



Diego Agra Mendes

**Análise empírica e proposta de novo modelo de
planejamento logístico do transporte marítimo de cargas
para os campos da Bacia de Santos da Petrobras**

Dissertação de Mestrado (Opção Profissional)

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

Orientador: Prof. Fernando Luiz Cyrino Oliveira

Rio de Janeiro
Abril de 2018

Diego Agra Mendes

**Análise empírica e proposta de novo modelo de
planejamento logístico do transporte marítimo de cargas
para os campos da Bacia de Santos da Petrobras**

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

Prof. Fernando Luiz Cyrino Oliveira

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Antônio Márcio T. Thomé

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 19 de Abril de 2018

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

Diego Agra Mendes

Graduou-se em Engenharia Naval e Oceânica na USP (Universidade de São Paulo) em 2010. Trabalha na Petrobras desde 2011 na área de Serviço de Logística de E&P. Suas principais experiências estão relacionadas ao setor de Óleo & Gás nas atividades de transporte marítimo, otimização de processos, novos projetos, operações integradas, dimensionamento e alocação de frota marítima e logística *offshore*.

Ficha Catalográfica

Mendes, Diego Agra

Análise empírica e proposta de novo modelo de planejamento logístico do transporte marítimo de cargas para os campos da Bacia de Santos da Petrobras / Diego Agra Mendes; orientador: Fernando Luiz Cyrino Oliveira. – 2018.

95 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

Inclui bibliografia

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Logística de apoio *offshore*. 3. Dimensionamento. 4. Logística de E&P. 5. *Platform Supply Vessels*. I. Cyrino, Fernando. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Agradecimentos

Para os meus pais.

Para a Petrobras, por todo o auxílio para elaborar o trabalho.

Para todos os meus colegas de trabalho no Rio de Janeiro e em Aracaju, que me ensinaram muito sobre logística offshore, especialmente aos meus chefes (em ordem alfabética) Daniel Gago, Eduardo Sampaio, Fernando Vidal, Flávio Bretanha e Miguel José Reis Lopes por terem me dado tempo e apoio para elaboração.

Um agradecimento especial aos meus colegas Ricardo Penna, pelo apoio durante a elaboração do trabalho, e Bernardo Tabet, por todo o auxílio na construção e validação dos modelos.

Para o meu orientador, por toda a paciência e dicas.

Resumo

Mendes, Diego Agra; Cyrino Oliveira, Fernando Luiz. **Análise empírica e proposta de novo modelo de planejamento logístico do transporte marítimo de cargas para os campos da Bacia de Santos da Petrobras.** Rio de Janeiro, 2018. 95p. Dissertação de Mestrado (Opção profissional) - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As operações de E&P na Bacia de Santos sempre ficaram em segundo plano quando comparadas com a Bacia de Campos, berço das gigantescas descobertas petrolíferas dos últimos 40 anos. Porém, com a descoberta do pré-sal, mais presente na Bacia de Santos, essa hegemonia da Bacia de Campos está aos poucos diminuindo, tendo a produção do pré-sal ultrapassado pela primeira vez a do pós-sal em junho de 2017. Com isso, torna-se imprescindível o aprimoramento da operação para atender a essa nova demanda. Junto com essa nova descoberta, a grave crise que a indústria do petróleo tem vivido desde 2014 com a alta queda no preço do barril, mais intensificada ainda no Brasil devido ao aumento do dólar, trouxe um novo foco para a diminuição do custo de extração, incluindo aí a diminuição de custos logísticos. Na Petrobras, a grande parte da produção de petróleo vem de água profundas e as unidades marítimas necessitam de suprimentos em volume considerável e tempo hábil para realizar suas operações. O elo final da cadeia logística para atendimento às unidades marítimas são as embarcações e elas representam cerca de 70% dos custos logísticos. Nesse estudo, as diferentes metodologias de atendimento marítimo para transporte de cargas utilizadas nos últimos anos, tanto na Bacia de Campos quanto na de Santos, foram analisadas empiricamente e foram encontrados alguns pontos passíveis de melhoria. Uma possibilidade de redução de frota foi identificada e uma metodologia para realizar essa redução foi proposta. A metodologia se baseia em uma nova forma de formação de *clusters*, reduzindo o tempo total de navegação das embarcações, e um novo ordenamento portuário, de tal forma que uma mesma embarcação possa realizar mais serviços durante a semana, gerando assim menor necessidade de frota. A nova metodologia completa foi implantada em janeiro de 2018, gerando inicialmente uma diminuição de 20% da frota de transporte de carga na Bacia de Santos.

Palavras-chave

Logística *offshore*; Dimensionamento; Logística de E&P; *Platform Supply Vessels*.

Abstract

Mendes, Diego Agra; Cyrino Oliveira, Fernando Luiz. **An empirical analysis and proposal of a new model of logistic planning for cargo shipping to Petrobras fields in Santos Basin.** Rio de Janeiro, 2018. 95p. Dissertação de Mestrado (Professional Option) - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

E&P operations in the Santos Basin have always been left in second plan when compared to the Campos Basin, the cradle of the gigantic oil discoveries of the last 40 years. However, with the discovery of the pre-salt, more present in the Santos Basin, this hegemony of the Campos Basin is gradually diminishing, with the production of the pre-salt having surpassed for the first time the one of the post-salt in June of 2017. With this, it is essential to improve the operation to meet this new demand. Along with this new discovery, the severe crisis that the oil industry has experienced since 2014 with the sharp fall in the price of the barrel, more intensified in Brazil due to the increase of the dollar, brought a new focus in reducing the cost of extraction, including the reduction of logistics costs. At Petrobras, most of the oil production comes from deep water and the maritime units need supplies in considerable volume and on time to carry out their operations. The final link of the logistics chain to serve this maritime units are vessels and they represent about 70% of logistics costs. In this study, the different maritime service policies for deck cargo transport used in recent years, both in the Campos Basin and Santos Basin, were analyzed empirically and some improvement points were found. The feasibility of reducing the fleet was identified and a methodology to accomplish this reduction was proposed. The methodology is based on a new form of clusters formation, reducing the total vessels navigation time, and a new berth scheduling, in such a way that the same vessel can perform more services during the week, thus generating less need of fleet. The complete new methodology was implemented in January 2018, initially generating a 20% decrease in the cargo transport fleet in the Santos Basin.

Keywords

Offshore logistics system; Sizing; E&P logistics; Platform Supply Vessels.

Sumário

1 Introdução	14
1.1. Motivação	16
1.2. Objetivo do trabalho	19
1.3. Estrutura da dissertação	19
2 Metodologia	20
3 Revisão Bibliográfica	22
4 Cadeia logística <i>offshore</i> de transporte de cargas	35
4.1. Estrutura da cadeia logística <i>offshore</i> de cargas	35
4.1.1. Clientes	36
4.1.2. Cargas	42
4.1.3. Etapas logísticas	43
4.1.4. Transporte marítimo	46
5 Análise empírica	51
5.1. Histórico de modelos de atendimento nas Bacias de Campos e Espírito Santo	51
5.2. O modelo de atendimento da Bacia de Santos	54
5.3. Comparação entre modelos	58
5.4. Ordenamento portuário do Porto do Rio de Janeiro	64
6 Proposta de modelo de planejamento tático para a logístico da Bacia de Santos	70
6.1. Introdução ao modelo	71
6.2. Clusterização utilizando o método de algoritmo genético	72
6.2.1. Representação dos cromossomos	73
6.2.2. Função de avaliação do problema	74
6.2.3. Geração da população inicial	74
6.2.4. Definição dos operadores de crossover e mutação	75
6.2.5. Formulação	77
6.2.6. Dados de saída	80
6.2.7. Resultados	81
6.3. Ordenamento portuário	82

6.3.1. Formulação matemática	83
6.3.2. Saída do modelo	85
6.3.3. Resultados	86
6.4. Aplicação	89
7 Conclusão	90
8 Referências bibliográficas	91

Lista de figuras

Figura 1. Logística de Apoio Marítimo.	15
Figura 2. Cotação do Brent entre janeiro de 2014 e janeiro de 2017.	17
Figura 3. Cotação do Real entre janeiro de 2014 e janeiro de 2017.	18
Figura 4. Classificação das principais referências bibliográficas.	22
Figura 5 - Cadeia do Petróleo.	36
Figura 6 – Diferentes tipos de unidades marítimas.	37
Figura 7 - Navio-sonda NS-24 operando na Bacia de Campos.	38
Figura 8 - FPSO Cidade de Paraty operando no campo de Lula, nordeste da Bacia de Santos.	40
Figura 9 - UMS Carapebus.	41
Figura 10 - PLSV Sapura Diamante	42
Figura 11 – Portos de operação	44
Figura 12 – Fluxo de carga e informações.	45
Figura 13 – <i>Platform Supply Vessel</i> (PSV).	47
Figura 14 – <i>Line Handling</i> (LH).	47
Figura 15 – Proporção dos tipos de embarcações da Petrobras.	48
Figura 16 – Proporção em valor dos tipos de embarcações da Petrobras.	48
Figura 17. Divisão em valor das embarcações para cada serviço	50
Figura 18. Cronologia dos modelos de atendimento na BC e BES	54
Figura 19. Área de atendimento da Bacia de Santos.	55
Figura 20. Exemplo de ordenamento portuário.	64
Figura 21. Ordenamento portuário do Porto do Rio de Janeiro em julho de 2017.	66
Figura 22. Frota máxima necessária para realização das viagens.	68
Figura 23. Frota disponível no fundeio durante a semana.	68
Figura 24. Histograma de quantidade de embarcações no fundeio durante a semana.	69
Figura 25. Cromossomos de Rota e Porto.	73
Figura 26. Funcionamento do <i>crossover</i> do cromossomo Porto.	75

Figura 27. Funcionamento do <i>crossover</i> do cromossomo Rota.	76
Figura 28. Passo a passo para a clusterização.	78
Figura 29. Clusterização com $m=100$ e $n=10.000$	81
Figura 30. Clusterização com $m=50$ e $n=20.000$	81
Figura 31. Clusterização com $m=50$ e $n=30.000$	82
Figura 32. Ordenamento Portuário com folga zero	87
Figura 33. Ordenamento Portuário com folga de 12 horas	88

Lista de tabelas

Tabela 1. Reservas comprovadas de petróleo em 2016.	14
Tabela 2. Exemplo de um roteiro com revisitas na Bacia de Santos.	57
Tabela 3. Exemplo de um roteiro com embarcações de diferentes <i>clusters</i> na Bacia de Santos.	58
Tabela 4. Comparação entre modelos de planejamento logístico.	60
Tabela 5. Tempos de ciclo limite dos <i>clusters</i> .	67
Tabela 6. Comparação de resultados da clusterização	82
Tabela 7. Resultados do modelo de ordenamento portuário	88
Tabela 8. Parâmetro após a aplicação do novo modelo.	89

Lista de Abreviaturas

BC	Bacia de Campos
BES	Bacia do Espírito Santo
BS	Bacia de Santos
CX	<i>Cycle Crossover</i>
E&P	Exploração e Produção
FPSO	<i>Floating Production Storage and Offloading</i>
LH	<i>Line Handling</i>
MCJF	Modelo de <i>Clusters</i> com Janelas Fixas
MEDC	Modelo de Embarcações Dedicadas por <i>Cluster</i>
MEMP	Modelo de Entrega Multipropósito
MMC	Método de Monte Carlo
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PLSV	<i>Pipe Laying Supply Vessel</i>
PSV	<i>Platform Supply Vessel</i>
TLWP	<i>Tension Leg Wellhead Platform</i>
UEP	Unidade Estacionária de Produção
UM	Unidade Marítima
UMS	Unidade de Manutenção e Segurança
UT	<i>Utility</i>

1

Introdução

A indústria *offshore* mundial teve seu nascimento datado entre os anos 1930 e 1950 na Venezuela e Golfo do México, respectivamente. A partir de então, a exploração começou a se expandir para o Mar do Norte e formou o primeiro *pool* de empresas nesta segmentação, entre elas a Shell, Exxon, Texaco e AGIP (Furtado, 1998). No Brasil, já no final de 1950, devido às análises geográficas, havia o conhecimento de que o país possuía reservas de petróleo em profundidade marítima, ainda sem uma definição precisa dos locais. A confirmação ocorreu pela descoberta do primeiro poço *offshore* em 1968, no Campo de Guaricema (SE), e a primeira perfuração, também em 1968, na Bacia de Campos, no campo de Garoupa (RJ). O ano seguinte, também foi marcado por mais descobertas, como o Campo de São Mateus (ES) e, posteriormente, o campo de Ubarana (ES), ambos na bacia Potiguar. A partir destas primeiras descobertas, deu-se início uma série de outras (Neto e Costa, 2007). Porém, a mais importante delas ocorreu em 2006, com a descoberta de petróleo na camada pré-sal, que colocou o Brasil entre os países com maiores reservas de petróleo no mundo, como mostra a Tabela 1:

Tabela 1. Reservas comprovadas de petróleo em 2016.

Posição	País	Reservas em 2016 (milhões de barris)
1º	Venezuela	302.250
2º	Arábia Saudita	266.208
3º	Irã	157.200
4º	Iraque	148.766
5º	Kuwait	101.500
6º	Emirados Árabes Unidos	97.800
7º	Rússia	80.000
8º	Líbia	48.363
9º	Nigéria	37.453
10º	Estados Unidos	32.318
11º	Cazaquistão	30.000
12º	China	25.620
13º	Qatar	25.244
14º	Brasil	12.910

Fonte: OPEP, 2017.

