018 em três pilares: desempenho, disciplina de capital e prioridade. Com isso, dos US\$ 220,6 bilhões previstos para o período, cerca de 70% será investido no segmento *upstream*, conforme Figura 3.4.

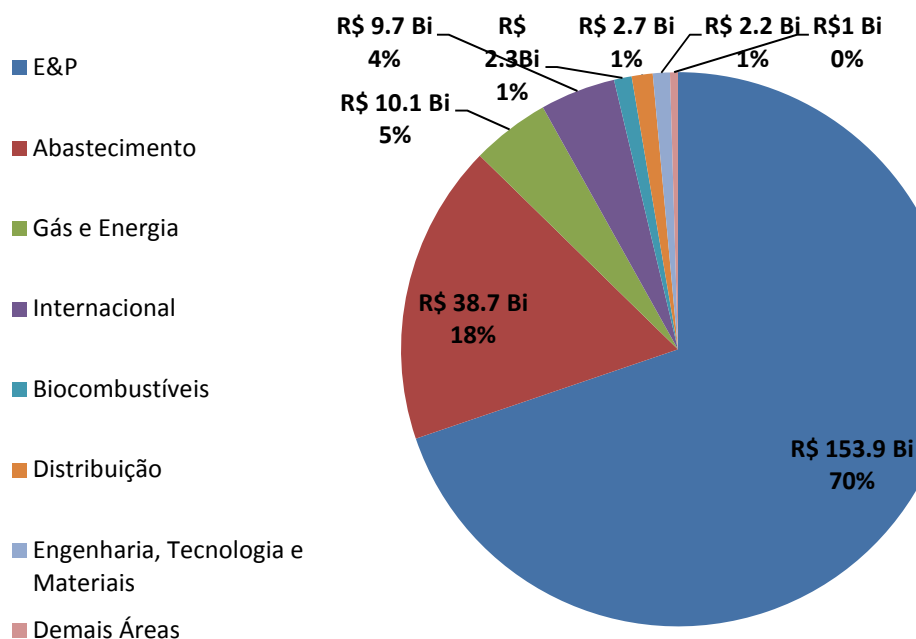


Figura 3.4 – Plano de Negócios e Gestão 2014 – 2018. Fonte: Petrobras (2014b)

Diante dos números apresentados e das premissas do Plano de Negócio e Gestão, que apresentam uma menor participação dos segmentos de Abastecimento e Distribuição nos investimentos previstos, pode-se inferir que a Petrobras, diferentemente do que fez nos últimos anos, reduzirá sensivelmente os investimentos em infraestrutura logística para transporte e distribuição de combustíveis.

### 3.2 Suprimento de gasolina e diesel no Brasil

Nos últimos anos, o crescimento do mercado de combustíveis no país apresentou taxas de crescimento elevadas. Anteriormente, o crescimento dos mercados de gasolina e diesel tinha uma correlação direta com o crescimento do PIB no país, porém é possível observar um descolamento nestes índices nos últimos anos, conforme Figura 3.5.

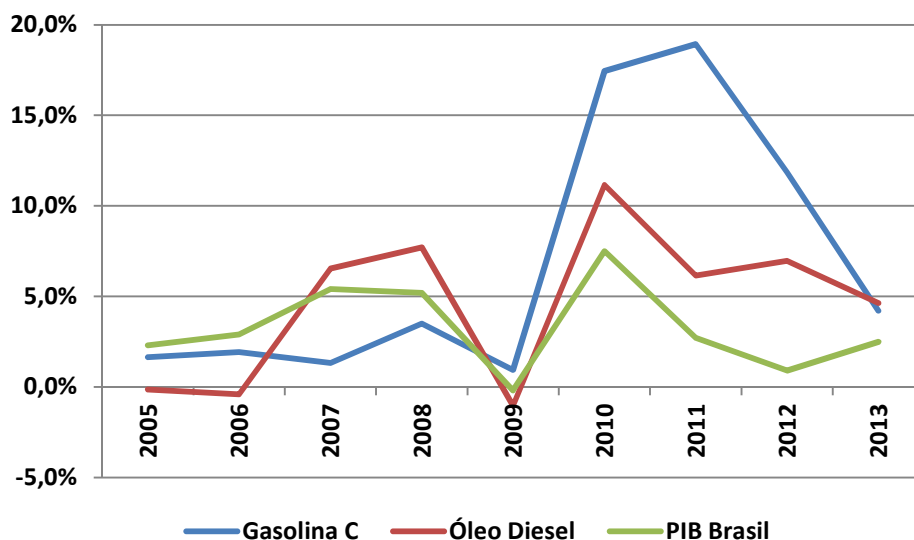


Figura 3.5 – Evolução dos mercados de gasolina e diesel no Brasil. Fonte: ANP (2014b) e IBGE (2014)

Apesar das elevadas taxas de crescimento, a infraestrutura nacional ficou estagnada durante este período. Para exemplificar esta situação, a Figura 3.6 mostra que apesar do aumento do mercado de combustíveis, a tancagem disponibilizada pelas distribuidoras para armazenamento de combustíveis em suas bases de distribuição sofreu uma redução de 5% no período de 2005 a 2012.

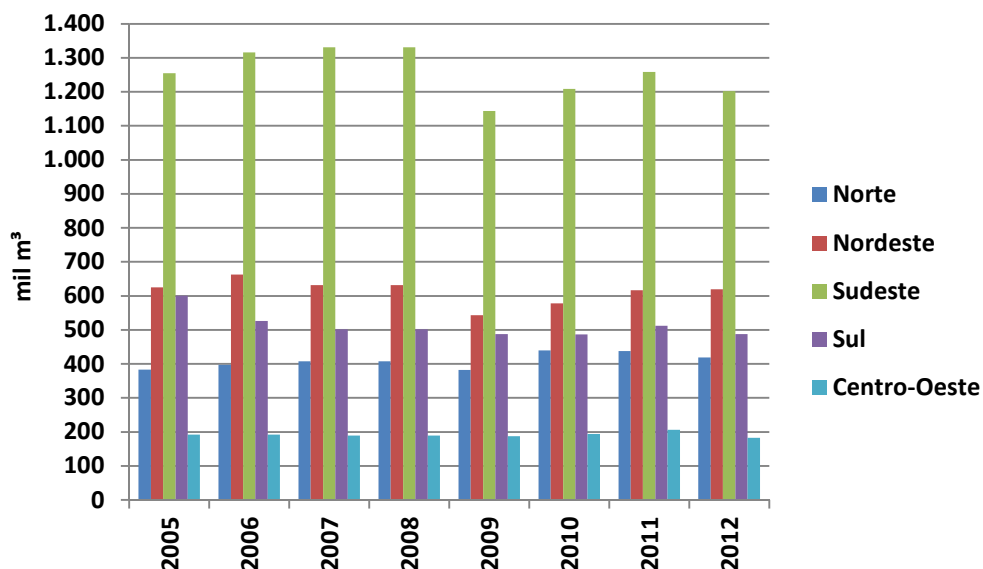


Figura 3.6 – Evolução da tancagem de combustíveis da distribuição. Fonte: ANP (2014a)

Esta situação também tem elevado o custo do *downstream*, pois o atendimento do mercado crescente destes combustíveis só é possível com o aumento na frequência de transporte entre os pontos de fornecimento e os pontos de consumo, levando ao engargalamento de alguns sistemas logísticos.

Werneck e Rodrigues (2013) destacam a crescente pressão que o sistema logístico brasileiro vem sofrendo para garantir o abastecimento de produtos em todo território nacional. Para continuar garantindo este suprimento, além de investimentos que permitam aumentar a capacidade de armazenagem, a produção e o recebimento de combustíveis, é necessário aumentar a eficiência logística, melhorando a confiabilidade, a produtividade e redução nos custos de transporte, ampliando a integração dos diversos modais utilizados no suprimento.

Vale ressaltar que o órgão regulador do mercado de combustíveis, a ANP, no uso de suas atribuições, emitiu a Portaria ANP nº. 45/2013 que obriga as distribuidoras a manterem estoques de segurança em todas as regiões do país. A expectativa da ANP é de que com a adoção desta medida, as distribuidoras invistam em aumento da capacidade de armazenagem, resultando em ganhos econômicos e redução de riscos de desabastecimento para toda a cadeia de suprimento de derivados de petróleo.

### **3.2.1**

#### **Suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste do Brasil**

Diante de todos estes pontos acima apresentados, torna-se cada vez mais desafiador suprir o mercado destes derivados, garantindo o fornecimento nos mais de 30 polos nos quais a Petrobras comercializa gasolina e diesel. Os polos de comercialização de Gasolina A e Diesel são representadas na Figura 3.7 pelas Bases Primárias.





Figura 3.7 – Bases primárias de distribuição. Fonte: SINDICOM (2014)

Os maiores desafios estão concentrados nas regiões Norte e Nordeste do país, pois, por apresentarem os maiores déficits nos balanços de gasolina e diesel, têm seu suprimento concentrado na modalidade marítima, com a demanda sendo fortemente complementada através de importações diretas ou cabotagens a partir de outros polos.

Conforme ANP (2014a), o consumo de gasolina A e diesel no ano de 2013 na região Nordeste correspondem a 19,0% e 16,4%, respectivamente, do consumo total do país. A comercialização destes derivados é realizada em 10 polos de vendas, sendo que cinco polos (São Luís, Fortaleza, Ipojuca, Maceió e Cabedelo) são atendidos exclusivamente por importação e cabotagem. O polo de Guarará/Natal é atendido por produção da refinaria RPCC e complementada por cabotagem.

Além dos polos de venda, a cadeia de suprimento de gasolina e diesel da região Nordeste também é composta por sete terminais aquaviários (Itaqui-MA, Mucuripe-CE, Natal-RN, Suape-PE, Cabedelo-PB, Maceió-AL e Madre de Deus-BA).

Também estão localizadas na região analisada duas refinarias: Refinaria Landulpho Alves (RLAM) e Refinaria Potiguar Clara Camarão (RPCC). Está prevista para novembro de 2014 (PETROBRAS, 2014) a partida da nova Refinaria do Nordeste (RNEST).

Conforme destacada na Figura 3.8, a região Nordeste do Brasil é deficitária de diesel e gasolina, isto é, a produção das refinarias é inferior à demanda da região. Para atender todo este mercado é necessária a complementação de produto importado de outras regiões do país ou de frentes de internacionais.

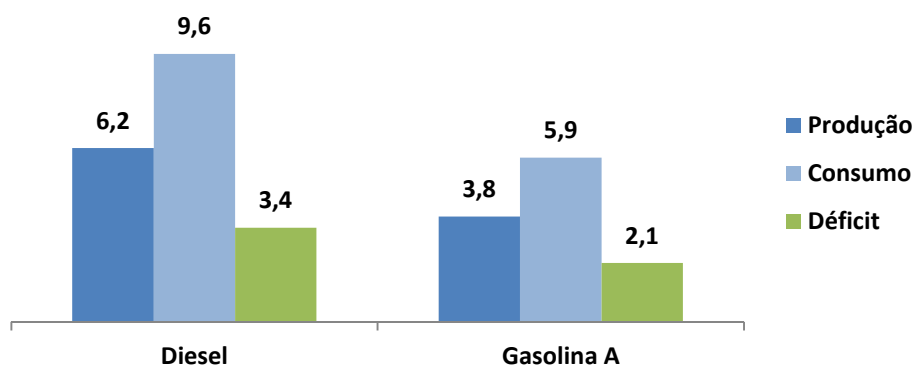


Figura 3.8 – Produção / Consumo de gasolina e diesel na região Nordeste do Brasil em 2013 (em mil m<sup>3</sup>). Fonte: ANP (2014a)

Outro gargalo para o suprimento de gasolina e diesel da região é a capacidade instalada para armazenamento de derivados, que se mantém no mesmo patamar desde o ano de 2005, apesar da redução significativa de número bases de distribuição, conforme apresentado na Figura 3.9.

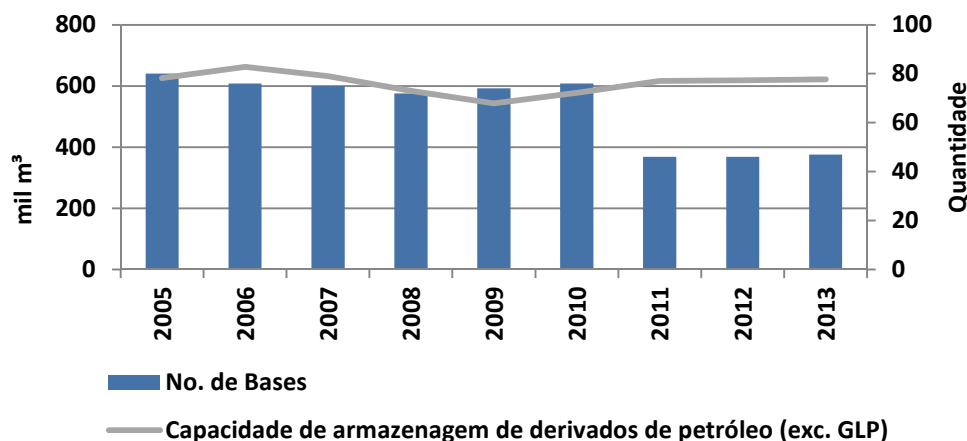


Figura 3.9 – Número de bases e capacidade de armazenagem de derivados de petróleo, exceto GLP, na região Nordeste do Brasil. Fonte: ANP (2014a)

O trabalho desenvolvido consiste inicialmente no desenho do projeto da rede e, na sequência, a criação de um modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) buscando atender os mercados destes dois derivados, considerando todas as restrições impostas, que podem ser motivadas pela Petrobras, como por exemplo, oferta de derivados, ou por agentes externos, como por exemplo, tancagem insuficiente, elevada taxa de ocupação dos píeres e restrição de calado nos portos devido questões de dragagem.