Em junho de 2017, pela primeira vez a produção do pré-sal brasileiro passou a produção do pós-sal, apenas 9 anos após a primeira produção, demonstrando a importância dela para o país. Como o petróleo do pré-sal depende de um alto investimento para ser retirado, os custos envolvendo toda a extração do petróleo ganharam maior importância. Porém, até 2014 o valor do barril de petróleo era muito alto, viabilizando o pré-sal, mesmo este sendo mais caro. Além disso, o Brasil vivia uma época de avanços na economia, o que aumentava os investimentos e a confiança no país. A partir de 2014 todo esse cenário mudou devido a uma grave crise no setor, levando a uma necessidade de redução de custos. E isso envolve também a cadeia logística offshore, a qual corresponde a um dos diversos custos para extração de petróleo.

As operações *offshore* de Exploração e Produção (E&P) são apoiadas por um sistema logístico e de serviços, chamados de apoio marítimo. O sistema é composto por portos, aeroportos e armazéns, utilizando diversas embarcações especializadas, helicópteros e outros equipamentos (Leite, 2012). De um modo geral, os helicópteros transportam pessoas enquanto que as embarcações transportam as cargas necessárias para o dia a dia das unidades marítimas (UM). Na Figura 1 podemos ver um desenho esquemático de como funciona a logística de apoio marítimo.

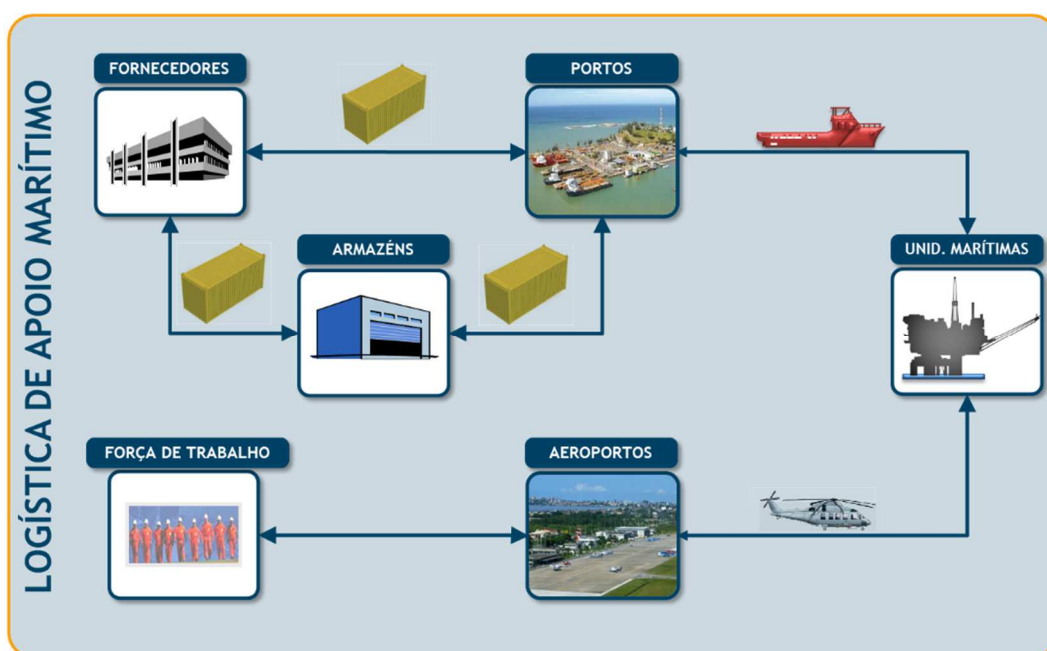


Figura 1. Logística de Apoio Marítimo.

Fonte: Petrobras, 2017.

O apoio marítimo suporta as operações *offshore* por grande parte da costa brasileira, porém a maior concentração se dá na Bacia de Santos (BS), Bacia do Espírito Santo (BES) e, principalmente, na Bacia de Campos (BC), devido ao grande número de unidades e devido à quantidade de produção. Somadas, essas bacias representam 94% da produção de petróleo e 69% da produção de gás natural.

O planejamento da logística de apoio marítimo é dividida em 3 níveis, conforme descrito por Ballou (2006), diferenciando-se entre si principalmente pelo horizonte temporal:

- Planejamento estratégico: planejamento de longo prazo, com horizonte temporal de mais de um ano;
- Planejamento tático: planejamento de médio prazo, com horizonte temporal de menos de um ano;
- Planejamento operacional: planejamento de curto prazo, com horizonte temporal de horas ou dias.

O presente estudo apresentará um novo modelo de planejamento tático da programação de entrega de cargas da parte marítima da logística *offshore*, daqui em diante denominado de transporte marítimo, da Petrobras para esses campos. Esse modelo foi desenvolvido dentro da empresa com a participação do autor na elaboração. O estudo será focado no transporte de carga geral (cargas de convés) e água. Para chegar no novo modelo, foram levantados dados, sendo estes analisados de forma empírica, identificando pontos de melhoria. Uma metodologia de planejamento tático para as operações de carga geral e água foi proposta e as melhorias advindas dessa metodologia, principalmente relacionadas à redução de custo, foram mostradas.

1.1. Motivação

A grave crise iniciada no setor de óleo e gás a partir de 2014 pode ser representada pela queda do valor do barril de petróleo. Como pode ser visto na Figura 2, entre julho de 2014 e janeiro de 2016 o preço do *brent* desvalorizou cerca de 76%, saindo de um patamar de US\$ 115 para cerca de US\$ 28 o barril. Após essa queda abrupta, o valor do barril passou a oscilar entre US\$ 40 e US\$ 60. Essa

crise foi oriunda de um excesso de oferta do produto, causada pelo aumento da produção dos países da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) e pelo advento da produção de óleo através do xisto nos EUA e Canadá.

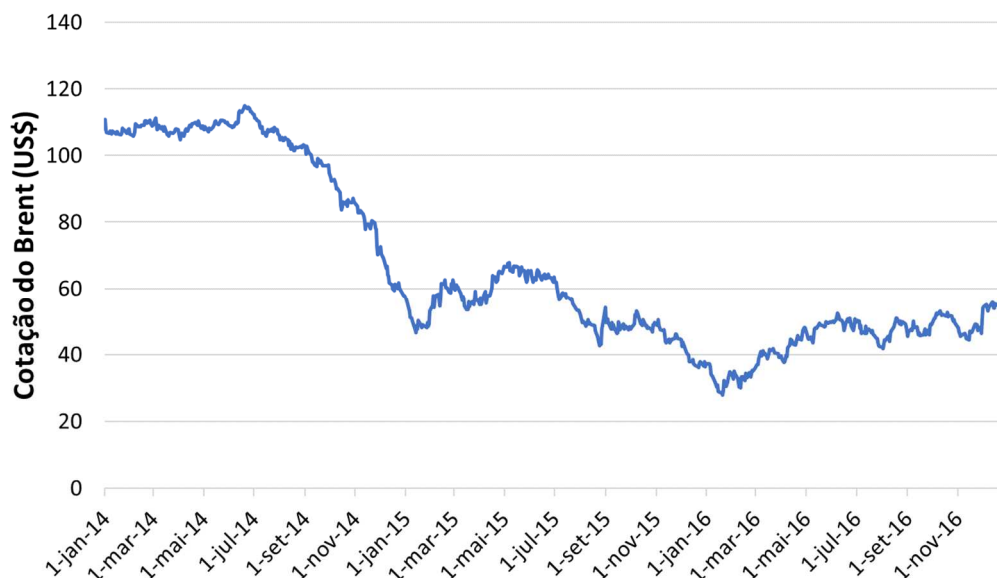


Figura 2. Cotação do Brent entre janeiro de 2014 e janeiro de 2017.

Fonte: www.investing.com

Também em 2014, iniciou-se uma grave crise no Brasil, levando a uma grande desvalorização do Real em relação ao Dólar. Como pode ser visto na Figura 3, entre maio de 2014 e setembro de 2015 ocorreu uma valorização do Dólar de cerca de 91%, saindo de um patamar de US\$ 2,20 para US\$ 4,20. Após essa subida abrupta, o valor do dólar passou a oscilar entre US\$ 3,00 e US\$ 3,50. Essa crise afastou investidores do país, agravando a crise já enfrentada pela área de óleo e gás.



Figura 3. Cotação do Real entre janeiro de 2014 e janeiro de 2017.

Fonte: www.investing.com

Nesse cenário, a logística *offshore*, que representa um dos diversos custos para a retirada do óleo, tornou-se um dos focos na busca de redução de custos.

Dentro da logística *offshore* para entrega de cargas, as embarcações representam cerca de 70 a 80% dos custos logísticos, ou seja, o grande foco na diminuição dos custos logísticos foi dado para a diminuição da frota marítima.

Essa necessidade de otimização da frota logística, somada à diminuição do número de unidades marítimas operando no Brasil, forçou a empresa a reduzir drasticamente sua frota, sem o adequado estudo para isso. Com isso, alguns problemas internos, que antes não eram evidenciados devido à abundância de recursos disponíveis, começaram a aparecer. Abaixo estão listados alguns dos principais problemas identificados pelo o autor do trabalho:

- Falta de planejamento (estratégico, tático e operacional) adequado;
- Especificação inadequada das embarcações;
- Período e tipos de contratos;
- Segregação de frota por tipo de serviço;
- Planejamento incorreto da demanda de unidades marítimas;
- Distribuição de custos para as unidades marítimas.

O presente trabalho focará no planejamento tático da frota, porém os outros assuntos também serão tratados, mesmo que de maneira superficial.

1.2. Objetivo do trabalho

O objetivo geral desse trabalho é descrever a nova metodologia de planejamento tático de frota para as operações de carga geral e água na logística *offshore* da Bacia de Santos da empresa, utilizada desde o início de 2018, a qual teve como saída um novo modelo de dimensionamento de frota que possibilitou uma grande redução de custos logísticos, mantendo o nível de serviço.

Os objetivos específicos são:

- Analisar empiricamente o transporte de carga geral e água nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo, mostrando a evolução da logística desde 2012;
- Propor uma nova metodologia de planejamento, operação e dimensionamento;
- Analisar a aplicação da metodologia na Bacia de Santos em 2018;
- Aumentar o conhecimento na área de logística offshore.

1.3. Estrutura da dissertação

Para atender ao objetivo, a dissertação foi estruturada em sete capítulos sendo este primeiro introdutório. No segundo capítulo será mostrada a metodologia de trabalho utilizada na dissertação. No terceiro será realizada a revisão bibliográfica sobre o conceito de logística de E&P e heurísticas. No terceiro capítulo será mostrada como funciona a logística da Petrobras. No quarto capítulo será realizada uma análise empírica dos modelos de planejamento da empresa desde 2012, na Bacia de Campos, Espírito Santo e Santos. O capítulo será finalizado com uma análise do ordenamento portuário no Porto do Rio de Janeiro. A proposta de um modelo de planejamento, diminuindo a quantidade de embarcações, é apresentada no quinto capítulo em conjunto com os resultados da aplicação dessa metodologia no início de 2018. As conclusões e sugestões de trabalhos futuros são apresentados no sexto capítulo.

2 Metodologia

Para alcançar o objetivo geral descrito no capítulo anterior, serão mostradas desde as análises anteriores que levaram eventualmente à elaboração do modelo, até resultados do modelo implantado.

Primeiramente será mostrada no terceiro capítulo uma revisão bibliográfica do conceito de logística de E&P, considerando os principais trabalhos da área tanto no Brasil como no exterior. Os principais estudos encontrados foram sobre política de atendimento às UM, dimensionamento de frota, roteamento, número de viagens ideal e contratação de embarcações. Após a revisão, será apresentada no quarto capítulo uma breve descrição da logística *offshore* da Petrobras. Serão mostrados os clientes atendidos pela logística, o funcionamento da cadeia logística, os tipos de carga entregues, e os diferentes tipos de serviço oferecidos.

No quinto capítulo, será mostrada uma análise empírica elaborada pelo autor relacionando alguns parâmetros de atendimento da logística das três Bacias (BC, BES e BS). Para identificar alguns aspectos que poderiam ser melhorados, uma grande quantidade de dados foi coletada para comparar os diferentes tipos de modelo de planejamento e operação que a empresa teve desde 2012. Esses dados serão comparados a partir de alguns dos parâmetros indicados no estudo de Leite (2012). Os parâmetros escolhidos foram:

- Tempo de ciclo;
- Número de UM visitadas por viagem
- Número total de visitas por viagem
- Viagens por semana para cada UM
- Produtividade das embarcações

Esses parâmetros foram escolhidos por serem até hoje utilizados dentro da empresa como referência para avaliação de modelos de atendimento. Além desses parâmetros, foi incluído mais um pelo autor: tempo aguardando UM por viagem. Esse é o tempo que as embarcações da logística aguardam ao lado da UM (geralmente por má organização da própria UM) para iniciar a operação.

Até pouco tempo atrás esse não era um valor muito acompanhando, mas tornou-se um dos principais parâmetros para as unidades que necessitam diminuição de custo, pois essa é uma ação realizada diretamente pela unidade e que culmina em menor utilização de frota logística.

Após essa análise, ainda no quinto capítulo, será realizada uma análise da saída das embarcações do Porto do Rio de Janeiro e como a falta de organização dessas saídas implicava em um aumento de frota.

A partir do que foi coletado da literatura acadêmica e da análise empírica, será mostrado no sexto capítulo o modelo de planejamento tático desenvolvido dentro da empresa que contempla uma nova forma de construção dos *clusters* e um novo ordenamento portuário.

Para o novo modelo de formação de *clusters*, ou clusterização, são apresentados os dados necessários a serem levantados e, posteriormente é mostrado o passo a passo do modelo. Utilizando inicialmente o modelo de Clarke e Wright (Clarke e Wright, 1963) para gerar uma solução inicial e, posteriormente, aplicando a técnica de solução por algoritmos genéticos (Goldberg, 1989), os indivíduos das sucessivas gerações sofrem ação de operações genéticas tais como mutação e recombinação gerando sempre indivíduos iguais ou “mais adaptados” que os pais. Uma diferença dos modelos usuais para o modelo mostrado nesse trabalho, é o fato de existirem dois cromossomos independentes, porém que atuam de forma conjunta para a solução do problema. Esses cromossomos serão detalhados no subcapítulo 6.2. Como saída do modelo temos os novos clusters e seus tempos de ciclo, os quais são utilizados para o novo ordenamento portuário.

O novo ordenamento portuário se baseia na análise empírica da operação do Porto do Rio de Janeiro, mostrada no subcapítulo 5.4, e, utilizando programação linear binária, organiza as saídas das embarcações do porto de forma a otimizar a quantidade de embarcações utilizadas.

Após apresentar o modelo, será feita uma análise do modelo implantado no sétimo capítulo, comparando os mesmos parâmetros da análise empírica com o modelo atual e demonstrando assim a melhora advinda dele. Esse capítulo será finalizado com a indicação de trabalhos futuros pelo autor.

3 Revisão Bibliográfica

As publicações que tratam de logística *offshore* abordam, principalmente, os temas sobre política de atendimento a unidades marítimas e tipos de carga, programação de embarcações, roteamento, otimização e número ideal de viagens, dimensionamento de embarcações e algumas poucas tratam do tema de contratação de embarcações. Todavia, a maioria dos trabalhos é voltada às operações no Golfo do México ou no Mar do Norte. No Brasil, mais trabalhos começaram a surgir nos últimos 10 anos, mas ainda existe um amplo campo de assuntos a serem abordados. Na Figura 4, foi feito um breve resumo dos principais trabalhos estudados sobre logística *offshore*. Nesse resumo foi destacado principalmente os trabalhos abordando a logística no Brasil.

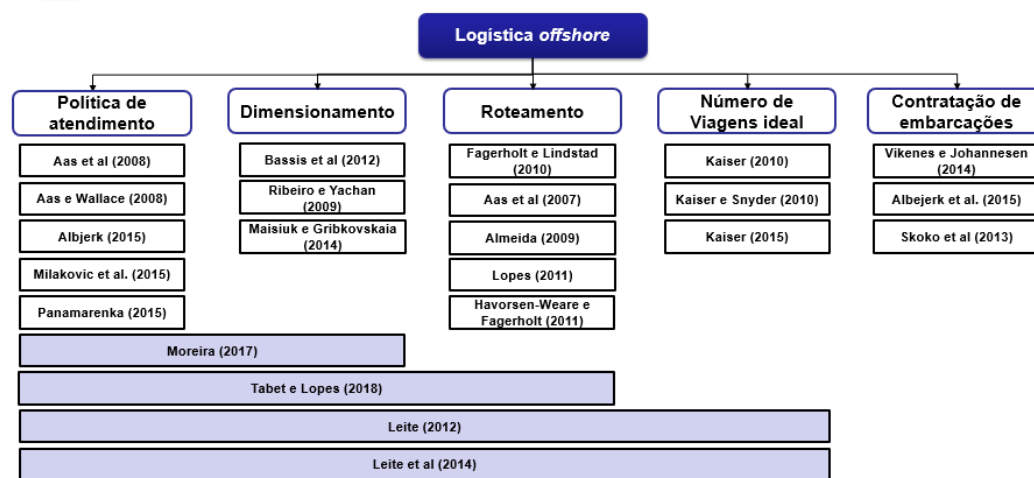


Figura 4. Classificação das principais referências bibliográficas.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os trabalhos de Aas et al. (2009), de forma mais abrangente para o mundo de óleo e gás, e Lopes (2011), Leite (2012), Tabet e Lopes (2018) e Moreira (2017), especificamente para a logística de E&P do Brasil, definem bem a cadeia logística *offshore*, descrevendo os clientes, o tipo de carga, como é feito o pedido da carga, tipos de embarcações, incerteza da demanda na logística *offshore* e como medir a produtividade da cadeia logística.

Aas et al. (2009) analisam o tipo de embarcação utilizado no transporte marítimo *offshore*, o *Platform Supply Vessel* (PSV). Os autores argumentam que os PSV devem ser analisados em quatro quesitos: confiabilidade e capacidade operacional, capacidade de carregamento (em toneladas e tipos de carga), navegabilidade e capacidade de carregar/descarregar cargas. Este último quesito, tradicionalmente na literatura, é associado com as embarcações operando em portos, porém como os PSV o maior desafio é encontrado na operação com as unidades marítimas (Schneekluth e Bertram, 1998).

Segundo Aas et al. (2009), o desenvolvimento do PSV não passou por mudanças dramáticas nos últimos 20 anos, sendo apenas caracterizado por uma série de pequenos avanços. Já os outros tipos de embarcações tiveram um grande desenvolvimento na primeira década do novo milênio. Cargueiros aumentaram sua capacidade de carga em 60%, graneleiros em 65% e contêineres mais do que dobraram de capacidade (Christiansen et al, 2013).

A política de atendimento é um assunto recorrente no transporte *offshore*. Aas et al. (2008) discutem a terceirização da logística em um estudo de caso feito na Noruega. Nas empresas pesquisadas, os autores argumentam que as pessoas que trabalham no gerenciamento do terminal de suprimentos têm pouco conhecimento em logística, principalmente quando comparado ao conhecimento em outras atividades da indústria de óleo e gás e/ou comparado ao conhecimento de profissionais que trabalham em empresas de logística. Os autores notaram a falta de prioridade da disciplina logística no dia-a-dia da operação, dado que essa não é a atividade principal da empresa, e que profissionais de logística poderiam agregar valor à companhia com ferramentas matemáticas mais novas. Esse é um caso muito parecido com o cenário brasileiro de poucos anos atrás (em alguns pontos ainda atuais), quando a logística era basicamente executada por pessoas que haviam deixado a área de E&P para trabalhar na área logística sem passar por cursos ou treinamentos específicos mais elaborados. Com isso, a prioridade única sempre foi atender a operação no menor prazo possível, sem se atentar para os custos logísticos que invariavelmente eram menores que a possível parada de uma plataforma.

Aas e Wallace (2008) apresentaram um estudo de caso também na Noruega sobre gerenciamento da programação logística. Eles argumentam que um melhor gerenciamento da logística poderia aumentar o nível de serviço, diminuir o desperdício e a utilização de folgas na execução das atividades logísticas. Porém

um grande problema para melhorar o nível da logística *offshore* é de que os custos logísticos nunca foram uma barreira para a operação, já que esses custos são muito baixos quando comparados com outras atividades da indústria de óleo e gás. Porém, a partir de 1995, os desafios mudaram fazendo com que o planejamento logístico se tornasse essencial. Para a melhora do planejamento logístico, a necessidade de informação e habilidade de resolver problemas foram algumas das barreiras a serem superadas. Com isso, foi realizada uma melhoria gradual na disponibilização de informação, ferramentas tecnológicas e capacitação de funcionários entre os anos de 1995 e 2007. Como resultado, o planejamento logístico melhorou muito nesse período, com mais unidades sendo servidas satisfatoriamente e utilizando menos embarcações por unidade, mesmo com o aumento do número de unidades atendidas. Além disso, o número de acidentes e incidentes relacionados com a execução logística diminuiu.

Albjerk et al. (2015) estudam a política de gerenciamento das interrupções dos serviços logísticos da Statoil no Mar do Norte. Os autores apresentam um modelo de entrega de carga geral para Unidades Marítimas a partir de uma base de atendimento desenvolvendo uma heurística VNS (*variable neighbourhood search*) para encontrar soluções para problemas operacionais em diversos níveis. Segundo os autores, com o modelo a empresa poderia diminuir o tempo gasto no planejamento operacional e no gerenciamento das interrupções dos serviços logísticos. Além disso, poderiam ser encontradas melhores rotas e programações com significativa redução de custo.

Milaković et al. (2015) focam a análise nas mudanças necessárias na operação do Mar do Norte para que ela se transforme numa operação tanto econômica quanto ambientalmente sustentável. Os autores afirmam que, mesmo com a existência de políticas de atendimento bem estabelecidas na região, é necessária uma reavaliação do modelo para atingir a meta. Panamarenka (2011) faz um estudo para otimizar a velocidade das embarcações e avaliar os custos e emissões.

A sustentabilidade nas atividades *offshore* no Brasil, no que diz respeito às emissões atmosféricas das embarcações, ainda não é uma preocupação tão intensa quanto é no Mar do Norte. Lá, a velocidade das embarcações é, em muitos casos, controlada para obter o melhor custo-benefício entre emissões e gasto de diesel. Isso é, inclusive, analisado na contratação da embarcação, pois o limite de emissão é controlado por lei.

No que diz respeito ao número de viagens ideal por semana para as unidades marítimas, há diversos trabalhos que tratam sobre o assunto, isso devido, principalmente, ao problema de espaço para recebimento de carga. Kaiser (2010) construiu um modelo para quantificar esse número de viagens para unidades marítimas de modo a também prever as atividades no Golfo do México. Com o mesmo objetivo, Kaiser e Snyder (2010) fizeram um estudo do número de viagens necessárias para unidades marítimas no Golfo do México, porém, desta vez, com dados fornecidos pelas empresas. Kaiser (2015) continuou o estudo nas atividades *offshore* do Golfo do México constatando que o número ideal de viagens para plataformas de produção é de 3,5 viagens por semana. Já para sondas o número ideal é de apenas 3.

Leite (2012) também tratou o assunto de número de viagens às unidades marítimas. O autor realiza uma análise empírica comparando os dados de Kaiser e Snyder (2010) com outros casos. Ele chega à conclusão que para sondas são necessárias 3 visitas semanais periódicas e para unidades de produção apenas 2 viagens semanais. Esse número aparentemente é mais próximo da realidade do que os apresentados por Kaiser (2015), pois as sondas precisam de uma gama maior de materiais do que as plataformas de produção.

Além do número de viagens, Leite (2012) estudou a entrega de carga de convés na Bacia de Campos e propôs uma nova política de serviço para diminuir o número de visitas numa mesma viagem para as unidades marítimas aumentando o nível de serviço da operação. Ele percebeu que, em uma mesma viagem, uma embarcação visitava muitas unidades e/ou visitava a mesma unidade diversas vezes, aumentando o ciclo da embarcação. Após a análise, o autor propõe uma nova política de atendimento, mais regrada, agrupando unidades marítimas em clusters e realizando entregas com saídas do porto em dias fixos na semana. Durante a viagem da embarcação, cada unidade marítima teria uma janela de tempo de atendimento e durante essa janela a embarcação estaria disponível para a unidade. Assim que a janela fechasse a embarcação deveria seguir para a próxima unidade do cluster. Segundo Leite, esse processo objetivava adicionar regularidade ao serviço, permitindo o planejamento das unidades marítimas e evitando visitas sem operação.

Leite et al. (2014) descrevem a implantação de um novo modelo de atendimento às plataformas da Bacia de Campos, baseado no que foi descrito em Leite (2012). Com o objetivo de reduzir o tempo de entrega das cargas, garantir

maior previsibilidade para os clientes (unidades marítimas) e otimizar o uso dos recursos disponíveis (porto e embarcações), a hipótese estudada considerava a redução da quantidade de escalas, a eliminação das múltiplas visitas para a mesma unidade marítima em cada viagem da embarcação e a criação de rotas fixas com janelas de atendimento pré-determinadas para cada unidade. Com essas premissas, o tempo de ciclo das embarcações teria uma tendência de redução, a unidade poderia se planejar para receber as cargas, o espaço no convés poderia ser melhor aproveitado e os tempos para a operação portuária poderiam ser previstos com mais precisão, evitando os atrasos nas saídas das embarcações. As unidades foram divididas em conjuntos de atendimento (*clusters*) e a frota de embarcações de carregamento e descarregamento de carga geral e água foi dividida em dois tipos: Nível de Serviço 1 (NS1) para cargas não prioritárias ou regulares e o Nível de Serviço 2 (NS2) para cargas prioritárias ou emergenciais. Cada uma das frotas (NS1 e NS2) foi dimensionada para uma probabilidade de que, em 90% do tempo, não faltasse embarcação para realizar a viagem seguinte. Após definir a dimensão da frota (utilizando um simulador da empresa) e as características da operação, o novo modelo de atendimento foi implantado em março de 2013. Nesse período, o porto passava por manutenção e só poderia operar com 67% de sua capacidade. Como resultado, conseguiu-se melhorar o indicador que mede o percentual de carga entregue no prazo, subindo de 54% em fevereiro de 2013 para 78% em abril de 2013. O tempo de ciclo médio das embarcações diminuiu de 5,5 para 4,0 dias, e o número médio de unidades visitadas em uma viagem reduziu de 15,1 para 6,1. Além disso, a carga movimentada no porto aumentou em 12%. Essa melhora indica que uma melhor organização pode aumentar a produtividade do porto.

Fagerholt e Lindstad (2000) também estudaram o número de viagens para unidades marítimas, porém com a intenção de minimizar o custo global dada a possibilidade de as unidades marítimas ficarem fechadas durante a noite. Eles verificam a melhor política de roteamento das embarcações. Com relação ao roteamento, essa é uma tarefa difícil na logística *offshore* devidos aos diversos tipos de carga entregues, heterogeneidade da frota, aleatoriedade, prioridade de entrega devido à legislação ou necessidade, problemas de mau tempo no mar, restrições de área de convés, porto, falta de informação de demanda etc. O problema em geral envolve um local de partida (porto). Uma boa solução deve garantir um alto nível de serviço a um custo mínimo.