As seguintes questões deverão ser respondidas com o auxílio deste trabalho: “Quais são os custos logísticos que a Petrobras incorre para suprir os mercados de gasolina e diesel na região Nordeste do Brasil e quais custos são motivados por restrições logísticas impostas por outros agentes?”.

O modelo proposto, além de propor melhorias no suprimento da região Nordeste, também poderá ser usado para análise dos custos logísticos. Com a determinação e caracterização da responsabilidade pela origem destes custos, a Petrobras, que atualmente arca com todos os custos, poderia distribuí-los para os outros agentes da cadeia, que por sua vez poderiam reduzir suas tarifas, margens de lucro ou até mesmo fazer o repasse direto para o consumidor final. Todos estes fatores contribuem para a melhoria do resultado operacional da empresa.

## 4

# Modelo PLIM para apoio na tomada de decisões na cadeia de suprimento *downstream* da indústria petrolífera

### 4.1

#### Objetivo do modelo

O modelo proposto está inserido no planejamento tático da cadeia de suprimentos *downstream* da indústria petrolífera, conforme rede representada na Figura 4.1, tendo como objetivo apoiar tomada das decisões de:

- Programação de entrega dos pontos de fornecimento;
- Alocação dos fluxos de envio/recebimento entre os elementos da rede para atendimento do consumo de derivados previsto em cada período;
- Estabelecimento de níveis de estoque de derivados em cada nó da rede;
- Definição dos lotes e tipo de navios alocados para o transporte marítimo de derivados;
- Frequência de navios em cada ponto de fornecimento;
- Estratégia para substituição do modal de transporte;
- Necessidade de importação de derivados;

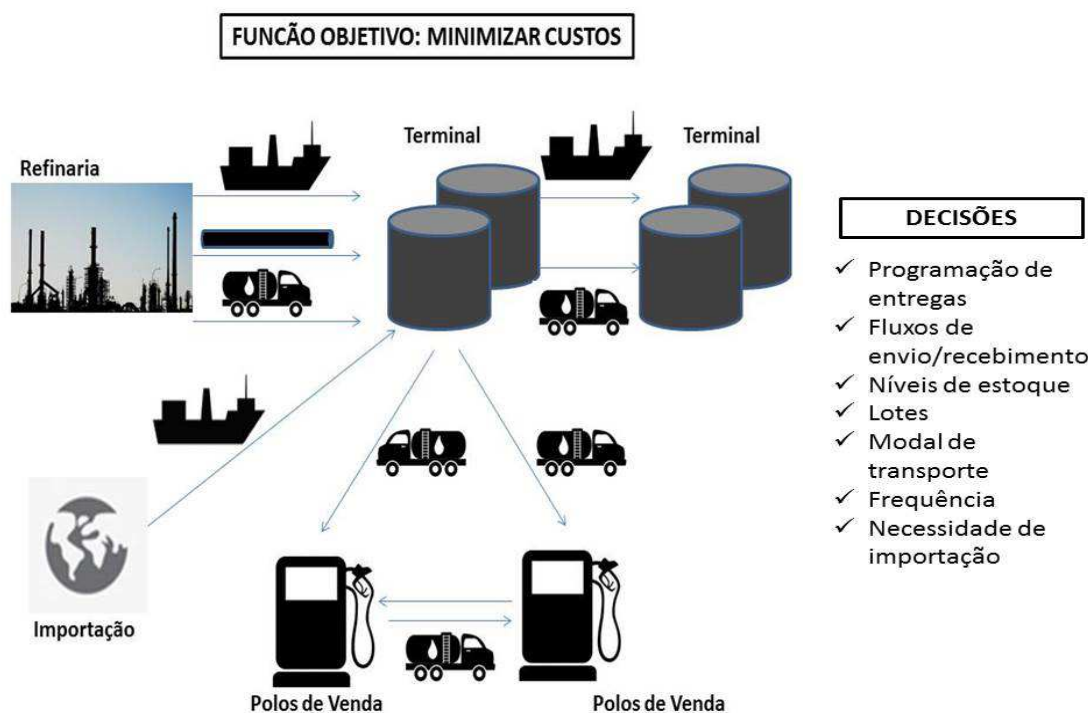


Figura 4.1 – Rede da cadeia de suprimento de derivados de petróleo. Fonte: o autor

Estas decisões serão orientadas pelos seguintes direcionadores:

- Atendimento obrigatório do mercado previsto para cada período;
- Minimização de custos de frete;
- Minimização de custos de estoque;
- Minimização de custos portuários;
- Minimização de custos de sobrestadia;
- Minimização de custos operacionais;
- Minimização de custos de armazenagem.

No entanto, as decisões táticas estarão sujeitos às restrições de demanda e ofertas nos diversos nós da rede, além de restrições de capacidade, que serão explicitadas na sequência.

Atualmente, para o suprimento de derivados de petróleo nos polos de venda é utilizado o sistema PLANAB – Planejamento do Abastecimento (FNQ, 2012), um modelo de planejamento tático. Para o planejamento operacional (programação) dos polos atendidos por cabotagem são utilizados controles desenvolvidos em planilhas eletrônicas. O planejamento tático utilizado

atualmente, inclusive para os polos atendidos por cabotagem, não contempla restrições importantes para o processo de programação de navios como, por exemplo, tancagem disponível nos polos e calado dos portos. Por este motivo, não é observada aderência entre o planejamento tático e as operações realizadas no suprimento destes polos.

O modelo proposto neste trabalho abrange apenas o suprimento de gasolina e diesel da Região Nordeste e tem como objetivo atuar nas lacunas descritas acima. O modelo também pode ser utilizado para avaliação de suprimento de outras regiões que são atendidas por cabotagem. Para isso, as restrições e características específicas do sistema deverão ser modeladas e incorporadas ao modelo.

## **4.2 Descrição do modelo**

A função objetivo (FO) do modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) proposto representa a minimização dos custos logísticos envolvidos no suprimento de gasolina e diesel, proporcionando uma melhoria nos resultados operacionais da empresa, dado que nos cenários analisados, as receitas se manteriam constantes, sem considerar possíveis reajustes dos preços dos produtos ou até mesmo de ajustes de preços e de área de influência entre os pontos de fornecimento.

Foram disponibilizados no modelo arcos para transporte rodoviário de derivados entre os pontos de fornecimento, possibilitando o atendimento / complementação da demanda por um modal alternativo. Esta opção disponibilizada no modelo representa a oferta de polo alternativo, quando há falha no suprimento de gasolina e diesel em um determinado polo. Neste caso, a distribuidora realiza uma movimentação rodoviária do produto de um polo alternativo para o polo deficitário, ficando a Petrobras responsável por reembolsar os custos envolvidos nesta movimentação.

No modelo, o período analisado é discretizado em semanas, sendo cada mês composto de 4 semanas. O modelo pode contemplar paradas nos terminais aquaviários e manutenção programada da tancagem existente, sendo necessário

que estas indisponibilidades temporárias sejam alimentadas corretamente nos cenários. Paradas programadas de unidades de produção das refinarias também podem ser contempladas, resultando em produções menores nos períodos de parada.

#### 4.2.1 Índices

Índices	Descrição
g	Região
l, i, j	Localidade
n	Tipo de navio
p	Produto
s	Segmento de reta - Sobrestadia
t	Período (semana)

Tabela 4.1 - Índices do modelo. Fonte: autor

Sub-índices	Descrição
$l_e \subseteq l$	subgrupo de polos externos
$l_m \subseteq l$	subgrupo de terminais marítimos
$l_r \subseteq l$	subgrupo de refinarias
$l_v \subseteq l$	subgrupo de polos de venda

Tabela 4.2 - Sub-índices do modelo. Fonte: autor

#### 4.2.2 Parâmetros

Parâmetros	Definição	Unidade
BigM	Parâmetro auxiliar	sem unidade
$CA_{TP_{l,p}}$	Tarifa de armazenagem da Transpetro para o produto p no local l	R\$/m <sup>3</sup>
$CAP_{N_{n,p}}$	Volume máximo do transporte n para o produto p	m <sup>3</sup>
$CE_{l,p,t}$	Preço de venda do produto p no local l no período t	R\$/m <sup>3</sup>
$CF_{i,j,n,t}$	Custo de frete marítimo da origem i ao destino j no navio n durante o período t por viagem	R\$
$C_{i,j,n}$	1, se há arco da origem i para o destino j via navio n. 0, caso contrário	{0,1}

$CL_{n,l,p}$	Volume máximo que o navio n pode levar para de produto p para a localidade l	$m^3$
$CO_{l,p}$	Tarifa Transpetro para movimentar o produto p no local l	$R\$/m^3$
$CP\_Nav_{n,l,t}$	Tarifa portuaria no local l para atracar o navio n no período t	$R\$/m^3$
$CP\_VOL_{l,p,t}$	Tarifa portuaria no local l para movimentar o produto p durante o período t	$R\$/m^3$
$CS_{s,l,t}$	Custo de sobrestadia do segmento s no local l no período t	$R\$/m^3$
$D_{l,p,t}$	Demanda do produto p no local l no período t	$m^3$
$EI_{p,l}$	Estoque inicial de produto p no local l	$m^3$
EO	Estoque máximo para manter a refinaria operando	%
ES	Estoque mínimo de cada região ( estoque de segurança)	Dias
EXP	Capacidade de expedição rodoviária	$m^3$
$FR_{i,j}$	Custo de frete rodoviário da origem i ao destino j no período t	$R\$/m^3$
$FS_{s,l,t}$	Faixas de Sobrestadia no local l no período t	sem unidade
$GP_{l,g}$	Grupamento Polo / Refinaria / Terminal	sem unidade
$PI_{l,p,t}$	Preço de compra do produto p no local l no período t	$R\$/m^3$
$PM_{p,l}$	1, se há movimentação de produto p na localidade l. 0, caso contrário	{0,1}
$PR_{l,p,t}$	Quantidade produzida de produto p no local l no período t	$m^3$
$RD_{i,j}$	1, se há rodovia interligando origem i ao destino j. 0, caso contrário	{0,1}
$R_{l,p,t}$	Tancagem disponibilizada pelos clientes para o produto p no local l no período t	$m^3$
$Y_{l,p,t}$	Tancagem disponível na Transpetro para o produto p no local l no período t	$m^3$

Tabela 4.3 - Parâmetros do modelo. Fonte: autor



### 4.2.3 Variáveis

Variáveis	Definição	Unidade	Domínio
$x_{i,j,p,n,t}$	Volume do produto p transportado da origem i ao destino j pelo navio n no período t	$m^3$	$R+$
$ind_{i,j,t,n}$	Variável auxiliar	sem unidade	$\{0,1\}$
$v_{l,p,t}$	Estoque do produto p no local l no período t	$m^3$	$R+$
$z_{n,l,p,t}$	Volume movimentado do produto p no local l por navio n no período t	$m^3$	$R+$
$f_{s,l,t}$	Fração do segmento de reta de sobrestadia	$m^3$	$R+$
$k_{l,p,t}$	Volume importado do produto p no local l no período t	$m^3$	$R+$
$u_{l,p,t}$	Volume armazenado na Transpetro do produto p no local l no período t	$m^3$	$R+$
$b_{i,j,p,t}$	Volume do produto p transportado de i para j pelo modal rodoviário no local l no período t	$m^3$	$R+$
$w_{n,l,t,p}$	Quantidade de atracções de navio n com o produto p na localidade l no período t	sem unidade	$N$
$o_{l,p,t}$	Quantidade de produto p disponível no local l no período t	$m^3$	$R+$

Tabela 4.4 - Variáveis do modelo. Fonte: autor

#### 4.2.4 Função Objetivo e Restrições

$$\text{MINIMIZAR CUSTOS LOGÍSTICOS} = \sum_t \text{CUSTOS}$$

Minimizar

$$+ \sum_{i,j,n,t} CF_{i,j,n,t} \times ind_{i,j,n,t} \quad (4.1) \text{Custo de transporte marítimo de derivados}$$

$$+ \sum_{l,p,t} CE_{l,p,t} \times v_{l,p,t} \quad (4.2) \text{Custo de estoque}$$

$$+ \sum_{n,l,p,t} CP\_VOL_{l,p,t} \times z_{n,l,p,t} \quad (4.3) \text{Custo portuário por volume}$$

$$+ \sum_{n,l,p,t} CP\_NAV_{n,l,t} \times w_{n,l,p,t} \quad (4.4) \text{Custo portuário por atracação de navio}$$

$$+ \sum_{s,l,t} CS_{s,l,t} \times f_{s,l,t} \quad (4.5) \text{Custo de sobrestadia}$$

$$+ \sum_{l,p,t} PI_{l,p,t} \times k_{l,p,t} \quad (4.6) \text{Custo de importação de derivados}$$

$$+ \sum_{n,l,p,t,j} CO_{l,p} \times x_{i,j,n,p,t} \quad (4.7) \text{Custo operacional}$$

$$+ \sum_{l,p,t} CA\_TP_{l,p} \times u_{l,p,t} \quad (4.8) \text{Custo de armazenagem na Transpetro}$$

$$+ \sum_{i,j,p,t} FR_{i,j} \times b_{i,j,p,t} \quad (4.9) \text{Custo do não atendimento (transporte rodoviário)}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i,n} x_{i,l,n,p,t} + o_{l,p,t} + EI_{p,l} + \sum_i b_{i,l,p,t} = \sum_{j,n} x_{l,j,n,p,t} + D_{l,p,t} + v_{l,p,t} + \sum_j b_{l,j,p,t} \quad l \neq l_e, \forall p e t = 1 \quad (4.10)$$

$$\sum_{i,n} x_{i,l,n,p,t} + o_{l,p,t} + v_{l,p,t-1} + \sum_i b_{i,l,p,t} = \sum_{j,n} x_{l,j,n,p,t} + D_{l,p,t} + v_{l,p,t} + \sum_j b_{l,j,p,t} \quad l \neq l_e, \forall p e t > 1 \quad (4.11)$$