Os problemas de roteamento na indústria *offshore* podem ser divididos em duas categorias: periódicos e não periódicos. Os periódicos, geralmente relacionados com o planejamento estratégico ou tático, criam viagens fixas semanais enquanto que os não periódicos, geralmente mais relacionados com o planejamento operacional, são algoritmos para serem rodados no dia-a-dia da operação, considerando que a carga está no porto quando necessária, ou seja, não analisam a parte terrestre da cadeia de suprimentos, somente a marítima. Para que o roteamento não periódico funcione, não basta apenas um transporte marítimo bom, é preciso que a logística em terra, desde os armazéns até os portos, tenha um *lead time* curto para poder atender as demandas diárias. Isso no Brasil ainda é um grande problema e carece de maiores estudos e melhorias.

Para os problemas não periódicos, Aas et al. (2007) estudaram o problema de roteamento de veículos com coleta e entrega (VRPPD) utilizando uma única embarcação e considerando as restrições de capacidade dos clientes. O modelo é determinístico e permite duas visitas semanais para alguns clientes, entregando primeiro e coletando depois. A função objetivo é minimizar o custo, o que é atingido utilizando o CPLEX 9.0. De acordo com os autores, esse é um modelo simples e precisa de alguns ajustes para ser utilizado na vida real

Almeida (2009) construiu uma programação de embarcações para maximizar o nível de serviço e minimizar os custos envolvidos. Nesse caso, o autor utilizou uma heurística para resolver o problema.

No caso de problemas periódicos, Halvorsen-Weare e Fagerholt (2011) misturam simulação e otimização para analisar diferentes métodos de se criar cronogramas robustos.

Shyshou et al. (2010) realizam comparações entre modelos clássicos de otimização e modelos estocásticos para dimensionamento de embarcações (não necessariamente embarcações de apoio marítimo). Os resultados do estudo indicam que, devido à incerteza inerente ao problema, o uso de programação estocástica pode melhorar significativamente as decisões de ajustamento da frota em relação à clássica otimização determinística, isso porque alternativas que consideram a influência de vários cenários e explicam as consequências das diferentes realizações futuras são melhores para determinar as decisões estratégicas de longo prazo quando comparadas àquelas que indicam decisões específicas e fixas sobre o futuro esperado, ou seja, os benefícios ao se considerar informações estocásticas são

significativamente maiores do que as capacidades das frotas sugeridas por modelos determinísticos.

As atividades de logística *offshore* se encaixam nisso devido ao alto grau de aleatoriedade advindo tanto da programação de unidades marítimas, especialmente sondas de perfuração, quanto da própria operação no mar, que é altamente afetada pelas condições climáticas.

Bassi et al. (2012) apresentam um método que pode ser utilizado tanto para dimensionamento de frota quanto para a programação de uma frota existente. Eles realizam uma simulação-otimização para lidar com o problema de planejamento e programação de sondas que realizam serviços de perfuração e manutenção de poços.

Ribeiro e Iachan (2009) realizam um dimensionamento de embarcações aplicado a uma empresa brasileira de óleo e gás. Inicialmente é gerada uma demanda e, com base em uma heurística, é realizado um roteamento e posteriormente uma simulação considerando as incertezas operacionais. As ineficiências do modelo estão na geração de demanda e no roteamento, pois são realizados diariamente, o que torna o modelo restrito a somente programações diárias, impossibilitando sua utilização devido a cadeia logística da empresa estudada, que precisava ter as informações das cargas a serem carregadas nas embarcações com uma maior antecedência.

Tabet e Lopes (2018) se baseiam no trabalho de Ribeiro e Iachan para realizar um dimensionamento para uma operação específica no Brasil. Os autores estabelecem um modelo de cinco fases: levantamento e análise de dados, geração da demanda, roteirizador, simulação e análise de resultados. Eles chegam a um resultado que não diminui o número de embarcações contratadas, porém prova que embarcações menores, e, portanto, mais baratas, poderiam substituir embarcações maiores, e, portanto, mais caras, diminuindo o custo.

Leite et al. (2014) também desenvolveram um simulador em conjunto com o modelo de atendimento. A simulação foi feita considerando-se os tempos de viagens planejados e a variação dos tempos de viagem de acordo com dados históricos. Para isso, utilizou-se a programação marítima vigente na época no Porto de Macaé. Para cada viagem planejada, foram calculados os tempos de viagem considerando os tempos históricos de operação portuária e de operação nas unidades, de acordo com a quantidade de carga de cada unidade, e os tempos de

navegação, de acordo com a localização das unidades e a velocidade das embarcações e a produtividade das unidades. As atracações foram alocadas nos horários programados no porto. Para cada atracação, é chamada uma embarcação e é calculado o horário de retorno da embarcação ao fundeio (local próximo ao porto onde a embarcação lança âncora e aguarda o próximo atendimento), considerando o tempo planejado e adicionando-se a variabilidade histórica. Dessa forma, cada viagem se inicia no horário programado e termina quando a embarcação retorna ao fundeio, com o tempo de viagem determinado pelo método descrito. Com isso, para cada instante de tempo, contam-se quantas embarcações estavam sendo utilizadas ao mesmo tempo. O número de embarcações é determinado pelo percentil 90, ou seja, o valor tal que 90% dos dados da amostra são menores do que ele, significando que há 90% de certeza de ter a embarcação no momento em que se necessitar dela.

Após o cálculo do número de embarcações necessário, é acrescido o cálculo de indisponibilidade e docagem das embarcações para realizar o dimensionamento final da frota. Um detalhe a ser observado é que a produtividade é considerada a mesma para todas as unidades. No simulador, essa produtividade é medida em minutos/lingada, sendo a lingada o movimento do guindaste da unidade marítima para tirar uma carga do convés da embarcação e colocar no convés da unidade. Segundo os autores, uma lingada leva em média três toneladas de carga geral. O carregamento de água pode acontecer ou não concomitantemente com o carregamento de carga geral, portanto não é possível separar a produtividade do atendimento da água da produtividade do atendimento da carga geral, dado que a embarcação apenas informa o início e o fim da operação total. Dessa forma, o tempo utilizado no cálculo inclui o tempo total de operação na plataforma (tempo de carregamento e descarregamento de carga geral e tempo de transferência de água) além do tempo de espera da embarcação na plataforma, pois muitas vezes as embarcações levam muito tempo esperando para poder operar devido ao mau tempo, operação da plataforma, fila de embarcação, entre outros.

Moreira (2017) propõe uma política de atendimento para aumentar a eficiência do elo marítimo na cadeia logística *offshore*. Ele desenvolveu um modelo de simulação para avaliar diferentes modos de operação. Segundo ele, a ferramenta desenvolvida serve também como ferramenta de apoio à decisão para diferentes estratégias de utilização dos recursos e infraestrutura. Dentre as estratégias avaliadas no estudo, estão a forma de utilização das embarcações, mudança dos

pontos de abastecimento de diesel, o uso de portos mais próximos das unidades marítimas e diferentes políticas de suprimento de diesel às unidades marítimas.

A ferramenta desenvolvida considera as variabilidades nos tempos de operação nas unidades marítimas, de operação no porto, de navegação, além das incertezas de condições ambientais, de filas nas unidades marítimas, da demanda por produtos e de inoperâncias. O modelo permite ainda a programação da docagem das embarcações e de trocas de turma das tripulações.

O modelo construído permite avaliar o atendimento de até 100 unidades marítimas, fazendo com que a escala do problema de planejamento de entrega de carga analisado seja maior, segundo o autor, do que qualquer outra encontrada na bibliografia. No estudo, o autor cria diferentes cenários para analisar a possibilidade de entrega conjunta pelos PSVs de carga geral, água e diesel, como é feito em outros países no mundo, mas não no caso da empresa em estudo. O autor nomeia essa solução de “solução multipropósito”. A partir do estudo dos cenários, o cenário multipropósito apresentou a possibilidade de redução da frota global de 23%, além de patamares de nível de serviço de carga geral aceitáveis, e dos melhores resultados em relação aos indicadores de estoque de diesel, quando comparados com os outros cenários.

Dentre as literaturas estudadas, Moreira (2017) foi o único a abordar o transporte de mais de um tipo de carga, por uma frota heterogênea de embarcações. O estudo ainda contou com avaliação do nível de serviço dos diferentes produtos em cada cenário.

O dimensionamento da frota de embarcações de uma empresa de óleo e gás é um assunto recorrente varia de empresa para empresa, já que há diversas formas de contratação e, em geral, empresas de óleo e gás não possuem embarcações. Elas contratam de armadores e empresas de navegação. (Maisiuk e Gribkovskaia, 2014). Para essa contratação, a demanda (unidades marítimas) é de extrema importância, porém a incerteza dela é uma das principais características da logística *offshore* devido às intensas mudanças no calendário de atividades das unidades marítimas. No Brasil essa incerteza tem um impacto ainda maior devido ao modo de contratação realizado pela Petrobras, privilegiando contratos longos e com uma demora de aproximadamente 9 meses entre o início e o fim de processo normal de contratação de embarcação. Em outros mercados, há a possibilidade de contratação de embarcações no mercado spot, o que ocorre muitas vezes em tempos menores

do que um dia, dando vantagem ao planejamento das operações e à possibilidade de eventuais correções no tamanho da frota se necessário.

Por exemplo, Maisiuk e Gribkovskaia (2014) tratam do dimensionamento e programação de frota no Mar do Norte. Nesse caso, os autores não destacam a alteração da programação das unidades marítimas como um problema na contratação das embarcações, justamente pela possibilidade de contratação spot. Eles afirmam que operações associadas a movimentos de sondas de perfuração são de natureza diferente das atividades de logística *offshore*. Neste caso, as embarcações de apoio realizam um cronograma semanal, sendo que a viagem tem como ponto de partida uma base *onshore*. No entanto, destacam que a execução do cronograma semanal é afetada pelas condições climáticas que, por sua vez, influenciam na operação das embarcações. Dessa forma os autores incluem uma “margem climática” no cálculo da duração do serviço da embarcação na unidade marítima para definir o cronograma semanal de cada embarcação. Posteriormente, os autores propõem um modelo de simulação de eventos discretos para determinar o tamanho da frota de embarcações de apoio *offshore*.

Em relação à contratação de embarcações *offshore*, Vikenes e Johannessen (2014) fazem uma análise qualitativa entre a contratação de embarcações de apoio marítimo no Brasil e na Noruega, principalmente voltada para onde o construtor de embarcação norueguês deve investir, dado que no Brasil as contratações tendem a ser mais longas. Os autores fazem uma extensa análise, desde a diferença de cultura dos portos, variáveis de preço, diferença de legislação, entre outros. Segundo os autores, os custos no Brasil são muito maiores do que na Noruega, principalmente devido ao custo de tripulação, custo de docagem e, principalmente, devido ao custo de operação para a empresa em análise que cria regras muito duras para a operação. Dessa forma, os autores sugerem que os construtores noruegueses não operem no Brasil.

Skoko et al. (2013) analisam os aspectos logísticos dos PSVs no Oeste da África, verificando a relação entre as taxas diárias das embarcações e o preço do óleo.

Valente et al. (2008) analisam os problemas de distribuição física, em qual pode ser inserido o problema de transporte de carga para unidades marítimas. Segundo os autores o problema tem dois níveis de análise: o planejamento e o operacional. No planejamento são analisadas alternativas a partir de cálculos e

estimativas simples, porém, como os parâmetros podem ter uma grande variação, a aleatoriedade deve ser considerada.

No caso do transporte marítimo da logística *offshore*, um terceiro nível deve ser considerado. A contratação e o tempo de duração dos contratos deve ser levado em conta nas análises da frota. Segundo Albjerk et al. (2015), são consideradas contratações de longo prazo no Mar do Norte contratações a partir de 45 dias. Contratações menores do que essa são consideradas *spot*. Comparando os mercados, no Brasil somente o tempo para se contratar (entre o início do processo e a mobilização do recurso) pode durar mais de um ano. Já os contratos têm duração de 2 a 4 anos em média.

Com a revisão bibliográfica, foi possível verificar que ainda há uma grande diferença de atuação das logísticas *offshore* no Mar do Norte e no Golfo do México quando comparadas ao Brasil. Fora do Brasil há a possibilidade de contratação de embarcações no mercado *spot*, situação que no Brasil ainda não ocorre da mesma forma. Com isso, para trabalhar com menos folga no dimensionamento, há a necessidade de uma contratação mais assertiva e de que a operação ocorra conforme o planejado, para que a frota dimensionada seja capaz de atender à demanda. Dentre os estudos encontrados fora do Brasil, nenhum mostrou o impacto de uma falha operacional no dimensionamento da frota quando você não tem oportunidade de contratar no *spot*.

Também nenhum dos estudos mostrou o impacto da diversificação da frota por tipo de serviço. Leite (2012) e Leite et al. (2014) incluíram a água no estudo da entrega de carga e o único estudo que aborda também a entrega de diesel, além da entrega de carga geral e água é o estudo de Moreira (2017). No Brasil, ainda há uma grande variabilidade de serviços prestados com uma frota específica para isso, o que, invariavelmente, tende a aumentar a frota contratada. Já em outros lugares, as embarcações são adequadas e realizam a entrega de outros produtos concomitantemente com a entrega de carga geral.

Nos estudos focados no Brasil, todos encontrados na literatura abordam somente a logística da Bacia de Campos. Nenhum estudo encontrado abordou a logística da Bacia de Santos. Também nenhum dos estudos mostrou o impacto da ordenação portuária na logística de *clusters*.

Neste trabalho, uma análise empírica foi realizada comparando os modelos de atendimento utilizados pela Petrobras desde 2012. Também foi feita uma análise

do ordenamento portuário do porto do Rio de Janeiro. As análises mostram que, apesar de melhorar o desempenho logístico nos últimos anos, a empresa ainda carece de um modelo de planejamento tático mais robusto, principalmente na Baía de Santos. Para solucionar esse problema, o trabalho mostra um modelo desenvolvido internamente na empresa. O modelo se baseia na clusterização utilizando o método de algoritmos genéticos (Goldberg, 1989). e simulação de Monte Carlo (Metropolis e Ulam, 1949), além de um novo ordenamento portuário utilizando programação linear binária.

A clusterização utilizando o Algoritmo Genético tem o seu funcionamento baseado na analogia com a teoria das espécies de Charles Darwin e nos mecanismos da genética, onde indivíduos (soluções) são incentivados a se recombinarem gerando filhos (novas soluções), que são avaliados e reintroduzidos na população substituindo ou não os pais. A criação de uma nova geração envolve quatro grandes passos: avaliação, seleção, recombinação (*crossover*) e mutação. Esses procedimentos são repetidos até que um critério de parada seja satisfeito, retornando-se os indivíduos mais “adaptados” (a melhor solução encontrada). (Aloise et al., 2000). No presente trabalho será feita uma adaptação do método, utilizando dois genes pais independentes para se chegar à melhor solução.

Dentro da logística offshore, o único trabalho encontrado que utiliza esse método foi o de Lopes (2011). Neste trabalho é descrito o problema de suprimento das unidades marítimas, analisando métodos de roteamento com algoritmos genéticos para as embarcações de suprimento. Em seguida, o autor enquadra o problema como Problema de Roteamento de Veículos de Frota Heterogênea e Limitada. O autor gera uma solução inicial através de uma heurística utilizada na empresa e depois executa o algoritmo comparando os resultados com o resultado inicial. A compilação dos resultados mostrou uma diferença média de 1,4%, o que, segundo o autor, pode ser considerado um bom resultado.

O método de Monte Carlo será utilizado para variar os tempos de ciclo a serem utilizados como dados de entrada para o ordenamento portuário. Nesse método, os modelos são construídos tendo explicitamente como *input* variáveis aleatórias, que representam as fontes de incerteza presentes no problema em estudo. Conhecidas as distribuições de probabilidade dessas variáveis aleatórias, é então possível correr o modelo muitas vezes, de tal modo que em cada uma das corridas

as variáveis aleatórias incluídas assumam particulares valores concretos, ditados pelas respectivas distribuições (Glasserman, 2003).

Já a programação binária que será utilizada para o ordenamento portuário é baseada na resolução de problemas de sequenciamento de tarefas. Existem várias abordagens sobre este tema e uma delas é conhecida como *flow-shop* permutacional, a qual será tratada de forma adaptada nesse trabalho. Este processo consiste no seguinte: suponhamos que se queira fazer a configuração de m máquinas distintas, sendo que elas realizarão um conjunto de n diferentes tarefas em uma ordem pré-determinada. O tempo gasto para o processamento de todas as tarefas depende da ordem em que elas são processadas, pois cada tarefa a ser realizada nas máquinas necessita de tempos diferentes e dependendo da sequência de realização das tarefas não haverá a melhor utilização do tempo. Nesse contexto, os tempos das tarefas serão transformadas em tempos de ciclo e as máquinas os berços de atracação para a resolução do problema.

4

Cadeia logística *offshore* de transporte de cargas

Nesse capítulo será mostrada a cadeia logística *offshore* para entrega de cargas da Petrobras. Essa cadeia é composta por 4 elos logísticos: armazenamento da carga, transporte da carga pelo modal terrestre até o porto, operação portuária e transporte da carga pelo modal marítimo. Além dos elos, também serão descritos quem são as UM atendidas pela logística, tipos de cargas, e o fluxo de informações necessários para a chegada dessas cargas até cada UM. A gestão de estoque no armazém não será tratada, pois esta é gerenciada por cada UM ou grupo de UM.

4.1.

Estrutura da cadeia logística *offshore* de cargas

Segundo Ferreira Filho (2015), a cadeia do petróleo é tradicionalmente dividida em *upstream* e *downstream*, sendo a parte *upstream* relacionada às atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural e a *downstream* relacionada às atividades de refino, transporte e a importação e exportação de gás natural, petróleo e seus derivados e a distribuição e revenda de derivados. Recentemente, porém, a cadeia tem sido dividida em 3, utilizando-se o termo *midstream* para o abastecimento (transporte e importação de petróleo) e o refino, ficando o termo *downstream* restrito às etapas de distribuição e revenda de derivados. A divisão entre *upstream*, *midstream* e *downstream* pode ser vista na Figura 5.

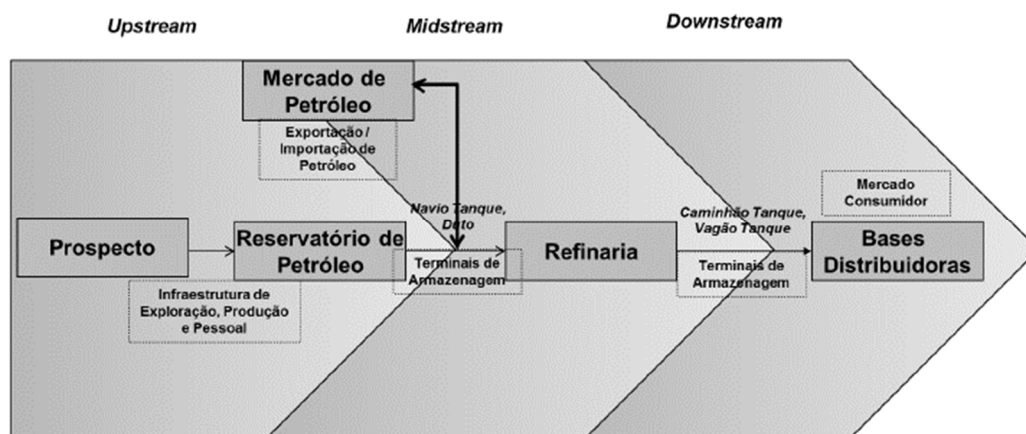


Figura 5 - Cadeia do Petróleo.

Fonte: Ferreira Filho (2015)

Da mesma forma, a logística de uma empresa de E&P também pode ser dividida nestas categorias. A logística *upstream*, foco deste estudo, se refere ao que chamamos de logística *offshore*. É a logística que transporta pessoas e cargas para o funcionamento das plataformas. A logística de pessoas é feita em grande parte por helicópteros. Apenas algumas unidades de águas rasas do Nordeste que, como não têm a possibilidade de receber helicópteros devido ao seu tamanho ou ao alto custo do transporte, recebem as pessoas através de pequenas embarcações de passageiros. Já a logística de cargas é feita através de embarcações especificamente desenhadas para o transporte *offshore*.

A logística *midstream* se refere à logística posterior à produção da plataforma, onde navios ou oleodutos retiram o petróleo bruto para ser levado até as refinarias. Já a logística *downstream* se refere à logística de envio dos produtos derivados do petróleo ao destino de consumo.

A seguir serão listadas todas as entidades participantes da logística *offshore* de cargas, passando pelos clientes atendidos, tipos de cargas, elos logísticos, fluxo de carga e informações e finalizando com o transporte marítimo, foco dessa análise.

4.1.1. Clientes

Na grande maioria das empresas de petróleo, inclusive na empresa em estudo, a logística *offshore* é feita pela própria empresa. Portanto o termo “cliente” que será utilizado de agora em diante é apenas uma forma de descrever o demandante interno

do serviço. Nesse caso os clientes da logística são as UM. Existem basicamente quatro tipos de cliente atendidos: sondas, plataformas de produção, unidades de manutenção e segurança (UMS) e embarcações especiais. As UMS e embarcação especiais trabalham atendendo demandas específicas das plataformas de produção. Para lidar com a logística, as sondas e as plataformas de produção são agrupadas de acordo com o campo, ou grupo de campos onde operam.



Figura 6 – Diferentes tipos de unidades marítimas.

Fonte: Petrobras, 2017.

As sondas são responsáveis pela exploração e perfuração de poços. A seguir seguem alguns exemplos de sondas:

- Sonda Fixas: Funcionam com uma estrutura rígida, fixada no fundo do mar por um sistema de estacas cravadas atuando em pequena profundidade, com lâminas d'água de até 300 metros. Essas mesmas unidades atuam, posteriormente, como unidades de produção. Sua instalação é relativamente simples e permite que o controle dos poços seja feito na superfície;
- Autoelevável (ou auto elevatória ou *jack-up*): Têm um mecanismo para descer as pernas e assentá-las no solo marinho quando chegam na locação. Para se movimentarem para outra locação, as pernas se auto elevam para que seja possível a navegação. Atuam em pequena profundidade, com lâminas d'água de até 150 metros;
- Semissubmersível: É uma plataforma flutuante, com colunas para estabilização. Pode manter a plataforma de forma automática através

de um sistema chamado de “posicionamento dinâmico” ou pode ser ancorada no solo marinho. Pode atuar em águas profundas e ultra profundas, com lâminas d’água de mais de 2.000 metros;

- Navio-sonda: Plataforma convertida a partir de navios petroleiros ou especificamente construído para a atividade de sonda. É uma plataforma flutuante que também pode ser dotada de sistema de posicionamento dinâmico ou ancorada no solo marítimo. Pode atuar em águas profundas e ultra profundas, com lâminas d’água de mais de 2.000 metros.



Figura 7 - Navio-sonda NS-24 operando na Bacia de Campos.

Fonte: Petrobras, 2017.

As plataformas de produção, ou Unidades Estacionárias de Produção (UEP), são responsáveis pela retirada do petróleo bruto ou gás dos reservatórios. A seguir seguem alguns exemplos de UEP:

- Plataformas Fixas: A mesma unidade que trabalha como sonda, posteriormente continua na mesma locação para trabalhar como unidade de produção. O escoamento da produção se dá, em geral, através de oleodutos;
- TLWP (*Tension Leg Wellhead Platform*): Parecida com uma plataforma semissubmersível, é uma plataforma flutuante ancorada no

fundo do mar por cabos ou tendões de aço tracionados. Como não possui capacidade de armazenamento e processamento, a produção necessita ser escoada para um FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*), que realiza o processamento e envia para um navio petroleiro. Pode atuar em águas profundas, com lâminas d'água de até 1.500 metros.

- Semissubmersível: Pode ser da mesma forma que a plataforma fixa, atuando primeiro como sonda e posteriormente como UEP ou ser construída especificamente para o trabalho de produção. O escoamento se dá através de oleodutos ou armazena em navios para posterior descarregamento em terminais;
- FPSO: Plataforma convertida a partir de navios petroleiros ou especificamente construída para isso. Da mesma forma que a plataforma semissubmersível é ancorada no solo marinho. Como a unidade trabalhava anteriormente como petroleiro, ela tem uma grande capacidade de armazenamento em seus tanques permitindo que opere em grandes distâncias da costa, onde não há possibilidade de construção de oleodutos. Pode atuar em águas profundas e ultra profundas, com lâminas d'água de mais de 2.000 metros.



Figura 8 - FPSO Cidade de Paraty operando no campo de Lula, nordeste da Bacia de Santos.

Fonte: Petrobras, 2017.

As UMS, também chamadas de flotéis, são unidades que ficam ao lado das UEP e interligadas a elas por meio de uma rampa de acesso. Quando há a necessidade de manutenção das plataformas, essas unidades abrigam os profissionais que realizam essa manutenção e os profissionais que são deslocados da unidade devido à manutenção.



Figura 9 - UMS Carapebus.

Fonte: Petrobras, 2017.

As embarcações especiais são embarcações que atuam em diferentes trabalhos de apoio às UM, principalmente em apoio às UEP, e, pela dificuldade de vir ao porto, precisam ser abastecidas pelas embarcações de apoio. A seguir, seguem alguns exemplos:

- Navios de Pesquisa Sísmica: Navios que fazem o estudo sísmico dos campos ainda não explorados. Esse é o primeiro passo para identificar reservas de petróleo e gás;
- PLSV (*Pipe-laying Supply Vessel*): É o navio de lançamento de linhas flexíveis utilizadas para conectar as plataformas aos sistemas de produção.



Figura 10 - PLSV Sapura Diamante

Fonte: Petrobras, 2017.

4.1.2. Cargas

As cargas transportadas pela logística *offshore* de carga podem ser divididas em: carga geral, graneis líquidos e graneis sólidos, tendo cada uma delas características específicas de transporte.

A carga geral, também chamada de carga de convés, é a carga transportada no convés da embarcação. O termo compreende diversos tipos de itens, desde canetas a tubos de perfuração. A carga geral é tanto carregada (*load*) como descarregada (*backload*) das unidades marítimas. Algumas das cargas são unitizadas (em cestas ou contêineres por exemplo) no armazém para facilitar o transporte, enquanto outras, em geral maiores, são transportadas uma a uma. As cargas gerais também podem ser explosivas ou radioativas, porém essas têm prioridade na entrada e saída da embarcação, sendo sempre as últimas a embarcar e as primeiras a desembarcar, podendo, portanto, forçar a alteração da rota da embarcação.

Alguns exemplos de carga geral são: parafusos, rancho (comida para a tripulação), contêineres, tubos e *risers* (trechos suspensos de tubulações que interligam as linhas de produção submarinas).

Os granéis líquidos transportados são água, óleo diesel, fluidos de perfuração (a base de água e a base de óleo) e efluentes. Eles são transportados em tanques que ficam abaixo dos conveses das embarcações.

A água é fornecida pois, apesar de grande parte das UM terem sistema de dessalinização da água do mar para utilização a bordo, algumas não conseguem fabricar o total necessário para o dia a dia. Há apenas o *load* de água, não há *backload*.

O óleo diesel é necessário para o funcionamento de grande parte das unidades marítimas, além de ser necessário muitas vezes para a realização de injeção de poços. Assim como a água, também só há o *load* de óleo diesel.