As equações (4.10 e 4.11) garantem o balanço de derivados  $p$  nas localidades  $l$  em todos os períodos  $t$ . A soma das entradas de produto na localidade mais a oferta de produto na localidade mais o estoque de fechamento do período anterior deve ser igual à soma das saídas de produto na localidade mais a demanda de produto na localidade mais o estoque de fechamento. Para o primeiro período ( $t=1$ ), o estoque de fechamento do período anterior é substituído pelo parâmetro de estoque inicial. Com esta equação, o modelo garante que o mercado de todos os produtos  $p$  será atendido em todos os períodos  $t$ .

$$\sum_s f_{s,l,t} = \sum_{n,p} z_{n,l,p,t} \quad \forall t, \quad l \in l_m \quad (4.12)$$

$$f_{s,l,t} \leq FS_{s,l,t} \quad \forall s, l, t \quad (4.13)$$

A equação (4.12) define que todo volume movimentado (entradas e saídas) em cada terminal marítimo será utilizado para cálculo da sobrestadia em cada terminal. A inequação (4.13) garante que os valores de sobrestadia fiquem distribuídos dentro de cada faixa de sobrestadia definida anteriormente, respeitando os limites de cada faixa. Estas faixas são determinadas através da curva de sobrestadia de cada terminal, sendo o volume movimentado representado no eixo das abcissas e o custo de sobrestadia de cada ponto no eixo das ordenadas. São utilizadas as tangentes dos pontos localizados sobre a curva. Os coeficientes angulares das retas tangente dos pontos, bem como os volumes referentes a cada ponto, são utilizados para o cálculo do custo de sobrestadia e os limites volumétricos de cada faixa, respectivamente.

$$o_{l,t,p} \leq PR_{l,p,t} \quad l \in (l_r \cup l_e), \forall t, p \quad (4.14)$$

A inequação (4.14) garante que a oferta de produto em cada localidade fique restrita à produção daquele produto no período  $t$ .

$$v_{l,p,t} \leq R_{l,p,t} + Y_{l,p,t} \quad l \neq l_r, \forall p, t \quad (4.15)$$

$$u_{l,p,t} \leq Y_{l,p,t} \quad l \in l_m, \forall p, t \quad (4.16)$$

A inequação (4.15) limita o estoque de cada produto em cada localidade ao somatório das tancagens disponibilizadas no polo, enquanto que a inequação (4.16) não permite que o estoque de produto armazenado na Transpetro em cada localidade exceda a tancagem disponível exclusivamente na Transpetro.

$$x_{i,j,n,p,t} \leq CAP_{N_{n,p}} \quad \forall i, j, n, p, t \quad (4.17)$$

$$x_{i,j,n,p,t} \leq \min(CL_{n,i,p}; CL_{n,j,p}) \quad \forall n, p, t / i, j \in l_m \quad (4.18)$$

A inequação (4.17) limita a movimentação de produto entre uma localidade de origem e uma localidade de destino ao limite da capacidade de movimentação do tipo de transporte utilizado na movimentação. A inequação (4.18) limita a movimentação entre duas localidades ao mínimo entre o calado de origem e de destino, quando a movimentação é realizada entre os terminais marítimos.

$$\sum_p x_{i,j,n,p,t} \leq ind_{i,j,t,n} \times BigM \quad \forall i,j,t,n \quad (4.19)$$

A inequação (4.19) é uma inequação auxiliar que limita a movimentação de produto entre uma localidade de origem e de destino ao resultado da multiplicação da variável binária por uma constante.

$$w_{n,l,p,t} \geq \frac{z_{n,l,p,t}}{CAP\_N_{n,p}} \quad \forall n,p,t \in l \in l_m \quad (4.20)$$

$$w_{n,l,p,t} \leq \frac{z_{n,l,p,t}}{CAP\_N_{n,p}} + 1 \quad \forall n,p,t \in l \in l_m \quad (4.21)$$

As inequações (4.20 e 4.21) definem o número de atracções de navios em cada localidade, levando em consideração o volume movimentado por cada tipo de navio em cada terminal marítimo e a capacidade de cada navio.

$$v_{l,p,t} \leq Y_{l,p,t} \times EO \quad \forall p,t \in l \in l_r \quad (4.22)$$

A inequação (4.22) restringe o estoque máximo da refinaria a um estoque operacional. Tal medida torna-se necessária para que a refinaria não incorra em risco de redução de carga e, conseqüentemente, redução na capacidade de produção de derivados, devido indisponibilidade de espaço físico para armazenamento dos derivados produzidos.

No modelo proposto, o parâmetro  $EO$  (estoque operacional) é único para todas as refinarias e para todos os produtos. Porém, caso sejam necessárias diferenciações neste parâmetro, devido questões relacionadas à política de estoque ou de características de produção de uma refinaria, o parâmetro pode ser reescrito em função da localidade e do produto, ficando o parâmetro definido como  $EO_{l,t}$ .

$$v_{l,p,|t|} \geq EI_{p,t} \quad l \neq l_e, \forall p \quad (4.23)$$

A inequação (4.23) obriga que o estoque do último período (representado por  $|t|$ ) seja pelo menos igual ao estoque inicial de cada produto em cada localidade para que o modelo, em busca de uma redução dos custos de estoques, não sugira uma desestocagem nos períodos finais.

$$\sum_t v_{l,p,t} \times GP_{l,g} \geq \sum_t d_{l,p,t} \times GP_{l,g} \times \frac{ES}{7} \quad \forall g,p,t \quad (4.24)$$

A inequação (4.24) insere no modelo o conceito de estoque de segurança e determina que o estoque mínimo de produto em cada região (grupamento de polo de venda, terminal e refinaria de uma mesma localidade geográfica) deva ser de pelo menos um número de dias de consumo do mercado local, garantindo uma maior confiabilidade ao suprimento desta região, porém incorrendo no aumento de custos da cadeia devido aumento nos níveis de estoque.

$$\sum_i b_{i,j,p,t} \leq EXP \quad \forall j,p,t \quad (4.25)$$

A inequação (4.25) estabelece um limite para expedição rodoviário de produto de um polo de venda para outro, impossibilitando que o modelo crie um fluxo de envio de produto por modal rodoviário além da capacidade de carregamento instalada. No modelo proposto, o parâmetro de capacidade de expedição rodoviária é o mesmo para todos os polos de venda, porém ele pode ser descrito em função de cada localidade, respeitando os limites individuais de cada sistema.

## 5 Estudo de Caso

### 5.1 Apresentação do contexto do Estudo de Caso

O modelo proposto foi aplicado para avaliação do suprimento de gasolina e diesel da Região Nordeste do Brasil. A Figura 5.1 apresenta a produção e o mercado destes dois derivados no Brasil ano de 2013, de onde podemos observar que a Região analisada corresponde a 13,2% e 12,6% da produção nacional de gasolina e diesel, respectivamente, e a 19,0% e 16,4% do mercado.

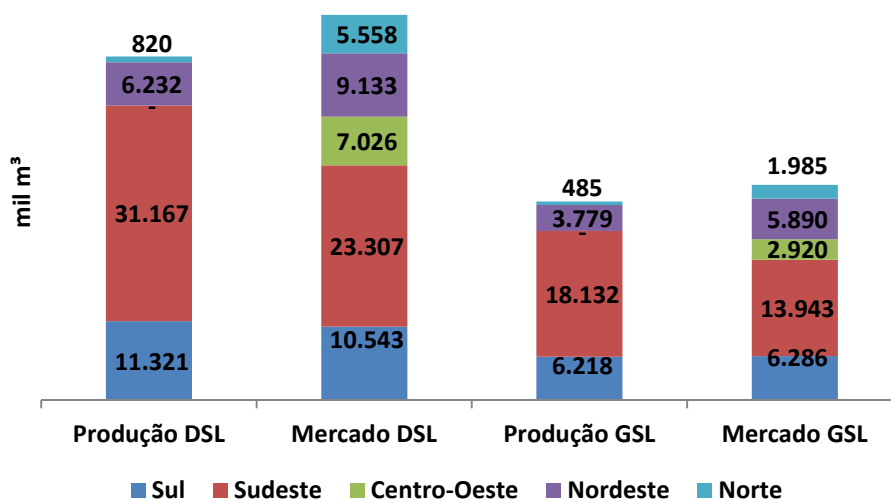


Figura 5.1 – Produção e mercado de gasolina e diesel no Brasil em 2013. Fonte: ANP (2014a)

A rede logística da região abordada neste trabalho, apresentada na figura 5.2, é composta por:

- 10 polos de venda;
- 7 terminais aquaviários;
- 3 refinarias;
- 3 produtos;
- Mercado local das macrorregiões Centro-Sul e Norte;
- Terminal aquaviário das macrorregiões Centro-Sul e Norte;
- Refino instalado nas macrorregiões Centro-Sul e Norte;

- Frente de importação de gasolina e diesel.

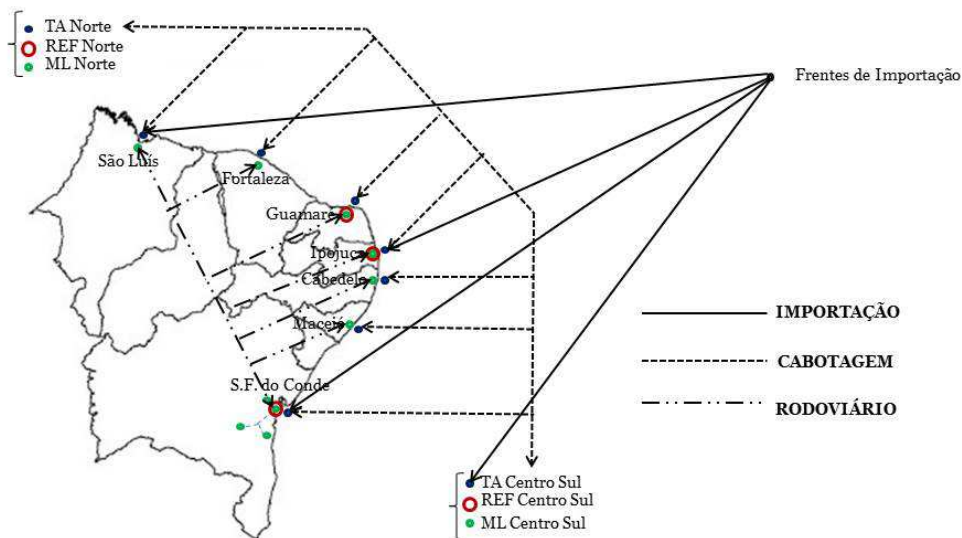


Figura 5.2 – Rede logística do suprimento de gasolina e diesel da região Nordeste. Fonte: autor

A partida da Refinaria Abreu e Lima (RNEST) também foi contemplada no modelo, considerando o início da operação em Dezembro de 2014, conforme PETROBRAS (2014), com produção de derivados a partir de 2015.

O mercado, os terminais aquaviários e o refino instalado nas demais regiões do país foram contemplados no modelo, sendo agregados em dois blocos, de acordo com as características de suprimento, resultado em duas macrorregiões: Centro-Sul, que abrange as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, e a Norte, que abrange todos os estados desta região. Estas macrorregiões devem estar presentes no modelo, pois o suprimento destas regiões está diretamente relacionado ao suprimento da região Norte, visto que o suprimento nacional de derivados é completamente interligado.

Os mercados, terminais marítimos e refinarias de cada estado da região Nordeste foram agrupados para definição de política de estoques de acordo com a demanda em cada um desses estados, resultando nos grupos apresentados na Tabela 5.1

<b>Grupamento</b>	<b>Mercado Local</b>	<b>Terminal Aquaviário</b>	<b>Refinaria</b>
<b>BA</b>	São Francisco do Conde	Madre de Deus	RLAM
<b>AL</b>	Maceió	Maceió	
<b>PE</b>	Ipojuca	Suape	RNEST
<b>PB</b>	Cabedelo	Cabedelo	
<b>RN</b>	Guamaré	Guamaré	RPCC
<b>CE</b>	Fortaleza	Mucuripe	
<b>MA</b>	São Luís	Itaqui	

Tabela 5.1 – Grupamento de polos, terminais e refinarias. Fonte: autor.

Apesar de o modelo proposto possuir mais de uma frente de importação de derivados, não é objetivo do modelo determinar as frentes mais econômicas para importação, dado que para isso seria necessário estimar os prêmios e cotações internacionais destes derivados. Assim, o modelo tem como um dos objetivos calcular apenas o custo logístico da importação, sem considerar os custos da aquisição do produto. Por isso, todas as frentes tem o mesmo custo de aquisição, que é descontado do custo total. Vale destacar que para determinar as frentes de importação mais econômicas, a Petrobras utiliza o sistema PLANAB.

No modelo proposto foram utilizados os três principais modais utilizados na cadeia de suprimento do Brasil: rodoviário, dutoviário e marítimo. Neste último modal, foram utilizados dois tipos de navio: MR (*Medium Range*) e LR1 (*Long Range 1*), sendo o segundo utilizado exclusivamente para importações de longo



curso e o primeiro utilizado tanto para cabotagem, quanto para importações de longo curso.

Para calcular o custo de estoque para a empresa, foi considerado o custo de oportunidade da venda do produto, que neste caso, é representado apenas pela postergação da operação de venda, resultando em um custo financeiro. O preço do produto foi multiplicado pela atual taxa de juros, capitalizada semanalmente.

Os custos de operação e de armazenagem nas instalações da Transpetro foram obtidos na tabela de tarifas no site da empresa (TRANSPETRO, 2014). Os custos portuários foram obtidos a partir da tabela de tarifas publicadas no site da agência reguladora (ANTAQ, 2014).

No modelo proposto, foi analisado o período de 2 anos, discretizados em semanas, resultando em um número total de 104 semanas. A Figura 5.3 apresenta os mercados mensais previstos para região Nordeste utilizados no modelo..

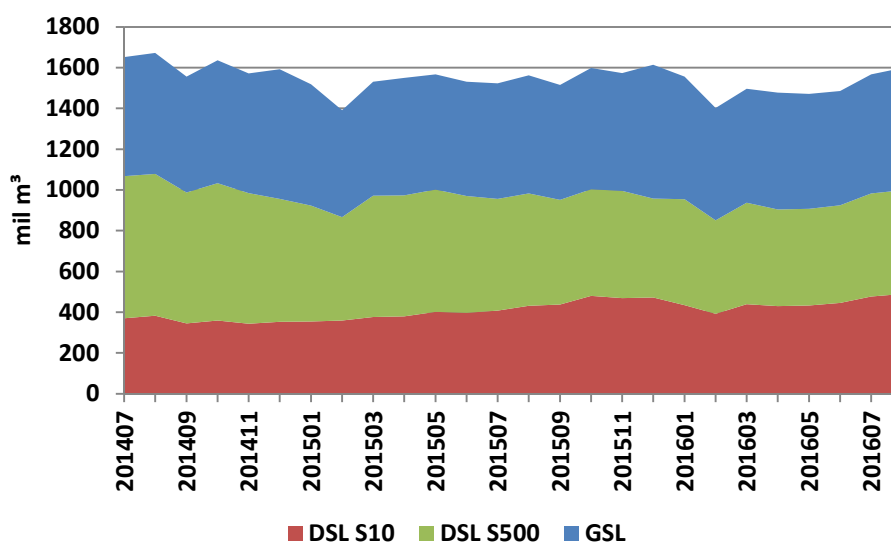


Figura 5.3 – Mercados da região Nordeste do Brasil. Fonte: autor

## 5.2 Análise de Resultados do Estudo de Caso

A principal motivação do trabalho é a proposição de um modelo para avaliação do suprimento de gasolina e diesel da região Nordeste do Brasil, destacando os principais custos logísticos envolvidos na cadeia de suprimento, permitindo identificar aqueles que têm o maior impacto nos custos e propondo estratégias para minimizá-los. O modelo também irá auxiliar na alocação efetiva de investimentos das distribuidoras para otimizar o suprimento da região, minimizando os custos logísticos.

O problema, analisado com auxílio do *software* AIMMS 3.13 (BISSCHOP, 2013), apresentou 127.721 variáveis, das quais 26.000 são inteiras e 101.721 contínuas, e 154.310 restrições. O processamento do *software* foi realizado em um computador Intel Core i3 com 2,10 *gigahertz* de velocidade e 4,00 *gigabytes* de memória RAM. O *solver* CPLEX 12.5.1 demorou 14.088 segundos para atingir a solução ótima.

O modelo obteve um custo logístico médio mensal de R\$ 153.073.384 para o período analisado. Os resultados obtidos foram validados por técnicos da área de Abastecimento da empresa. A Figura 5.4 apresenta as contribuições de cada um dos custos logísticos incorridos para o suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste do Brasil.

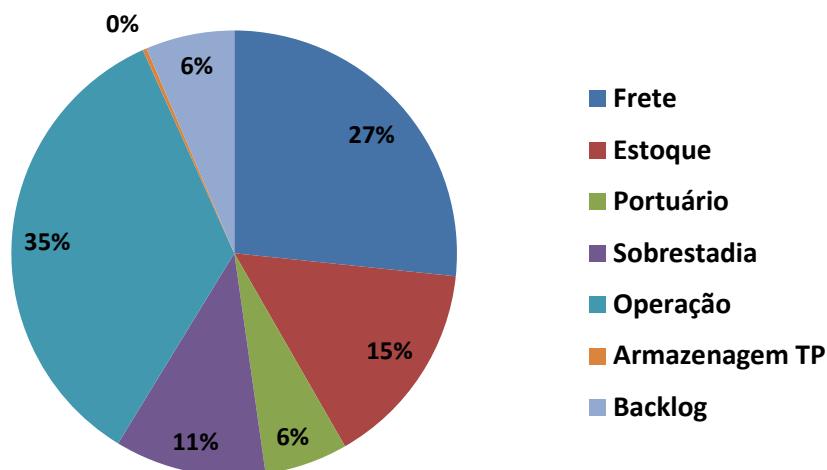


Figura 5.4 – Custos logísticos no suprimento de gasolina e diesel da região Nordeste do Brasil. Fonte: autor

Analisando os resultados por períodos, pode-se observar um custo logístico elevado logo no primeiro período. Este patamar de custo pode ser justificado pelo fato do sistema inicial não estar otimizado, fazendo com que já no primeiro período, o modelo busque esta otimização de maneira a reduzir os custos totais do período analisado. Pode-se observar uma redução nos custos logísticos após a partida da RNEST (período 16), devido uma redução nos custos de frete com as importações. Porém, ao longo do período avaliado, é observada a tendência de aumento dos custos logísticos motivado pelo aumento da demanda com a manutenção da infraestrutura logística. A Figura 5.5 apresenta a evolução dos custos logísticos durante todo este período.

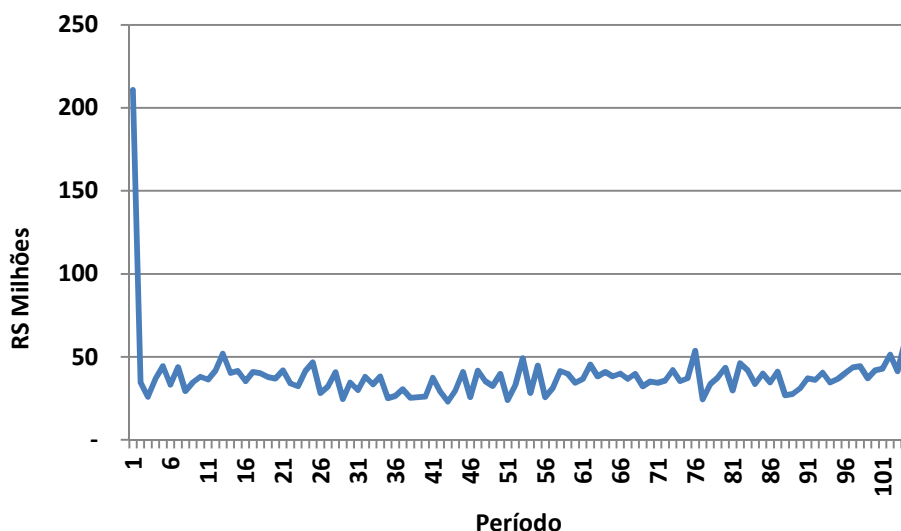


Figura 5.5 – Custo logístico por período. Fonte: autor

Os resultados do modelo demonstraram uma redução no nível de estoque dos derivados, especialmente no nível dos estoques do Diesel S500, que tem um mercado decrescente devido à substituição gradativa deste produto pelo Diesel S10, com menor teor de enxofre. Este produto é o único cujo estoque apresenta uma tendência de aumento. Os estoques de gasolina, após um decréscimo elevado, se mantêm estáveis na faixa de 450 mil m<sup>3</sup>. A Figura 5.6 apresenta o estoque médio mensal de cada derivado no período analisado.

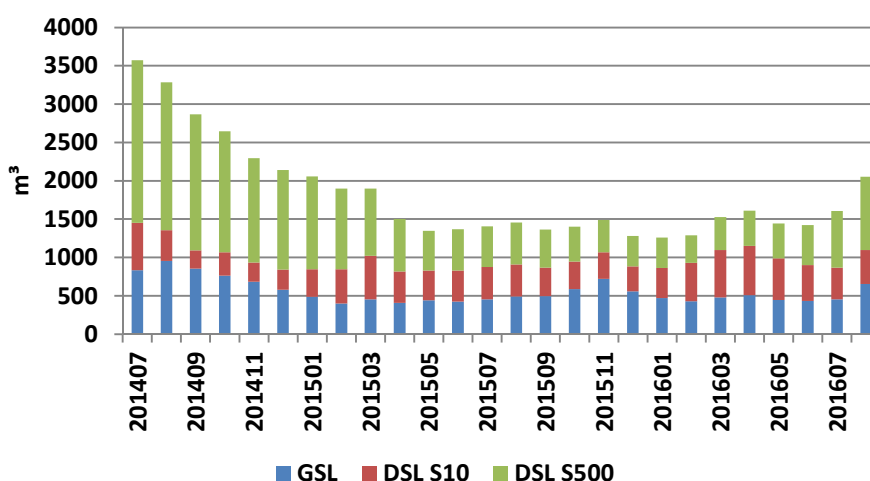


Figura 5.6 – Estoque médio mensal de derivados por período. Fonte: autor

As movimentações portuárias, e, conseqüentemente, os custos operacionais e portuários, se concentram nos Terminais Aquaviários (TA) de Itaqui, Suape e

Madre de Deus. Os dois primeiros são os principais portos de entrada para importação. Após nacionalização do produto, a carga é desmembrada e o produto é utilizado para atendimento dos demais polos de cabotagem das regiões Norte e Nordeste. A alta movimentação portuária no Terminal Aquaviário de Madre de Deus se deve à necessidade de escoamento do excedente da produção da RLAM. A Figura 5.7 apresenta a participação dos principais TA da região na movimentação de gasolina e diesel durante o período analisado.

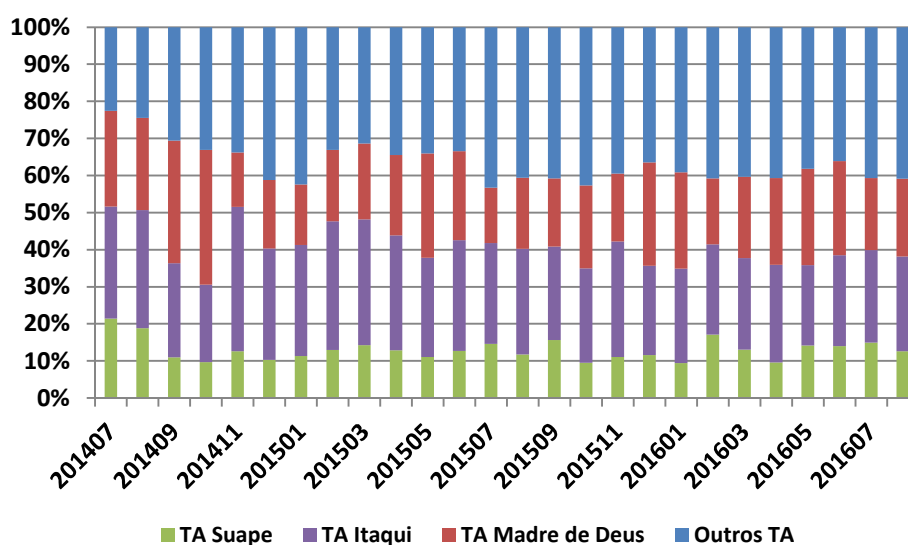


Figura 5.7 – Participação dos principais portos nas movimentações de gasolina e diesel por período. Fonte: autor

O modelo opta por utilizar pouco a tancagem da Transpetro, devido custo da tarifa de armazenagem, conforme apresentado na Figura 5.8. A prioridade é utilizar a tancagem dos clientes ou a tancagem da refinaria, que do ponto de vista do modelo, não possui custo adicional além do custo do estoque imobilizado. A média de utilização da tancagem da Transpetro foi de 5,5% no período, sendo que em alguns períodos esta tancagem disponível a determinado custo não foi utilizada.

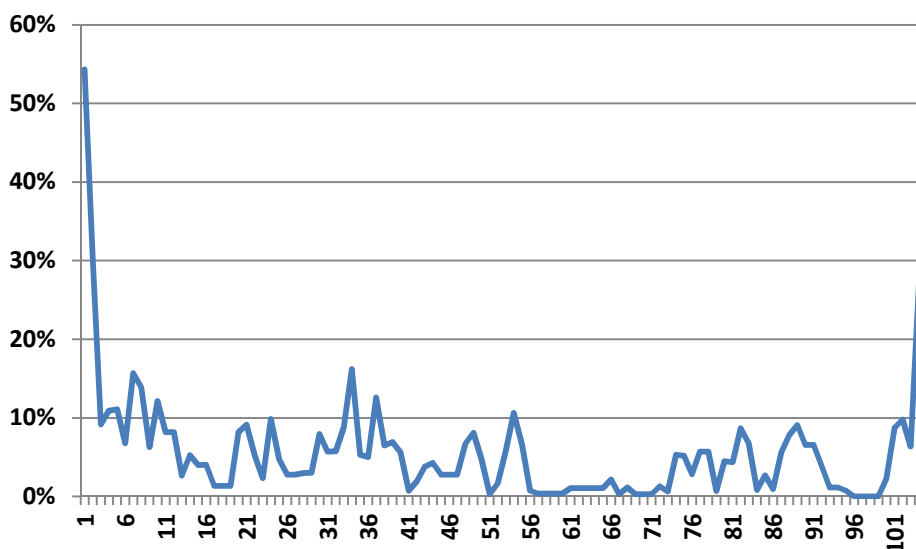


Figura 5.8 – Taxa de ocupação da tancagem da Transpetro durante o período. Fonte: autor

Conforme discutido anteriormente, o Brasil vem aumentando o percentual da participação do produto importado para o atendimento do mercado nacional. Porém, a expectativa com o início da operação das novas refinarias, há uma tendência de redução desta participação. A Figura 5.9 mostra uma redução do nível de importação de gasolina e diesel S10 após o início da operação da RNEST, que se intensifica após a entrada em operação do 2º trem da refinaria, previsto para Abril de 2015.