A fluidos de perfuração são utilizados somente para as atividades de perfuração em conjunto com outros graneis sólidos e tem a função de garantia de integridade e temperatura das brocas, controle da pressão, transporte de cascalho, entre outros. Para alguns fluidos, como a salmoura, só há o *load*, porém, para os fluidos de perfuração, há a necessidade de *load* e *backload*, pois eles são reutilizados pelas sondas. Os efluentes são fluidos que perderam suas propriedades e não podem ser misturados a outros. Esses devem ser descartados em terra. Só há o *backload* de efluentes.

Os granéis sólidos mais utilizados são: baritina, bentonita, calcário e principalmente o cimento. Eles são armazenados em silos (tanques não estruturais) abaixo dos conveses das embarcações. A baritina, a bentonita e o calcário são misturados aos fluidos de perfuração para serem utilizados durante a mesma. Já o cimento é utilizado na etapa de revestimento do poço, revestindo os tubos e evitando que haja entrada de fluidos por entre os tubos de revestimento. Para os três primeiros há somente o *load*. Já para o cimento existe o *load* e o *backload*.

4.1.3. Etapas logísticas

O fluxo de carga para o produto solicitado chegar na UM é composto basicamente por 4 etapas: armazenagem, transporte terrestre, operação portuária e

transporte marítimo. Em conjunto com o fluxo de carga, há um também um intenso fluxo de troca de informações durante toda a cadeia. Tudo começa com o pedido da UM, que solicita o material à logística. Esse material pode estar estocado tanto nos armazéns da operadora da plataforma (nesse caso a Petrobras) ou no próprio fornecedor do material. Para o *load* das cargas armazenadas na operadora, o pedido vai para os armazéns que coletam o material, consolidam e unitizam a carga, e deixam prontas para transporte terrestre, feito por caminhões que levam a carga até o porto. As cargas armazenadas nos próprios fornecedores podem se juntar ao restante tanto no porto quanto no armazém. No porto, as cargas são embarcadas nas embarcações e levadas até o destino. Para o *backload* o fluxo é o inverso, com as cargas sendo retiradas pelas embarcações e voltando para o porto e daí para o seu destino final.

No início do estudo, o porto de atendimento à BC e BES era localizado em Macaé. Porém, isso foi alterado e atualmente localiza-se na cidade de São Joaquim da Barra (Porto do Açú). Para efeitos de estudo, será considerado apenas o porto do Açú como referência. Para atendimento à BS, o porto de atendimento localiza-se no Rio de Janeiro (Porto de Docas). Existe também um porto para atendimento de fluidos e graneis localizado em Niterói que atende as 3 bacias.

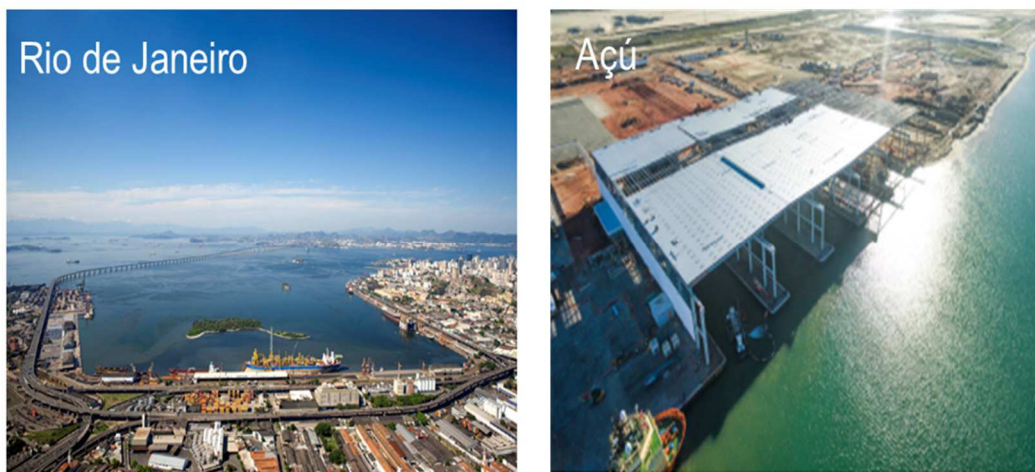


Figura 11 – Portos de operação

Fonte: Petrobras, 2017.

As cargas podem ter diferentes prazos de atendimento, normal ou emergencial. E essa classificação é feita em conjunto (logística e cliente) para

determinar quais cargas vão em cada embarcação. Para isso é levado em conta o tamanho da carga (espaço ocupado na embarcação) e a necessidade de cada cliente.

Para que isso ocorra, a empresa utiliza uma sala específica, a sala de integração logística, onde logística e os representantes dos clientes atuam, definindo a prioridade de cada carga. Caso alguma carga não possa ser entregue em uma determinada viagem, é nessa sala que é decidido quando e como essa carga deverá ser entregue.

Os representantes dos clientes são os representantes de um determinado grupo de sondas ou UEP. Para atendimento no porto do Rio de Janeiro, a Petrobras tem 1 grupo de UEP e 1 grupo de sondas. Para atendimento no porto do Açu, a Petrobras tem 3 grupos de UEP e 1 de sonda. Os grupos de UEP também representam as UMS e embarcações especiais atendendo suas UM. Cada um desses grupos tem um representante na sala de integração logística.

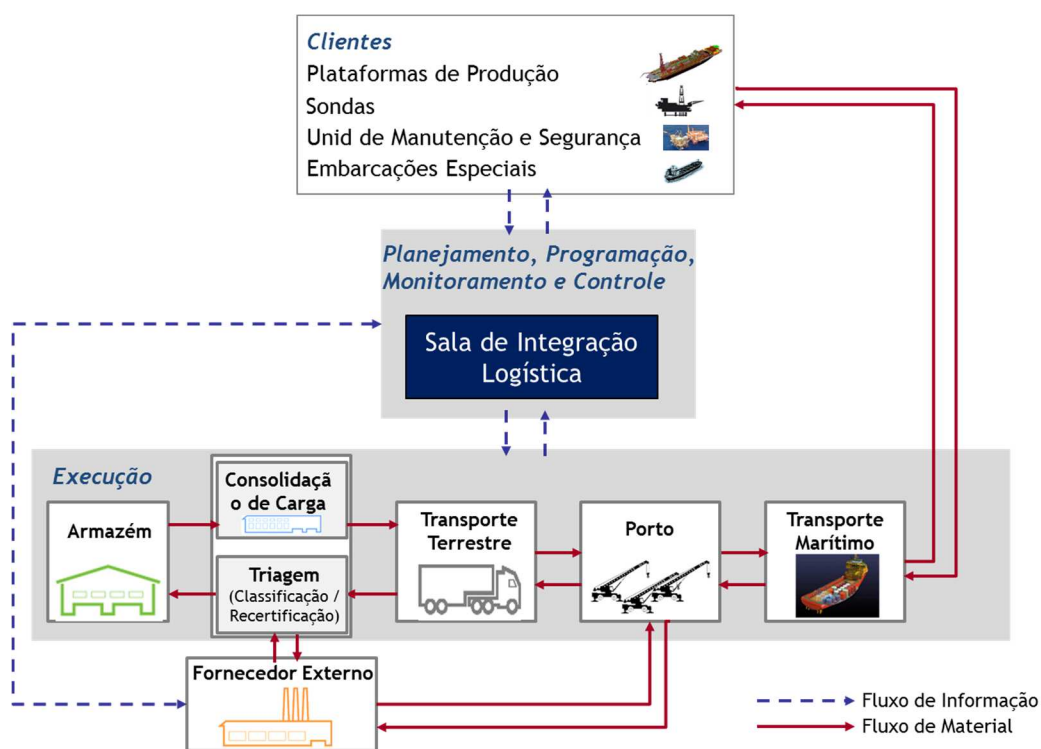


Figura 12 – Fluxo de carga e informações.

Fonte: Petrobras, material interno.

Para fluidos de perfuração e graneis sólidos o fluxo é um pouco diferente, com o produto sendo armazenado nas embarcações e sendo enviado para as unidades quando surge o pedido. Esse tipo de logística ainda era feito porque até

2017 eram os próprios clientes quem gerenciavam as embarcações de fluidos e graneis sólidos. Portanto, nesse estudo não serão tratadas essas embarcações, dado que não faziam parte do escopo da logística no início do estudo.

4.1.4. Transporte marítimo

A etapa mais representativa financeiramente é sem dúvida o transporte marítimo, respondendo por entre 70% a 80% dos custos. Para cada tipo de serviço oferecido pela logística *offshore* existe um ou mais tipos de embarcações que podem realizá-lo e a embarcação mais utilizada é o PSV. Ela é especificamente desenhada para o trabalho com unidades marítimas, devido a sua mobilidade, potência, e possibilidade de levar diferentes tipos de cargas, tantos nos conveses, tanques ou nos silos. Elas podem ser de 3 tipos, PSV 1500, PSV 3000 e PSV 4500, cada uma com capacidade para transportar no mínimo 1500, 3000 e 4500 toneladas de carga, respectivamente. Elas têm capacidade de transportar tanto carga geral, quanto graneis sólidos ou líquidos. Porém, em relação aos graneis líquidos, cada tanque ou grupo de tanques (segregação) do PSV é geralmente específico para um tipo de carga, isso de acordo com a escolha feita na contratação. Por exemplo, um PSV 3000, com capacidade de carga de 3.000 toneladas e 4 segregações pode levar até 4 tipos de produtos nos tanques, além da carga de convés, que somadas podem chegar a 3.000 toneladas. A Petrobras optou, há alguns anos, por não diversificar a utilização dos tanques dos PSVs, especificando a missão de cada um. Dessa forma ela separou sua frota dessa forma:

- PSV oleeiro: transporta somente óleo diesel nos tanques, nada no convés;
- PSV fluideiro: transporta fluidos base água e fluido base óleo nos tanques. Nos silos transporta baritina, bentonita e calcário e nada no convés;

PSV cimenteiro: transporta somente cimento nos silos e nada no convés ou nos tanques;

- PSV de carga geral: transporta água nos tanques e carga geral no convés;



Figura 13 – Platform Supply Vessel (PSV).

Fonte: Tabet e Lopes (2018).

Outros tipos de embarcações são:

- *Utilities* (UT): embarcações menores, porém mais rápidas (em geral têm o dobro da velocidade dos PSVs) e realizam os serviços de emergência. Elas somente transportam carga geral;
- LH (*line handling*) são pequenas embarcações que realizam o trabalho de transbordo entre as plataformas. Também só transportam carga geral;
- P (*passenger*): são embarcações utilizadas para transporte de passageiros para as UM de água rasa.



Figura 14 – Line Handling (LH).

Fonte: Petrobras, 2017.

Tipos de Embarcações

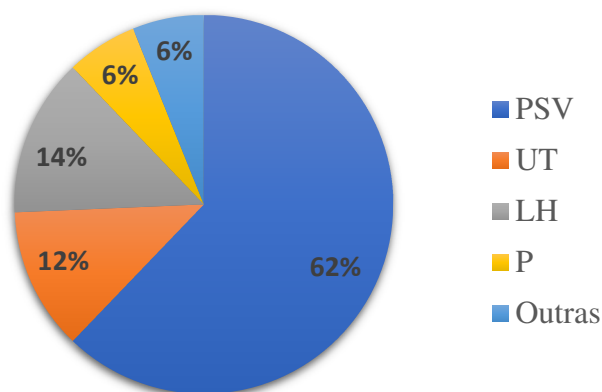


Figura 15 – Proporção dos tipos de embarcações da Petrobras.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Valor das Embarcações

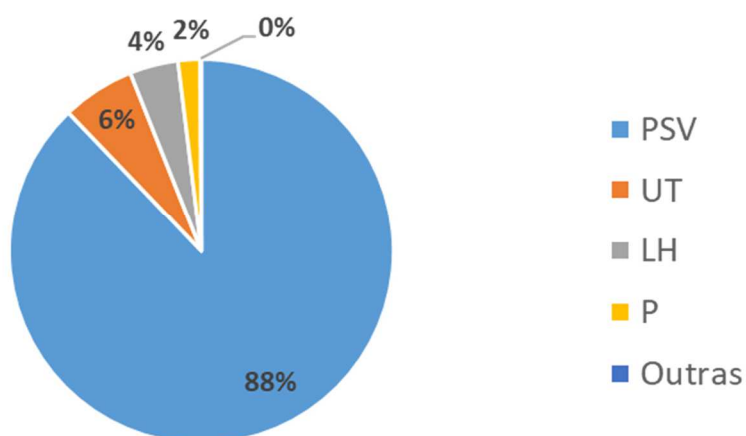


Figura 16 – Proporção em valor dos tipos de embarcações da Petrobras.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os serviços oferecidos por essas embarcações são:

- **Cronograma:** É o principal serviço oferecido e onde fica a maior parte da frota. É um serviço regular, onde são formados *clusters* de unidades marítimas com visitas semanais regulares. A carga entregue é carga geral e água e o transporte é realizado por PSV de carga geral;

- Extra: O serviço de entrega de risers e tubos em geral é feito fora do cronograma, devido à dificuldade de aproveitamento de outras cargas. Serviço também realizado por PSV de carga geral;
- Entrega de diesel: Serviço de entrega de óleo diesel para as UM. Quando é atingido o ponto de entrega de diesel para uma UM é disparado um pedido que é atendido por uma embarcação dedicada para esse serviço. O serviço também é realizado por PSV oleeiro;
- Entrega de fluidos: Serviço de entrega de salmoura, olefina, fluido sintético, baritina, bentonita e calcário para as Sondas. Serviço também realizado por PSV fluideiro;
- Entrega de Cimento: Serviço de entrega de cimento para as sondas. Serviço também realizado por PSV cimenteiro;
- Emergência: Serviço de entrega rápida em caso de necessidade da UM. Serviço realizado por UT;
- Transbordo: Serviço de transporte de material de unidade para unidade. Serviço realizado por LH ou PSV 1500;
- Extensão de convés: Nesse serviço, a embarcação é utilizada como uma extensão do convés da própria unidade. Esse serviço é em geral realizado por um PSV 1500;
- Prontidão: Embarcação que fica de apoio às unidades em caso de emergência, consertos de bote de resgate, entre outros. Serviço realizado por LH.