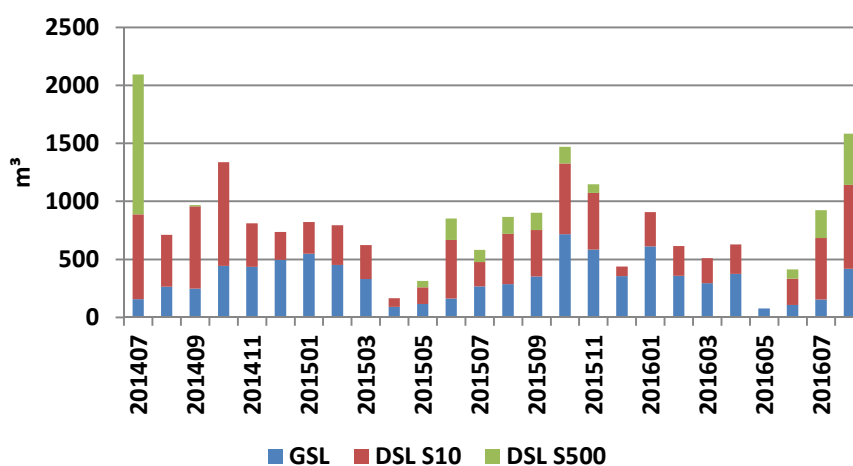


Figura 5.9 – Importação de gasolina e diesel no período. Fonte: autor

No modelo foram inseridos arcos rodoviários entre os polos de venda de forma a possibilitar alternativas para o suprimento dos polos de cabotagem além

do modal marítimo. Esta modelagem representa o remanejamento de mercado de gasolina e diesel entre estes polos, que é realizado pelas distribuidoras com o ressarcimento dos custos de frete por parte da Petrobras, quando ocorrem situações de riscos de desabastecimento do mercado de determinado local e o não cumprimento da entrega prevista no contrato firmado entre as partes. Na Tabela 5.2 são apresentados os volumes totais transferidos entre os polos por modal rodoviário e o número de períodos que este modal foi utilizado em cada arco rodoviário.

Produto	Destino	Volume total (mil m <sup>3</sup> )	No. de períodos
<b>GSL</b>	ML Maceio	191.3	46
<b>GSL</b>	ML Cabedelo	1007.0	83
<b>GSL</b>	ML Fortaleza	72.7	13
<b>GSL</b>	ML Guamare	13.7	19
<b>GSL</b>	ML Sao Luis	11.3	6
<b>DSL S10</b>	ML SFConde	42.9	8
<b>DSL S10</b>	ML Ipojuca	2.1	2
<b>DSL S10</b>	ML Fortaleza	82.3	17
<b>DSL S10</b>	ML Guamare	386.8	46
<b>DSL S10</b>	ML Sao Luis	140.4	15
<b>DSL S10</b>	ML Norte	11.9	2
<b>DSL S500</b>	ML Maceio	126.8	21
<b>DSL S500</b>	ML Cabedelo	236.7	42
<b>DSL S500</b>	ML Ipojuca	87.0	15
<b>DSL S500</b>	ML Fortaleza	108.6	30
<b>DSL S500</b>	ML Guamare	28.4	5
<b>DSL S500</b>	ML Sao Luis	1.0	1

Tabela 5.2 – Volumes transportados entre os polos pelo modal rodoviário. Fonte: autor

O modelo indica uma alta frequência no recebimento de gasolina e diesel S500 pelo modal rodoviário em Cabedelo, de gasolina em Maceió e de diesel S10 em Guamaré. Os mercados de gasolina de Maceió e Cabedelo são atendidos prioritariamente por Ipojuca, o mercado de diesel S500 de Cabedelo é atendido preferencialmente por Guamaré e o mercado de diesel S10 de Guamaré por Ipojuca. Estes resultados indicam que o custo de suprimento destas parcelas pelo modal marítimo são maiores que os custos pelo modal rodoviário, respeitadas às demais restrições. Estas indicações podem ser justificadas pela melhor eficiência

neste tipo de modal para transporte entre distâncias próximas e de volumes menores.

Considerando que o suprimento rodoviário de gasolina e diesel é previsto contratualmente, porém não é desejável, visto que o transporte rodoviário de combustíveis implica em inúmeros riscos, devido às condições de segurança e de pavimentação das estradas brasileiras, principalmente na região analisada, o nível de serviço que a Petrobras pratica em cada um dos polos de entrega na região Nordeste deve ser impactado pelo atendimento nesta modalidade de transporte. A partir dos volumes transferidos entre os polos pelo modal rodoviário, podemos determinar o nível de serviço do suprimento de cada um dos derivados analisados a partir da equação 5.1.

$$NS_p = 1 - \left( \sum_{i,j,t} b_{i,j,p,t} / \sum_{l,t} D_{l,p,t} \right) * 100 \quad \forall l, p, t \quad (5.1)$$

A partir dos resultados apresentados pelo modelo é possível calcular o nível de serviço prestado pela Petrobras para cada um dos derivados comercializados na Região analisada. Os níveis de serviço são apresentados na Tabela 5.3.

Produto	GSL	DSL S10	DSL S500
Nível de Serviço	98.2%	98.3%	99.2%

Tabela 5.3 – Nível de serviço prestado pela Petrobras no suprimento de gasolina e diesel na região por produto. Fonte: autor

Ao analisar o nível de serviço por produto considerando as indicações obtidas no modelo, temos resultados bastante satisfatórios, pois para todos os produtos o nível de serviço prestado pela Petrobras ficou acima de 98,0%.

Porém, esta análise deve ser extrapolada para os polos de venda. Para isso, a equação 5.1 deve ser reescrita, resultando na equação 5.2.

$$NS_{p,l} = 1 - \left( \sum_{i,t} b_{i,j,p,t} / \sum_t D_{l,p,t} \right) * 100 \quad \forall l, p, t \quad (5.2)$$

Os resultados da equação 5.2 são apresentados na Tabela 5.4, que apresenta os níveis de serviços praticados separados por polo e produto.



<b>Polo</b>	<b>GSL</b>	<b>DSL S10</b>	<b>DSL S500</b>
<b>ML SFConde</b>	100.0%	98.7%	100.0%
<b>ML Maceio</b>	66.6%		78.6%
<b>ML Cabedelo</b>	18.5%		64.2%
<b>ML Ipojuca</b>	100.0%	99.9%	92.9%
<b>ML Fortaleza</b>	96.4%	94.7%	85.3%
<b>ML Guamare</b>	98.7%	62.3%	96.2%
<b>ML Sao Luis</b>	99.6%	93.6%	100.0%

Tabela 5.4 – Nível de serviço prestado pela Petrobras no suprimento de gasolina e diesel na região por polo e produto. Fonte: autor

O nível de serviço é impactado pela parcela do mercado do polo atendida pelo modal rodoviário. Conforme já apresentado na Tabela 5.2, há uma alta incidência na movimentação rodoviária de produto para o atendimento dos polos de Cabedelo e Maceió. O modelo indicou uma redução do envio de produto para estes dois polos pelo modal marítimo. Tal indicativa pode ser utilizada para avaliar a atual precificação destes derivados nos dois polos, deslocando parte da demanda para polos mais próximos e com custo de suprimento menor.

## 6 Análise de Cenários

### 6.1 Impactos das restrições ocasionadas por agentes externos

Com a falta de investimento em infraestrutura, a Petrobras lida com restrições ocasionadas por agentes externos, como por exemplo, as distribuidoras de combustíveis e autoridades portuárias, no suprimento de gasolina e diesel da região Nordeste do Brasil. Para atender o mercado incorporando estas restrições, a Petrobras incorre em custos logísticos, que são absorvidos pela própria companhia.

As principais restrições impostas pelos agentes externos são:

- Tancagem insuficiente: No contrato de fornecimento de gasolina e diesel, a Petrobras exige das distribuidoras uma tancagem compatível com o mercado a ser atendido e com o tempo de ressuprimento do polo, expresso em dias. Porém, a tancagem efetiva disponibilizada pelas distribuidoras é inferior à tancagem exigida contratualmente na maior parte dos polos. A Tabela 6.1 apresenta os déficits e as capacidades excedentes das tancagens em todos os polos de cabotagem, considerando o tempo de ressuprimento e os mercados previstos para o período.

Produto	Cabedelo	Fortaleza	Ipojuca	Maceió	São Luís
<b>GSL</b>	-14%	-31%	-5%	-34%	6%
<b>DSL S10</b>	n/a	-43%	-22%	n/a	-51%
<b>DSL S500</b>	33%	-27%	36%	8%	19%

Tabela 6.1 – Déficit / Excesso de tancagem nos polos de cabotagem da região Nordeste para o período. Fonte: autor

- Calado: Devido problemas de assoreamento dos portos e falta de investimentos em dragagem, alguns portos apresentam restrições de calado, fazendo com que o navio destinado para o polo siga com praça-morta, isto é, o navio é carregado sem utilizar toda sua capacidade de carregamento. Esta restrição faz com que seja necessário o aumento da frequência de navios para atender a demanda do polo, aumentando os custos portuários e de frete.

• Sobrestadia: A falta de investimento nos portos, associada ao aumento de movimentação de produtos nos terminais aquaviários, vem gerando gargalos na operação e enormes filas de espera para atracação dos navios, inclusive para os navios responsáveis pelo suprimento de derivados no Brasil. Este aumento no tempo de espera do navio gera um aumento nos custos de sobrestadia, além tornar necessário um aumento da frota, dado que os navios passarão menos tempo disponíveis para operação devido ao maior de tempo de espera nos terminais. Esta última questão não é abordada no trabalho, que não tem como objetivo o dimensionamento da frota de navios.

Para quantificar os impactos das restrições ocasionadas pelos agentes externos, foram determinadas as tancagens ideais e flexibilizadas as restrições de calado. As tancagens ideais foram determinadas a partir dos mercados máximos para cada polo e produto no período analisado e os tempos máximos de ressuprimento exigidos contratualmente e apresentados na Tabela 6.2.

T (em dias)	Cabedelo	Fortaleza	Ipojuca	Maceió	São Luís
<b>GSL</b>	15	12	14	17	14
<b>DSL S10</b>	n/a	15	15	n/a	15
<b>DSL S500</b>	15	13	12	15	10

Tabela 6.2 – Tempo máximo de ressuprimento por polo e produto. Fonte: autor

Para flexibilização das restrições de calado, foram mapeados os calados de todos os terminais marítimos da região Nordeste, sendo que apenas o Terminal de Cabedelo apresentou a necessidade de flexibilização. Assim, no caso deste terminal, o volume máximo permitido por atracação foi representado pela capacidade de carga do navio utilizado para suprir o polo.

Para quantificar os custos de sobrestadia em portos públicos ou de terceiros, foram simulados cenários com redução nas faixas de custo de sobrestadia de portos de Itaqui, Mucuripe, Ipojuca, Cabedelo e Maceió de 10%, 20%, 30% 40% e 50%. A Tabela 6.3 apresenta todos os cenários simulados. Os resultados destas simulações, que também incorporaram as tancagens ideais e a flexibilização da restrição de calado de Cabedelo, são apresentadas na Figura 6.1. O custo médio mensal de cada cenário é comparado com o Cenário1.

Cenários	Características
Cenário 1	Real
Cenário 2	Sem restrições de calado e tancagem
Cenário 3	Cen.2 + 10% de redução da sobrestadia dos portos públicos
Cenário 4	Cen.2 + 20% de redução da sobrestadia dos portos públicos
Cenário 5	Cen.2 + 30% de redução da sobrestadia dos portos públicos
Cenário 6	Cen.2 + 40% de redução da sobrestadia dos portos públicos
Cenário 7	Cen.2 + 50% de redução da sobrestadia dos portos públicos

Tabela 6.3 – Cenários analisados. Fonte: autor

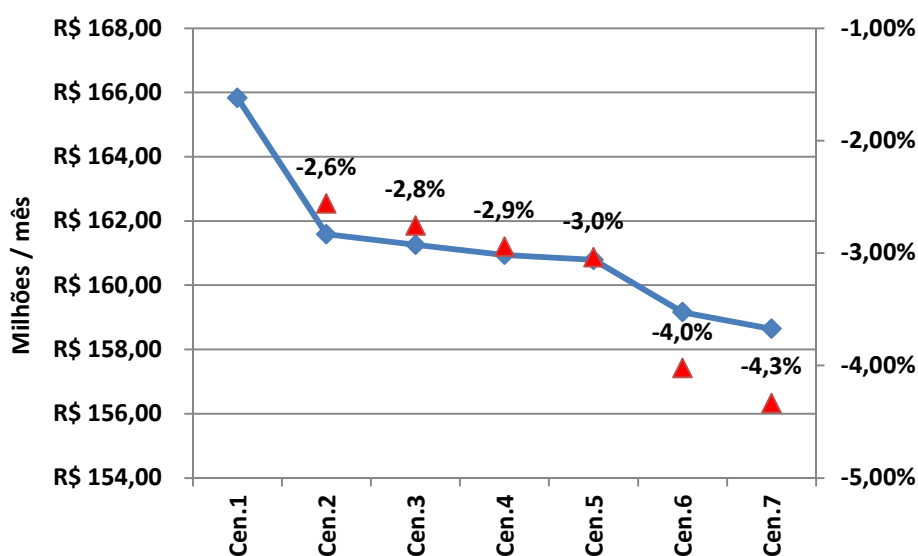


Figura 6.1- Média dos custos logísticos mensais dos cenários analisados. Fonte: autor

Além da redução do custo de sobrestadia, é possível observar também um aumento na movimentação de gasolina e diesel nos portos públicos, conforme apresentado na Figura 6.2.