Como é possível verificar, um mesmo tipo de embarcação pode realizar diferentes serviços, porém isso dificilmente ocorre. Há uma grande separação de frota de acordo com o serviço realizado, o que tende a causar um aumento da necessidade de frota.

A divisão em valor é mostrada na Figura 17.

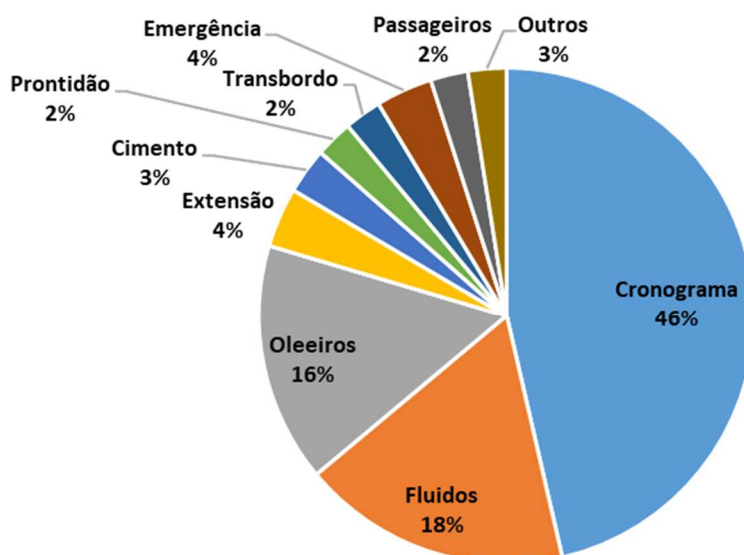


Figura 17. Divisão em valor das embarcações para cada serviço

Fonte: Elaborada pelo autor.

O presente estudo tratará apenas da frota das embarcações de Cronograma por se tratar da principal frota em termos de quantidade e custo.

5

Análise empírica

Neste capítulo, será realizada uma análise empírica do serviço atual de Cronograma, para identificar pontos de melhoria no planejamento tático da frota.

No subcapítulo 5.1 será mostrado um breve histórico com lições aprendidas na BC e BES. No subcapítulo 5.2 será descrito o modelo utilizado na BS e serão mostrados alguns exemplos de viagens realizadas. No subcapítulo 5.3 será realizada uma comparação dos diferentes modelos utilizados na empresa a partir de alguns parâmetros e, por fim, no subcapítulo 5.4 será mostrado como é feito o ordenamento portuário do Porto do Rio de Janeiro para verificar o impacto deste no dimensionamento da frota.

5.1. Histórico de modelos de atendimento nas Bacias de Campos e Espírito Santo

Por ser mais representativa, as melhorias logísticas sempre se iniciaram na BC e só posteriormente foram repassadas à BS. A BES, por ser menor e ser próxima à BC é hoje atendida em conjunto com a mesma.

No início de 2013, o porto de Macaé, de onde partiam os atendimentos para a BC, chegou a operar com 90% de ocupação, um valor extremamente alto. Devido a esse problema, em conjunto com uma reforma programada para o porto, foi instaurada a entrega por *clusters* no serviço de Cronograma, com a criação de rotas fixas com janelas de atendimento pré-determinadas para cada unidade e horários de fixos de saída para cada *cluster*, o que foi descrito por Leite et al. (2014). Os *clusters* foram formados sem a utilização de heurísticas ou métodos de roteamento mais robustos, apesar de em Leite (2012), o autor descrever uma metodologia para formação do *cluster*, isso não foi utilizado na prática. A clusterização (formação dos *clusters*) foi realizada apenas levando em conta as seguintes restrições:

- Separação de cliente (sondas e UEP não ficam nos mesmos *clusters*);

- Demanda das unidades (m² de carga solicitada pelas UM semanalmente);
- Tamanho do convés das embarcações (m²);
- Número de visitas por cliente (sondas tinham três visitas fixas por semana, enquanto que UEP tinham apenas duas).

Esse modelo, denominado de “Modelo de *Clusters* com Janelas Fixas” (MCJF) era bem rígido, não deixando margens a visitas para unidades que estivessem fora do *cluster*. Nessa época, o principal objetivo era ainda conseguir atender à crescente demanda obedecendo às restrições do porto e não propriamente otimizar a frota, apesar de que isso era uma das consequências do modelo desenhado.

Após a implantação, principalmente a partir de 2014, o cenário no Brasil e no exterior mudou drasticamente para a indústria de óleo e gás. Conforme relatado anteriormente, a crise da indústria trouxe um novo foco para a redução de custos, incluindo aí a logística *offshore*. Desse modo, diversas ações foram tomadas para otimizar o número de embarcações. Porém, ao mesmo tempo que otimizava a frota, existia a restrição dos tipos de embarcações já em contrato. Essa restrição era muito clara para PSV Fluideiros, pois os tanques dessas embarcações eram dedicados para a entrega de fluidos de perfuração e elas somente trabalhavam com sondas. Com a crise, o grande impacto de diminuição de demanda foi na área de exploração, com a diminuição do número de sondas operando e, conseqüentemente, a diminuição da necessidade de Fluideiros. Conforme os contratos de PSV iam terminando, a frota era naturalmente realocada para trabalhar dentro do Cronograma, porém essas embarcações não podiam operar com água devido à contaminação dos tanques.

Em 2015, houve uma mudança com objetivo de auxiliar o dia a dia operacional devido à frota disponível. Foi implantado então o “Modelo de Embarcações Dedicadas por *Cluster*” (MEDC). Sondas e UEP passaram a ter duas visitas de cronograma por semana e cada viagem tinha um limite de tempo de ciclo de 3,5 dias para que uma mesma embarcação pudesse realizar as duas viagens semanais do mesmo *cluster*. Isso, apesar de não auxiliar na redução de frota, trouxe outros ganhos, como por exemplo:

- Menor tempo de embarcação aguardando unidade marítima: quando uma UM “segurava” uma embarcação ela poderia não conseguir

realizar a próxima viagem do seu *cluster*, deixando de receber uma visita na semana;

- A embarcação conhecia a rota e o modo de operar de cada UM, fazendo com que o serviço fosse gradualmente melhor;
- Era possível alocar a embarcação mais adequada para cada rota: como cada embarcação tinha um tamanho de convés e tanque diferente, em *clusters* com maior demanda eram alocadas as maiores embarcações e antigos Fluideiros eram alocados em *clusters* com pouca demanda por água, já que muitas plataformas têm a bordo uma Unidade Dessalinizadora de Água, equipamento que filtra a água do mar para uso a bordo.

Esse modelo durou quase dois anos, porém no fim de 2016 foi implantado uma nova forma de rateio de custos. Até 2016, o custo logístico repassado às unidades marítimas era realizado em “tonelada quilômetro”. Ou seja, para cada viagem era calculada a distância e a quantidade de carga entregue e, com isso, era calculado posteriormente o preço daquela viagem. A partir de 2017, o preço da viagem passou a ser calculado em função do tempo gasto pela embarcação para realizar o atendimento. Isso é particularmente importante, pois faz com que as UM queiram que a embarcação passe menos tempo as atendendo, para diminuir o custo. Dessa forma, muitas unidades solicitaram a diminuição do número de visitas por semana, caindo em muitos casos para uma visita única por semana. Com isso, o MEDC deixou de ser utilizado, passando novamente a ser utilizado o MCJF, mesmo com o problema dos tanques das embarcações.

Com a mudança da base de atendimento da Bacia de Campos e Espírito Santo, de Macaé para Açu ainda em 2017, um novo cenário surgiu. No novo porto, havia a possibilidade de carregamento de diesel simultaneamente com carga geral. Dessa forma, foi possível implantar o modelo proposto por Moreira (2017), integrando o serviço de óleo diesel ao serviço de Cronograma, chamado de “Modelo de Entrega Multipropósito” (MEMP). Para esse modelo, também foram utilizadas janelas fixas, porém para o tempo de carregamento de diesel foi estabelecido uma janela máxima de carregamento, a partir do histórico de consumo de diesel de cada UM. Esse modelo está em vigor na BC e BES desde dezembro de 2017, passando ainda por alguns testes. Na Figura 18 é possível ver toda a cronologia dos modelos de atendimento desde 2013 a 2017 com suas principais características.

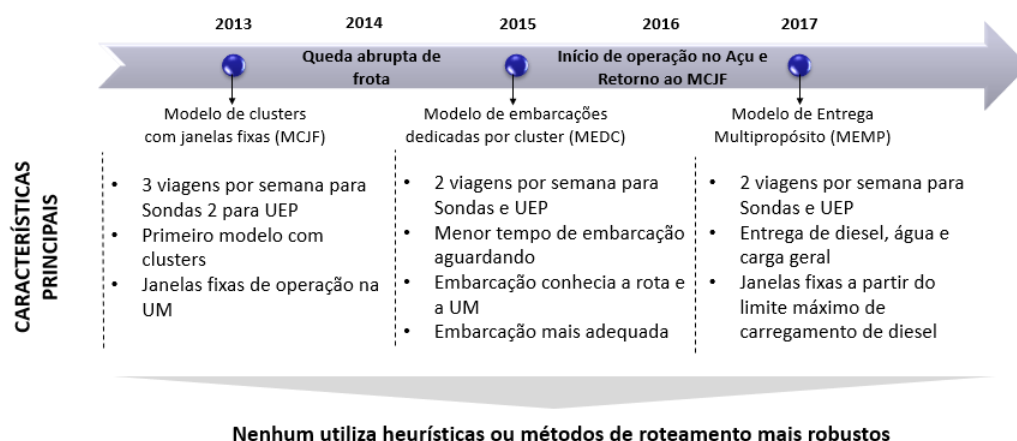


Figura 18. Cronologia dos modelos de atendimento na BC e BES

5.2.

O modelo de atendimento da Bacia de Santos

A Bacia de Santos, ao contrário da logística da Bacia de Campos e Espírito Santo, é atendida pelo Porto do Rio de Janeiro, como pode ser vista na Figura 19. As unidades mais distantes ficam a 300km do porto, o que dá em torno de 20 horas de navegação para um PSV. Neste porto não há entrega de diesel disponível, portanto, neste caso, ainda existe uma frota segregada de PSV Oleiros que carregam o diesel em navios tanques na bacia e depois levam para as UM. Esse porto tem horários mais rígidos para atracação e desatracação, devido à restrição nos horários de recebimento da carga no porto. Com isso, cada berço de atracação só suporta uma atracação por dia. Apesar dessa restrição, a disponibilidade de berços é, relativamente ao número de UM atendidas, muito maior do que no Porto do Açúcar, fazendo com que isso não seja uma restrição que impeça a operação.



Figura 19. Área de atendimento da Bacia de Santos.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com o sucesso dos modelos logísticos da Bacia de Campos, a logística da Bacia de Santos implantou também um modelo de atendimento que, em princípio, seria similar ao MCJF da Bacia de Campos, mas na verdade nunca chegou a utilizá-lo completamente. Segundo pesquisa realizada dentro da empresa, o MCJF não foi utilizado porque, ao contrário da Bacia de Campos, na Bacia de Santos o cliente é majoritariamente sondas, e essas mudam constantemente sua localização, impossibilitando de se praticar o modelo com janelas fixas. Já o MEDC nunca foi utilizado porque os tempos de ciclo na Bacia de Santos são muito maiores que na

Bacia de Campos, devido à distância das unidades, impossibilitando de fixá-lo em 3,5 dias.

Apesar de não seguir os modelos da Bacia de Campos, o modelo de atendimento da logística da Bacia de Santos tinha as mesmas bases: formação de *clusters* e formalização de um roteiro. Os *clusters* foram formados utilizando as mesmas restrições utilizadas na Bacia de Campos e foi estabelecido um roteiro de entrega. Porém, ao contrário do modelo da Bacia de Campos, esse modelo não obedece a um roteiro e janelas fixas, sendo criado então o “Modelo de *Clusters* com Roteiro Flexível” (MCRF). Nessa abordagem mais flexível considera-se que a janela de atendimento em cada UM varia de viagem a viagem de acordo com o tipo de carga, quantidade de lingadas e necessidade por água. Para auxiliar o cliente, a operação divulga um roteiro padrão previamente e, pouco antes de a embarcação sair, ela atualiza o roteiro, tempos e janelas a serem cumpridas de acordo com as cargas a bordo e o tempo navegação previsto. Caso o planejamento inicial divulgado sofra alterações de mais de 2 horas em relação ao planejado, os tempos são recalculados e os clientes atualizados.

Para exemplificar essa operação, vejamos na Tabela 1Tabela 2 o roteiro da viagem de uma embarcação para um *cluster* na Bacia de Santos em janeiro de 2017. O *cluster* é composto pelas unidades marítimas A, B, C e D. É importante desde já diferenciar o que é visita e o que é viagem no texto. Viagem é todo o percurso da embarcação, desde a saída até o retorno ao porto. Visitas são as paradas da embarcação em cada UM. Portanto, cada viagem tem mais de uma visita podendo inclusive haver mais de uma visita por UM.

Tabela 2. Exemplo de um roteiro com revisitas na Bacia de Santos.