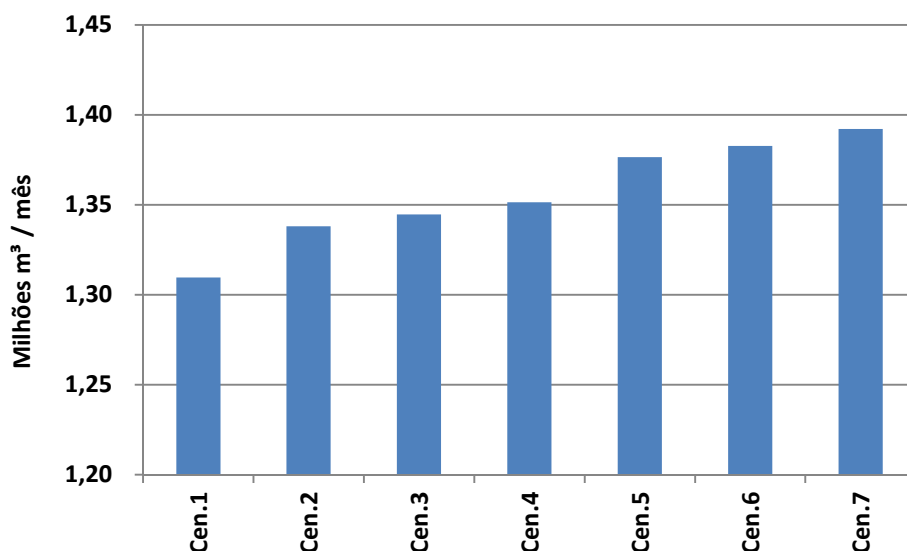


Figura 6.2- Média mensal das movimentações nos portos públicos nos cenários analisados. Fonte: autor

Diante dos resultados obtidos, pode-se observar uma redução de 2,6% nos custos logísticos totais de suprimento de gasolina e diesel quando não há restrições de calado e de tancagem nos polos atendidos. Considerando um cenário no qual sejam feitos investimentos necessários nos portos públicos, de forma a reduzir o custo de sobrestadia nestes polos em 50% do custo atual, os custos logísticos totais diminuem em 4,3%. Este percentual corresponde a uma economia de mais de R\$ 7,2 Milhões por mês para a Petrobras, caso todos estes investimentos fossem realizados.

O cenário 1 (cenário real) e o cenário 7 (sem restrições de calado e tancagem, além de redução de 50% no custo de sobrestadia dos portos públicos) foram comparados na Figura 6.3. O cenário 1 apresenta um menor custo mensal apenas nos parâmetros estoque e custo portuário. O cenário 7 apresenta um menor custo para os demais parâmetros, sendo a redução mais expressiva percentualmente o custo de ressarcimento de frete rodoviário entre os polos, e a redução mais expressiva em números absolutos o custo de sobrestadia. A elevação dos custos de operação, portuários e de estoque no cenário 7 é reflexo do aumento de produto movimentado pelo modal marítimo em substituição ao modal rodoviário. Porém esse aumento é compensado pela redução mais expressiva nas demais parcelas de composição dos custos logísticos.

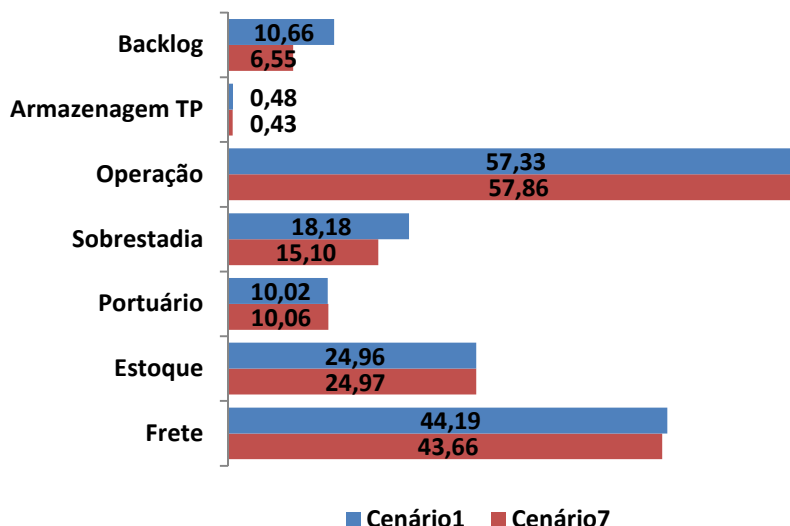


Figura 6.3- Média mensal dos custos logísticos nos cenários 1 e 7 (em R\$ MM). Fonte: autor

Os níveis de serviço praticados pela Petrobras no cenário 7 são apresentados nas Tabela 6.4 e 6.5, que expressam os níveis de serviço por produto e pelo agrupamento de polo produto, respectivamente. Além da redução do custo, é possível observar um aumento no nível de serviço prestado no suprimento dos dois derivados na Região Nordeste do Brasil destacado pela cor verde.

Produto	GSL	DSL S10	DSL S500
<b>Nível de Serviço</b>	<b>98.4%</b>	<b>98.9%</b>	<b>99.4%</b>

Tabela 6.4 – Nível de serviço prestado pela Petrobras no suprimento de derivados na região por produto – Cenário7. Fonte: autor

Polo	GSL	DSL S10	DSL S500
<b>ML SFConde</b>	100.0%	100.0%	99.8%
<b>ML Maceio</b>	75.2%		90.7%
<b>ML Cabedelo</b>	22.7%		72.9%
<b>ML Ipojuca</b>	100.0%	100.0%	94.3%
<b>ML Fortaleza</b>	98.8%	97.0%	89.3%
<b>ML Guamare</b>	99.3%	56.9%	97.0%
<b>ML Sao Luis</b>	100.0%	100.0%	99.8%

Tabela 6.5 – Nível de serviço prestado pela Petrobras no suprimento de derivados na região por polo e produto – Cenário 7. Fonte: autor

Considerando que os investimentos não serão feitos dentro do período analisado, isto é, nos próximos dois anos, para recuperar o valor gasto no cenário

7 somente com os custos logísticos originados por restrições causadas por terceiros, e que o preço de realização da Petrobras representa 35% e 59% da composição do preço final de gasolina e diesel (PETROBRAS, 2014c), a empresa deveria aumentar o preço dos derivados em todo polos da região Nordeste em 1,4% e 0,8%, respectivamente.

## **6.2**

### **Direcionamento de investimentos de terceiros**

Os cenários analisados acima consideram realização de investimentos por parte das distribuidoras e também pelas autoridades portuárias competentes em todos os polos para ampliação de tancagem e melhorias nos portos públicos, propiciando um calado sem restrições e facilidades portuárias, como por exemplo, aumento do número de píeres e ampliação da capacidade de carga e descarga, que reduzam o custo de sobrestadia nos portos públicos.

Considerando que o capital disponível para investimentos é limitado, é de extrema importância que sejam avaliados os empreendimentos e melhorias que trarão o melhor resultado a cadeia de suprimento. Dentro deste contexto, o modelo desenvolvido poderá ser utilizado para mensurar a redução dos custos considerando as oportunidades de investimento disponíveis, direcionando os investimentos a serem realizados para os projetos de melhor retorno.

#### **6.2.1**

##### **Calado do Porto de Cabedelo-PB**

Nos cenários avaliados anteriormente, há uma indicação para que uma parte expressiva do suprimento de Cabedelo seja feita pelo modal rodoviário, resultando em níveis de serviço mais baixos para este polo. Além de o modal rodoviário ser mais eficiente para pequenas distâncias, o suprimento pelo modal marítimo em Cabedelo é prejudicado pela limitação de calado do porto. Esta limitação faz com que os navios sejam programados para o polo como praça-morta, aumentando a ineficiência da operação e a necessidade por uma maior frequência de navios para suprir o volume previsto.

Em CNT (2011) é identificada a necessidade dragagem no porto de Cabedelo, além da ampliação da área portuária. O trabalho apresentou uma

estimativa de investimento mínimo necessário para a dragagem do porto de R\$ 29 Milhões e de R\$ 24 Milhões para ampliação da área portuária, totalizando um investimento de R\$ 53 Milhões.

O primeiro cenário de alocação eficiente de investimentos analisou o aumento do calado do porto de Cabedelo, possibilitando a programação de navios com carga completa para o atendimento da demanda do polo. Comparado ao cenário real, esta opção representa uma economia de R\$ 980 mil / mês para o período analisado. Considerando uma taxa de desconto de 10% a.a. capitalizada mensalmente e um prazo de 120 meses, o Valor Presente Líquido deste investimento se mostrou positivo quando comparado à economia mensal calculada pelo modelo.

A Figura 6.4 mostra que no cenário de aumento do calado do porto de Cabedelo os custos logísticos no período se comportam de maneira muito parecida com os custos do cenário atual, sendo a redução total do custo de apenas 0,6% para o período.

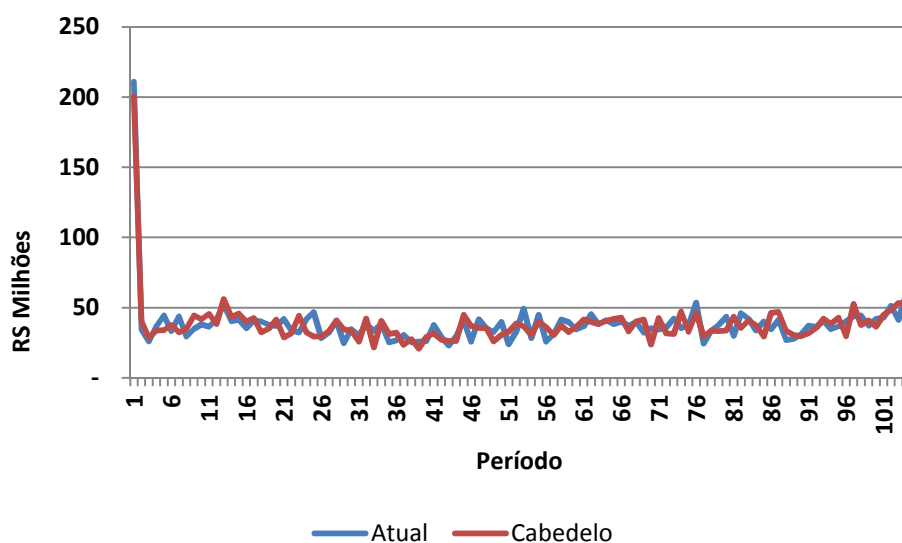


Figura 6.4 – Evolução dos custos logísticos com o suprimento de gasolina e diesel na Região Nordeste com o aumento do calado do porto de Cabedelo. Fonte: autor.

Na Figura 6.5 pode-se observar um aumento em apenas dois tipos de custos logísticos no cenário com o aumento do calado do porto de Cabedelo: estoque (+3,1%) e *backlog* (+1,4%). Os demais custos logísticos apresentaram redução entre -0,2% a -3,0% no novo cenário. O aumento do custo de estoque era



esperado, pois com o calado maior, é possível o transporte de maiores volumes para o polo, podendo reduzir a frequência de navios, porém tendo como consequência o aumento dos estoques no polo.

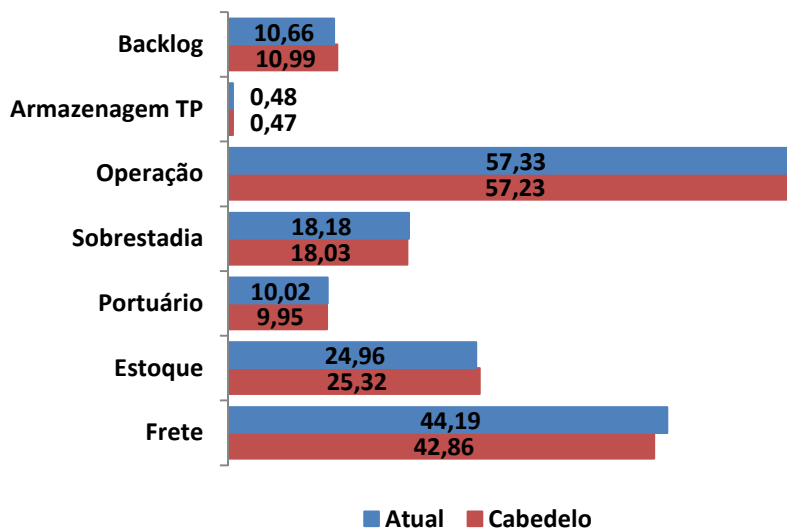


Figura 6.5 – Médias mensais dos custos logísticos com o suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste com o aumento do calado do porto de Cabedelo. Fonte: autor.

Apesar do aumento do custo de *backlog*, não foi observado o aumento no transporte rodoviário de gasolina e diesel para o polo de Cabedelo, após o aumento de calado. A tabela 6.6 apresenta os novos níveis de serviço dos polos após a realização do investimento, destacando os aumentos e reduções nos níveis de serviço prestado pela Petrobras no suprimento dos derivados.

Polo	GSL	DSL S10	DSL S500
ML SFConde	100.0%	98.4%	100.0%
ML Maceio	58.1%		86.9%
ML Cabedelo	23.1%		66.3%
ML Ipojuca	100.0%	99.6%	89.6%
ML Fortaleza	94.7%	94.8%	84.9%
ML Guamare	98.3%	54.4%	97.0%
ML Sao Luis	99.3%	93.3%	100.0%

Tabela 6.6 – Nível de serviço prestado pela Petrobras no suprimento de derivados na região por polo e produto após investimento em Cabedelo. Fonte: autor

Comparando os níveis de serviço antes e depois da realização da obra de aumento do calado e capacidade de Cabedelo, é possível observar que não houve

aumento significativo no nível de serviço prestado pela Petrobras para o atendimento do mercado de gasolina e diesel no polo. Além disso, os níveis de serviço do polo continuam entre os mais baixos. A partir dessa pequena melhora, é possível inferir que mesmo o investimento apresentando viabilidade econômica, não há um aumento expressivo na movimentação no polo com a melhoria da infraestrutura local.

### 6.2.2 Entregas de derivados no Porto de Pecém-CE

Um dos pontos mais críticos da região Nordeste do Brasil é o suprimento de gasolina e diesel do polo de venda de Fortaleza-CE. O Porto de Mucuripe tem uma elevada taxa de ocupação, com o cais comercial e o píer petroleiro sendo compartilhado entre navios de combustíveis, navio de passageiros, de carga de containeres, dentre outros produtos. Para exemplificar, a Tabela 6.7 apresenta os navios que atracaram no porto na primeira quinzena do mês de Setembro de 2014. Esta elevada taxa de ocupação ocasiona um aumento expressivo no custo de sobrestadia dos navios que operam neste porto.

Navio	Tipo Navio	Atracação	Desatracação
HOUYOSHI EXPRESS II	GRANEL LÍQUIDO	1/9/2014	3/9/2014
PACIFIC SCORPIO	GRANEL SÓLIDO	1/9/2014	4/9/2014
LOG-IN JACARANDA	PORTA CONTEINER	2/9/2014	3/9/2014
SÃO LUIZ	GRANEL SÓLIDO	3/9/2014	6/9/2014
STAR EAGLE	GRANEL LÍQUIDO	3/9/2014	6/9/2014
CRUZEIRO DO SUL	MARINHA	4/9/2014	7/9/2014
LOG IN PANTANAL	PORTA CONTEINER	4/9/2014	4/9/2014
MARFRET MARAJÓ	PORTA CONTEINER	4/9/2014	5/9/2014
BBC SCANDINAVIA	CARGA GERAL	5/9/2014	6/9/2014
FU NING WAN	GRANEL LÍQUIDO	5/9/2014	9/9/2014
GRAJAU	GRANEL LÍQUIDO	5/9/2014	7/9/2014
DALEN TIDE	REBOCADOR	6/9/2014	7/9/2014
GREAT ETERNITY	GRANEL SÓLIDO	6/9/2014	9/9/2014
JENNY	GRANEL LÍQUIDO	7/9/2014	9/9/2014
ST THAIS	GRANEL LÍQUIDO	7/9/2014	9/9/2014
ALDEBARAN	PORTA CONTEINER	8/9/2014	9/9/2014
GRAJAU .	GRANEL LÍQUIDO	8/9/2014	9/9/2014
DA PENG WAN	GRANEL LÍQUIDO	9/9/2014	13/09/2014

GURUPA	GRANEL LÍQUIDO	9/9/2014	12/9/2014
DAN SABIA	GRANEL LÍQUIDO	10/9/2014	11/9/2014
VARADA BUZIOS	REBOCADOR	10/9/2014	11/9/2014
HIGH LIGHT	GRANEL LÍQUIDO	11/9/2014	14/09/2014
MARFRET GUYANE	PORTA CONTEINER	11/9/2014	12/9/2014
DALEN TIDE	REBOCADOR	12/9/2014	13/09/2014
GURUPI	GRANEL LÍQUIDO	12/9/2014	18/09/2014
LA CAPRICIEUSE	MARINHA	12/9/2014	15/09/2014
ASSO VENTISETE	REBOCADOR	13/09/2014	13/09/2014
HAFNIA LIBRA	GRANEL LÍQUIDO	14/09/2014	16/09/2014
OCEAN MERCURY	GRANEL SÓLIDO	14/09/2014	19/09/2014
FRISIA WISMAR	PORTA CONTEINER	15/09/2014	16/09/2014
SAN BEATO	GRANEL LÍQUIDO	15/09/2014	18/09/2014

Tabela 6.7 – Navios atracados no Porto de Mucuripe-CE entre 01 a 15/09/2014. Fonte: DOCAS (2014).

Além disso, com o avanço da população na capital do Ceará, as bases de armazenagem das distribuidoras de combustíveis, localizadas junto ao porto, atualmente estão circundadas por áreas residenciais. A Figura 6.6 apresenta a localização das bases de distribuição de derivados localizadas junto ao porto de Mucuripe.



Figura 6.6 – Vista aérea do Porto de Mucuripe e localização dos ativos de distribuição de derivados. Fonte: Google Earth (2014)

Para mitigar os impactos de um possível acidente nesta região, que teria um impacto elevado, pois as bases de distribuição estão localizadas em zona de alta densidade populacional, o governo estadual não vinha autorizando a construção de novos tanques nas bases de distribuição, renovando apenas as licenças daqueles tanques já construídos. Em 19 de Outubro de 2012, foi publicado o Decreto Nº 31.034 que estabelece um prazo para que as distribuidoras de combustíveis instaladas na região transfiram suas atividades para uma nova área próxima ao porto Pecém. As atividades de distribuição e armazenagem em Mucuripe deverão ser suspensas após o dia 31 de Dezembro de 2014.

Apesar do atraso nas obras para instalação das distribuidoras no Complexo Portuário de Pecém, foi realizada uma simulação com a migração das operações de Mucuripe para este porto. Além dos custos de sobrestadia mais baixos se comparados ao porto de Mucuripe, há uma oportunidade para reverter o déficit de tancagem observado atualmente na região, pois no porto atual há limitações legais que impossibilitam o investimento em ampliação de tancagem.

Outro ponto favorável à utilização de Pecém se deve ao fato de ser um porto alfandegado, isto é, a carga pode ser nacionalizada no porto, possibilitando a importação direta. No suprimento atual, são utilizados como portos de entrada de combustíveis na região Norte do Brasil apenas os portos de Itaqui, Suape e Madre de Deus. Um novo porto alfandegado concede ao sistema uma maior flexibilidade para nacionalização das cargas importadas.

Comparando os dois resultados, houve uma redução de 3,9% nos custos logísticos com a substituição das operações de Mucuripe por Pecém. Esta redução corresponde a uma economia de R\$ 6,4 MM / mês para o período analisado. A Figura 6.7 apresenta a evolução dos custos logísticos nos dois cenários. Já a Figura 6.8 mostra que a entrada de Pecém proporciona uma redução de quase todos os tipos de custos logísticos elencados, exceto os custos de estoque.

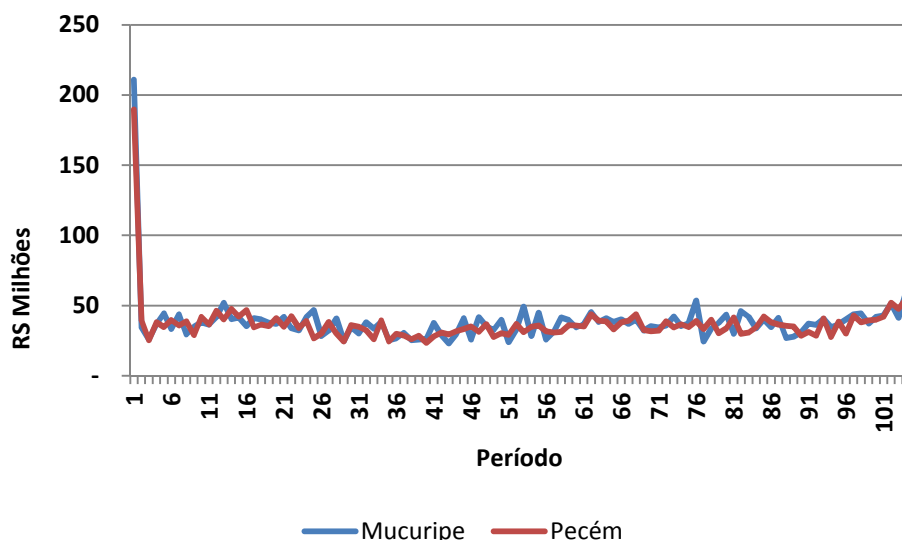


Figura 6.7 – Evolução dos custos logísticos com o suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste com a substituição do porto de Mucuripe pelo porto de Pecém. Fonte: autor.

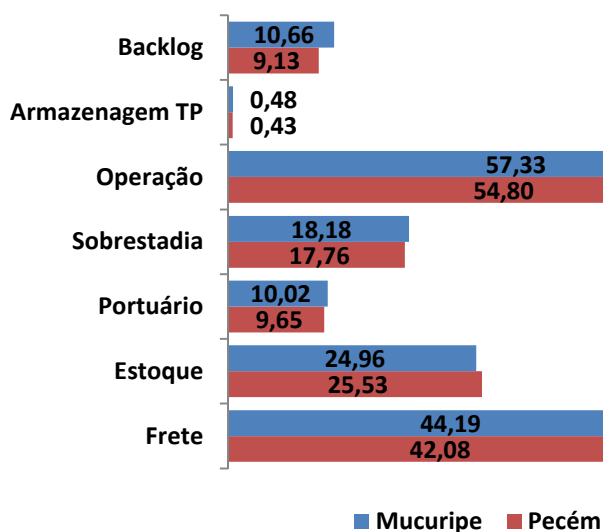


Figura 6.8 – Médias mensais dos custos logísticos com o suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste com a substituição do porto de Mucuripe pelo porto de Pecém. Fonte: autor.

Diante dos resultados apresentados, fica evidente que a substituição das operações em Mucuripe por Pecém é vantajosa para a Petrobras, pois tem seus custos logísticos reduzidos. Para incentivar esta mudança a empresa poderá utilizar como estratégia um aumento do preço dos derivados comercializados atualmente em Mucuripe, com o objetivo de recuperar estes custos incorridos, ou

negociar um diferencial para os derivados a serem entregues em Pecém, através de concessão de descontos no preço.

Considerando que toda a economia dos custos logísticos com a entrada em operação de Pecém fosse repassada ao consumidor final e, considerando também que na composição de preço dos derivados o preço de realização da Petrobras tem uma contribuição de 35% e 59% para gasolina e diesel (PETROBRAS, 2014c), respectivamente, o consumidor seria beneficiado com um desconto de R\$ 0,10 por litro de gasolina e R\$ 0,06 por litro de diesel nos postos atendidos a partir do novo porto.

### 6.3 Nível de Serviço

Outro ponto que deve ser analisado é o nível de serviço prestado pela Petrobras no suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste do Brasil, que é calculado a partir do volume movimentado entre os polos de venda pelo modal rodoviário.

Apesar de estar previsto no contrato de fornecimento e de ter seus custos ressarcidos pela Petrobras, há uma tendência de evitar a movimentação rodoviária entre os polos de venda nesta região. Além das maiores distâncias envolvidas entre os polos, a conservação e a segurança das estradas também dificulta o transporte rodoviário de combustíveis. Algumas bases de distribuição não possuem facilidades para a descarga rodoviária, inviabilizando este tipo de movimentação.

Assim, para simular o impacto do custo com o aumento do nível de serviço, foi criado um novo parâmetro de nível de serviço mínimo (NSM), que pode variar entre 0 e 1. Também foi criada uma nova restrição.

$$NSM \leq 1 - \left( \sum_{i,t} b_{i,j,p,t} / \sum_t D_{l,p,t} \right) \quad l \in l_v, \forall p, t \quad (6.1)$$

A equação 6.1 estabelece que a participação da movimentação rodoviária no suprimento do polo deve ser limitada de forma inversa pelo nível de serviço estabelecido.

A tabela 6.8 apresenta todos os cenários avaliados, com níveis de serviço mínimos exigidos de 50%, 75%, 90%, 95% e 99%.

Cenários	Características
Cenário A	Sem exigência de nível de serviço – Cenário atual
Cenário B	Nível de serviço mínimo de 50%
Cenário C	Nível de serviço mínimo de 75%
Cenário D	Nível de serviço mínimo de 90%
Cenário E	Nível de serviço mínimo de 95%
Cenário F	Nível de serviço mínimo de 99%

Tabela 6.8 – Cenários com diferentes níveis de serviço. Fonte: autor.

Comparando todos os cenários descritos acima, há um aumento gradativo dos custos logísticos do cenário atual até aquele cenário há uma exigência máxima para o transporte rodoviário entre os polos de até 1% do mercado total, isto é, um nível de serviço mínimo exigido por polo de 99%. A Figura 6.9 mostra a evolução da média mensal dos custos logísticos em cada um dos cenários apresentados acima.

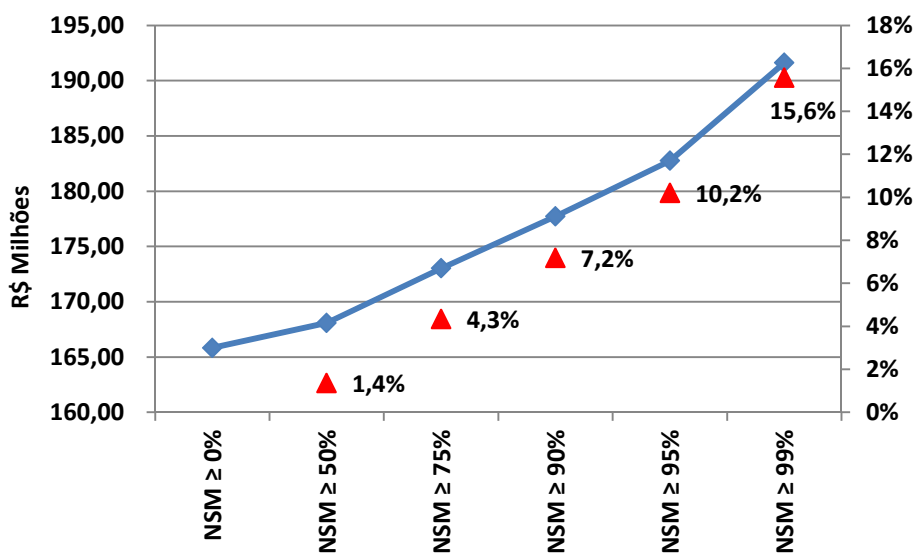


Figura 6.9 – Evolução da média mensal dos custos logísticos nos cenários avaliados. Fonte: autor.

O aumento do nível de serviço prestado pela Petrobras no suprimento da região Nordeste do Brasil eleva substancialmente os custos logísticos. Apesar da redução dos custos com o transporte rodoviário de produto (*backlog*), de estoque e

armazenagem, há um aumento nos demais custos logísticos, sendo o mais expressivo o custo de frete (transporte marítimo), que tem um peso mais elevado na composição do custo logístico total do suprimento. A Figura 6.10 compara os custos logísticos por cada grupo de conta no cenário atual e nos cenários que o nível de serviço mínimo exigido por polo é de 75% e 90%.

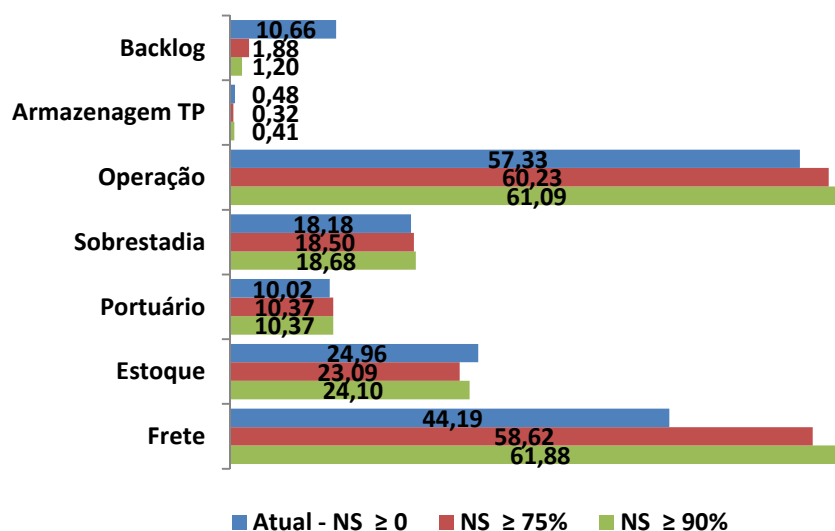


Figura 6.10 – Comparação das médias mensais dos custos logísticos com o suprimento de gasolina e diesel na região Nordeste com a alteração do nível de serviço exigido. Fonte: autor.

Os resultados observados nos cenários comparados confirma a tese de que para manter um nível de serviço sem falhas há um aumento exponencial dos custos logísticos. Por isso, é importante avaliar os custos envolvidos na determinação do nível de serviço exigido.



## 7 Conclusão

O suprimento de derivados no Brasil traz inúmeros desafios para todos os agentes da cadeia. No suprimento de gasolina e diesel nos polos atendidos por cabotagem, estes desafios se multiplicam. As ineficiências observadas, bem como as restrições ocasionadas por ausência ou insuficiência de investimentos em infraestrutura, aumentam consideravelmente os custos logísticos envolvidos no suprimento destes produtos.

A utilização de um modelo de programação matemática para o apoio a tomada de decisão no planejamento tático da cadeia de suprimento é essencial para identificar os custos e oportunidades de melhoria. A identificação das origens dos custos, além de possibilitar a quantificação das contribuições de cada tipo de custo, também possibilita um maior enfoque por parte do agente causador destes custos, com o objetivo de reduzi-los ou até mesmo eliminá-los.

A pesquisa na literatura identificou um grande número de trabalhos dedicados à modelagem da cadeia de suprimento de petróleo, porém foram observados poucos trabalhos com o enfoque no planejamento tático do segmento de *downstream*, principalmente com a movimentação por modal marítimo. Neste contexto, o trabalho propôs uma ferramenta para modelagem do planejamento tático da cadeia de suprimento de gasolina e diesel, incorporando restrições e limitações presentes no contexto dos polos atendidos pelo modal marítimo.

Com o auxílio do modelo, foi possível identificar uma participação expressiva das parcelas referentes ao frete, custos operacionais e tarifas portuárias na composição dos custos logísticos no atual suprimento de gasolina e diesel da região Nordeste do Brasil. Quando foi feita uma análise de sensibilidade, foi possível identificar a contribuição das restrições impostas pelos diversos agentes que participam desta cadeia, com uma redução de até 4,3% nos custos logísticos no cenário que desconsidera as restrições de calado e tancagem dos polos, além de uma redução de 50% dos custos unitários de sobrestadia.

O modelo proposto também se mostrou eficaz para avaliar investimentos na cadeia de suprimento, através de comparação de cenários. Como exemplo, pode ser citada a priorização do investimento para a operação de combustíveis em um novo porto no estado do Ceará, além de não serem recomendadas obras para ampliação do calado do porto de Cabedelo.

Os resultados apresentados mostraram uma ineficiência no suprimento dos polos de Cabedelo e Maceió pelo modal marítimo, priorizando em muitos períodos o suprimento dos polos pelo modal rodoviário a partir de outros polos próximos. Esta indicação deve ser avaliada com maior detalhamento, sendo possível inclusive a transformação destes polos em bases de distribuição secundárias, isto é, supridas por outras bases de distribuição.

Vale ressaltar que esta ferramenta tem grande importância dentro do atual contexto da Petrobras, que não faz o repasse direto das flutuações nas cotações de gasolina e diesel no mercado internacional e que, para a melhoria dos resultados no curto prazo, necessita de uma redução em seus custos operacionais.

## **7.1 Trabalhos futuros**

O modelo proposto se mostrou eficiente para avaliação do suprimento da região Nordeste do Brasil. O mapeamento das características região Norte, que também é atendida majoritariamente por cabotagem, pode ser integrado ao modelo, ampliando as avaliações do modelo.

A integração do trabalho ao atual modelo de planejamento utilizado pela Petrobras deverá resultar numa melhoria dos resultados operacionais da empresa, pois a incorporação das restrições e de outras características dos polos atendidos por cabotagem proporcionará indicações de movimentações para estes polos mais eficientes.

Outra frente a ser avaliada é considerar as incertezas presentes no suprimento dos derivados de petróleo, que passam desde a confiabilidade e disponibilidade das unidades de produção, até a disponibilidade de píer para atracação dos navios de derivados claros. Todas as incertezas deverão ser mapeadas e deverá ser incorporada ao modelo uma análise estocástica.

Os investimentos disponíveis para a região, que já foram mapeados (CNT, 2011), podem ser incorporados ao modelo, passando a ser feito um planejamento estratégico do suprimento da região, após a avaliação dos impactos da entrada de cada um destes investimentos e do capital disponível por todos os agentes, identificando os investimentos que deverão ser priorizados.

Outra linha de pesquisa é mapear os múltiplos agentes que estão inseridos na cadeia de suprimentos analisadas para propor um modelo que otimizasse toda cadeia, pois o trabalho foi feito considerando apenas a ótica da Petrobras e por isso tem como objetivo reduzir os custos da empresa. Porém, otimizar cada parte da cadeia de suprimentos separadamente não representa o ótimo para todo o sistema.

A obrigatoriedade de retornar os estoques ao patamar inicial, que foi incluída no modelo via restrição, mostrou que os estoques inicial e final estão distantes do patamar de estoque observado ao longo do período intermediário do modelo, levando a conclusão de que o nível de estoque atual não está otimizado. O modelo analisado pode ser adaptado para avaliação de uma política de estoques de derivados para a Petrobras.

## 8

### Referências Bibliográficas

AGRA, A., CHRISTIANSEN, M., DELGADO, A., **Mixed Integer Formulation for a Short Sea Fuel Oil Distribution Problem**. Transportation Science, 2013, Vol. 47, No. 1, pp 108-124.

AL-KHAYYAL, F., HWANG, S.J., **Inventory constrained maritime routing and scheduling for multi-commodity liquid bulk, Part I: Applications and model**. European Journal of Operational Research, 2007, 176, 106-130.

ANDERSSON, H., CHRISTIANSEN, M., FAGERHOLT, K., **The Maritime Pickup and Delivery Problem with Time Windows and Split Loads**. INFOR, 2011, Vol. 49, No. 2, pp 79-91.

ANDRADE, L.F.C., **Análise de investimentos na cadeia de suprimentos downstream da indústria petrolífera: proposta de um modelo de programação linear inteira mista**. (M.Sc.). Dissertação – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio. 2012.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2014**, Julho 2014a. Disponível em <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em Junho de 2014.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Dados Estatísticos Mensais**, Maio 2014b. Disponível em <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em Junho de 2014.

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Tarifas Autoridades Portuárias**, 2014 Disponível em <<http://www.antaq.gov.br>>. Acesso em Agosto de 2014.

BISSCHOP, J., **AIMMS Optimization Modeling**. Paragon Decision Technology, 2013.

CARVALHO, L.B., **Estudo de localização de fábricas misturadoras de adubo na região Centro-Oeste brasileira utilizando um modelo de programação linear**. 2009. Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 2009.

CAMPOS, G.C., YOSHIZAKI, H.T.Y, BELFIORE, P.P. **Algoritmos genéticos e computação paralela para problemas de roteirização de veículos com janelas de tempo e entregas fracionadas.** 2006. Gest. Prod., vol.13, n.2, pp. 271-281.

CHRISTIANSEN, M., **Decomposition of a Combined Inventory and Time Constrained Ship Routing Problem.** Transportation Science, 1999, 33(1), 3-16.

CHRISTIANSEN, M., FAGERHOLT, K., RONEN, D., **Ship Routing and Scheduling: Status and Perspectives.** Transportation Science, 2004, 38(1), 1-18.

CNT – Confederação Nacional de Transporte – **Plano CNT de Transporte e Logística.** 2011, 370 p.

DOCAS – Autoridade Portuária do Ceará. **Informações operacionais.** Julho 2014. Disponível em <<http://www.docasceara.com.br>>. Acesso em Junho de 2014

FERRIO, J., WASSICK, J., **Chemical supply chain network optimization.** Computers & Chemical Engineering, 2008, 32, 2481-2504.

FNQ – Fundação Nacional da Qualidade (2012) - **Resumo da Prática: Planejamento do Abastecimento – PLANAB.** Disponível em <<http://www.canal.fnq.org.br>>. Acesso em Maio de 2014.

GOOGLE EARTH. Disponível em <<http://www.google.com/earth>>. Acesso em Agosto de 2014.

GOETSCHALCKX, M., **Supply chain engineering.** International series in operations research & management science, Vol. 161, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas, **Indicadores.** 2014. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> . Acesso em Agosto de 2014.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Infraestrutura econômica no Brasil: diagnósticos e perspectivas para 2005.** Vol.01, 2010.

JOLY, M., PINTO, J.M., **Mixed-Integer programming techniques for the scheduling of fuel oil and asphalt production.** Trans IChemE, 2003, Vol. 81, Part A.

LAMBERT, D.M., COOPER, M.C., **Issues in Supply Chain Management.** Industrial Marketing Management 29, 2000, 65-83.

LEÃO, R.R.C.C., HAMACHER, S., OLIVEIRA, F., **Optimization of biodiesel supply chains based on small farmers: A case study in Brazil.** Bioresource Technology, 2011, 102, 8958–8963.

LEIRAS, A., RIBAS, G., HAMACHER, S., **Tactical and Operational Planning of Multirefinery Networks under Uncertainty: An Iterative Integration Approach.** Industrial & Engineering Chemical Research, 2013, 52, 8507-8517.

MARAVELIAS, C.T.,SUNG, C., **Integration of production planning and scheduling: Overview, challenges and opportunities.** Computers and Chemical Engineering 33, (2009), 1919-1930.

OLIVEIRA. F., HAMACHER, S., **Optimization of the Petroleum Product Supply Chain under Uncertainty: A CaUGGse Study in Northern Brazil.** Industrial & Engineering Chemistry Research, 2012, 51, 4279-4287.

PETROBRAS – **Plano Estratégico Petrobras 2030**, Março 2014a, Disponível em <<http://www.petrobras.com.br>>. Acesso em Junho de 2014.

PETROBRAS – **Plano de Negócios e Gestão 2014-2018.**, Março 2014b, Disponível em <<http://www.petrobras.com.br>>. Acesso em Junho de 2014.

PETROBRAS – **Composição de Preços ao Consumidor**, Setembro 2014c, Disponível em <<http://www.petrobras.com.br>>. Acesso em Setembro de 2014.

RIBAS, G.P., HAMACHER, S., STREET, A., **Optimization under uncertainr of the integrated oil supply chain using stochastic and robst programming.** International Transactions in Operational Research, 2010, 17, 777-796

ROCHA, R.,GROSSMANN, I.E., ARAGÃO, M.V.S.P., **Petroleum allocation at PETROBRAS: Mathematical model and solution algorithm.** Computers & Chemical Engineering, 2009, No. 33, 2123-2133.

RODRIGUES, D.M., SELBITTO, M.A., **Práticas logísticas colaborativas: o caso de uma cadeia de suprimento da indústria automobilística.** Revista de Administração – RAUSP, 2008, vol. 43, No.1, pp 97-111.

SEAR, T.N., **Logistics Planning in the Downstream Oil Industry.** J.Opl Res. Soc., 1993, Vol. 44, No.1, pp 9-17.

SINDICOM – **Combustíveis**, Maio de 2014. Disponível em <<http://www.sindicom.com.br>>. Acesso em Junho de 2014.

TRANSPETRO. **Tabela de tarifas de movimentação de Petróleo e Derivados em Terminais Aquaviários.** Abril de 2014. Disponível em <<http://www.transpetro.com.br>>. Acesso em Agosto de 2014.

VERDERAME, P.M., ELIA, J.A., LI, J., FLOUDAS, C.A., **Planning and Scheduling under Uncertainty: a review across multiple sectors.** Ind. Eng. Chem. Res., 2010, 49 (9), pp 3993-4017.

WERNECK, M., RODRIGUES, C., **Transporte de combustíveis no Brasil: Investimentos para o abastecimento até 2020.** ILOS – Artigos, 2013.