Sequência do Roteiro	Planejado	Realizado
1ª	A	A
2ª	B	B
3ª	C	C
4ª	D	D
5ª		A
6ª		B
7ª		C
Duração Total	120h	164h

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme a Tabela 2, após a visita de todas as unidades marítimas, a embarcação retornou à primeira e reiniciou o *cluster*, visitando pela segunda vez três das quatro unidades. Isso se deve pela priorização da carga. As UM priorizam uma determinada carga, geralmente rancho, e a embarcação entrega primeiro a carga prioritária e, caso não consiga entregar o restante, vai para a próxima UM para realizar a entrega e, assim em diante, até que a embarcação tenha que retornar para realizar a entrega restante. Nesse exemplo, as UM A, B e C tinham cargas prioritárias. Na primeira visita a elas, somente essas cargas foram entregues, passando na sequência para a UM D, que só tinha cargas de *backload*, e posteriormente retornando para as três primeiras UM para retirar o *backload* e entregar algumas cargas restantes. A viagem tinha uma duração máxima prevista de 120 horas, porém durou 164,17 horas, um aumento no tempo de ciclo de 38%.

Outro problema encontrado nesse modelo, é a falta de aderência aos *clusters* planejados, ou seja, apesar de haver uma definição dos *clusters*, em diversas viagens foi constatado que a embarcação visita UM de *clusters* distintos. Apenas em 46% dos casos, a embarcação visitou somente UM do *cluster* planejado, chegando nos demais casos a visitar UM de 4 *clusters* diferentes, misturando inclusive sondas com UEP. Abaixo, na Tabela 3, segue um roteiro como exemplo.

Tabela 3. Exemplo de um roteiro com embarcações de diferentes *clusters* na Baía de Santos.

Sequência do Roteiro	UM	Cluster	Tipo
1ª	A	1	Produção
2ª	B	1	Produção
3ª	C	2	Navio Especial
4ª	D	1	Produção
5ª	E	2	Navio Especial
6ª	F	2	Navio Especial
7ª	G	1	Produção
8ª	H	3	Sonda
9ª	I	4	Sonda
10ª	J	5	Sonda

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste exemplo, o *cluster* planejado para sair seria o *cluster* 1, com apenas UEP. Porém, a embarcação visitou mais 5 UM de 3 *clusters* diferentes, sendo 3 embarcações especiais e 2 sondas de 2 *clusters* diferentes. O tempo de ciclo planejado, a partir das cargas que a embarcação estava levando, era de apenas 50 horas, porém o tempo de ciclo total foi de aproximadamente 89 horas, um aumento de 78%. Neste exemplo não houve revisita, a sonda H teve apenas abastecimento de água e a sonda I abastecimento de diesel. Segunda a operação, esse *cluster* teve uma demanda muito baixa nessa viagem, e por isso estava com tempo para realizar outras atividades. O abastecimento de diesel, segundo a operação, foi realizado por segurança, dado que os PSV Oleiros estavam fazendo outro abastecimento e a embarcação tinha diesel disponível.

5.3. Comparação entre modelos

A Tabela 4 mostra uma comparação entre os diferentes modelos utilizados pela Petrobras. Os parâmetros escolhidos para realizar a comparação foram:

- Tipo de modelo;
- Tempo de ciclo;
- Número de UM visitadas por viagem;

- Número total de visitas por viagem;
- Viagens por semana para UEP;
- Viagens por semana para sondas;
- Tempo aguardando por UEP por viagem;
- Tempo aguardando por sonda por viagem;
- Produtividade da frota.

Para todos os parâmetros são mostradas a média e, em na maioria dos casos, também o desvio padrão. São mostrados também o número de amostras e o número de UM para cada caso. Para o cálculo, foram utilizadas apenas as viagens das embarcações de Cronograma.

Para realizar a comparação, foram utilizados dados de Leite (2012) e dados calculados entre 2016 (MEDC) e 2017 (MCJF) para a Bacia de Campos e em 2017 (MCRF) apenas para a Bacia de Santos, de modo a mostrar a evolução dos modelos de atendimento.

Tabela 4. Comparação entre modelos de planejamento logístico.

Parâmetros	Bacia de Campos e Espírito Santo			Bacia de Santos		Golfo do México
	Leite (2012)	2016	2017	Leite (2012)	2017	Kaiser (2015)
Tipo de Modelo	Não especificado	MEDC	MCJF	Não especificado	MCRF	MEMP
Tempo de Ciclo (dias)	6,0 (4,5)	4,4 (1,7)	4,1 (1,4)	7,0 (5,4)	4,8 (1,8)	
Número de UM visitadas por viagem	9,8	4,5 (1,5)	3,8 (1,1)	4,3	3,8 (1,2)	
Número total de visitas por viagem	14,2	6,0 (2,6)	6,6 (2,7)	5,6	8,6 (3,1)	
Tempo aguardando por UEP por viagem (horas)	-	3,4 (4,7)	3,1 (4,6)	-	3,5 (5,1)	
Tempo aguardando por sondas por viagem (horas)	-	2,9 (3,9)	3,1 (4,6)	-	7,9 (12,1)	
Viagens por semana para UEP	4,7 (1,1)	2,1 (0,4)	1,7 (0,5)	2,1(0,3)	3,6 (5,6)	3,5
Viagens por semana para sondas	4,7 (1,5)	1,9 (0,5)	1,8 (0,5)	1,1 (0,5)	2,1 (0,4)	3,0
Produtividade	-	59%	56%	-	57%	
Número de amostras	2014	2089	1811	577	777	Estimado
Número de Sondas	~75	15	12	~25	18	
Número de UEP		69	63		14	

Fonte: Elaborado pelo autor.

O tempo de ciclo diminuiu muito de 2012 para 2017, tanto para Bacia de Campos quanto para Bacia de Santos. Isso se deve à implantação dos *clusters* nas bacias. Até 2012 não haviam *clusters* e as viagens tinham longas durações com inúmeras visitas. Um ponto interessante é o tempo de ciclo do MEDC na Bacia de Campos. O princípio do modelo é fazer com que a embarcação retorne com até 3,5 dias, porém a média do tempo de ciclo foi de 4,4 dias. Ou seja, apesar dos ganhos informados pela equipe de operação, o modelo não obteve êxito completo na sua implantação.

O número total de UM visitadas por viagem diminuiu muito na Bacia de Campos, passando de 9,8 UM por viagem para 4,4 com o MEDC e 3,8 com o MCJF. Da mesma forma na Bacia de Santos, o número diminuiu de 4,3 para 3,8.

Já com o número total de visitas por viagem, na Bacia de Campos em 2012 se faziam em média 14,2 visitas, passou para 6 com o MEDC e depois aumentou para 6,6 com o MCJF. Provavelmente nesse caso, a pressa para terminar a viagem devido ao limite de tempo de ciclo fazia com que houvessem menos revisitas. Já na Bacia de Santos o resultado piorou muito. Em 2012, eram feitas em média 5,6 visitas por viagem e passou para 8,6 visitas por viagem. Como o número de UM visitadas diminuiu em média por viagem, pode-se deduzir que a prática de revisita para as unidades virou comum na Bacia de Santos, onerando o tempo de navegação das embarcações.

O tempo médio que a embarcação fica aguardando para começar a operar com a UM ficou entre 2,9 horas e 3,4 horas na Bacia de Campos e não houve muita diferença entre sondas e UEP. Já na Bacia de Santos, o tempo para UEP foi de 3,5 horas e 7,9 horas para sondas, o que é um número muito grande. Fazendo uma conta simples, dado que um ciclo médio tem 4,8 dias e são visitadas em média 3,8 UM por viagem, e para cada UM a embarcação deve aguardar 7,9 horas em média, isso equivale a aproximadamente 30 horas aguardando por viagem, ou 26% do tempo médio de ciclo da embarcação. Ou seja, a falta de aderência aos *clusters* planejados e o excesso de revisitas durante a própria viagem se refletem em um tempo de espera muito grande da embarcação até realizar o serviço. Nesse valor ainda não está o tempo de aproximação das embarcações, que é o tempo que a embarcação precisa para fazer o “Teste de DP” (*Dynamic Position*). Esse teste é feito sempre que uma embarcação chega a uma UM para operar com ela e consiste na verificação da força, velocidade e direção do vento e das correntes marítimas para ajustar a

embarcação antes do início da operação. Esse teste demora em torno de 1 hora e é obrigatório para que se inicie a operação. Ou seja, o excesso de revisita contribui muito para o aumento do tempo de ciclo das UM.

O número de viagens por semana para as UEP diminuiu para mais da metade após a implantação dos clusters na Bacia de Campos, passando de 4,7 para 2,1 e, posteriormente, para 1,7 viagens por semana. Da mesma forma ocorreu com o número de viagens para sondas, passando de 4,7 para 1,9 e, posteriormente, 1,8 viagens por semana. Na Bacia de Santos o valor para UEP alterou muito, passando de 2,1 para 3,6. Para sondas, o número médio de visitas por semana aumentou de 1,1 para 2,3. Esse número de 2012 é particularmente questionável, porque é muito improvável que as sondas recebessem tão poucas visitas dado a quantidade de carga necessária para sua operação, em geral maiores que as cargas das UEP. Em entrevistas realizadas internamente, uma das hipóteses levantadas foi de que nem todas as viagens eram contabilizadas como viagens de Cronograma.

Apenas para efeitos de comparação, foram também mostrados na tabela o número utilizado por Kaiser (2015) para número de viagens no Golfo do México, com UEP tendo 3,5 viagens e sondas 3. Lá, o modelo utilizado é o MEMP, porém um pouco diferente do modelo utilizado na Bacia de Campos. Nesse modelo, não há diferenciação de embarcações de fluidos, carga geral ou diesel. Todas as embarcações estão aptas a levar tudo. Dessa forma, o número de viagens por semana para as UM é maior do que o realizado na Petrobras nas bacias brasileiras. Isso pode levar a um engano de que no Brasil é necessário menos viagens para atender as UM, mas na verdade a operação fora ainda é mais otimizada. Portanto, para a comparação com outros países ou empresas é necessária uma adequação nos números para obter o resultado mais próximo da realidade. Por exemplo, na Bacia de Campos, considerando todos os tipos de embarcações, a Petrobras fez em 2017 8 viagens por semana para UEP e 3,5 viagens por semana para sondas. Já na Bacia de Santos o número foi de 5,3 para UEP e 6,5 para sondas. Ou seja, a Petrobras visita muito mais suas UM, muito em consequência de sua segregação de frota. Isso gera mais frota utilizada e mais tempo perdido pelas UM para atender as embarcações.

O último parâmetro comparado foi a produtividade das embarcações. A produtividade é medida pelo tempo em que a embarcação fica desempenhando atividades relacionadas com a operação, como por exemplo a navegação entre e

para UM e a operação de carregamento e descarregamento de cargas nas UM e no porto. O tempo em que a embarcação fica parada devido ao mau tempo não entra no cálculo. São exemplos de tempo improdutivo o tempo de fundeio e o tempo aguardando UM. Nos três casos estudados, não há grande diferença na produtividade da embarcação, mostrando que os modelos nesse quesito são equivalentes.

5.4.

Ordenamento portuário do Porto do Rio de Janeiro

Além do modelo de atendimento diferente, o Porto do Rio de Janeiro, como comentado anteriormente tem restrições de horários que não existem no Porto do Açu ou no Porto de Macaé afetando assim seu ordenamento portuário. Ordenamento portuário pode ser entendido como a organização de horários de entrada e saída de embarcação no porto para recebimento de cargas para cada um dos *clusters* atendidos por aquele porto, mostrando assim a ocupação real do porto. Um exemplo de ordenamento portuário pode ser visto na Figura 20. Neste exemplo, o porto tem 3 berços disponíveis durante toda a semana, totalizando 504 horas de disponibilidade. Esse porto atende somente 3 clusters com 2 saídas por semana cada. Cada atracação dura 16 horas, totalizando 96 horas de utilização. Com isso, a ocupação do porto está em cerca de 19%.

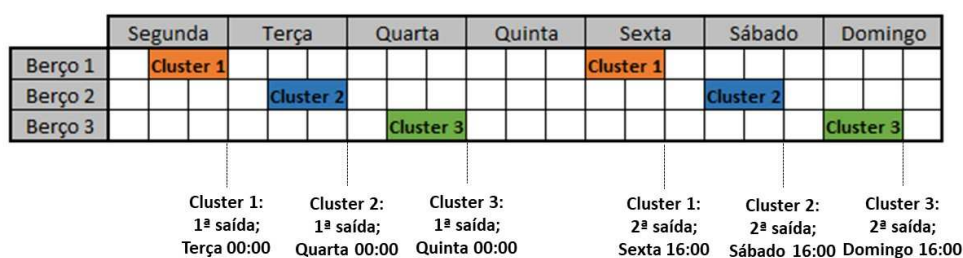


Figura 20. Exemplo de ordenamento portuário.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para fazer o ordenamento portuário, primeiramente é necessário conhecer as restrições do porto. Como relatado anteriormente, a operação no porto do Rio de Janeiro tem limitações que fazem com que haja somente uma atracação por dia em cada berço. Essa restrição se deve principalmente a três motivos: janela de entrega da carga no porto, falta de espaço de retro área no porto e a não permissão de filas de caminhões dentro do porto. A janela de entrega de cargas no porto é extremamente grande, chegando a 10 horas, devido a diversos problemas internos da empresa que não serão escopo deste trabalho. Todos os caminhões devem realizar as entregas de 17h do dia anterior até às 3h do dia de saída do cronograma. A janela de atracação começa entre 6h e 8h e vai até 18h, quando são iniciadas as viagens.

Para exemplificar, temos na Figura 21 o ordenamento portuário com as saídas dos *clusters* da operação do Rio de Janeiro em julho de 2017. É possível verificar que somente 3 berços, dos 6 disponíveis, eram utilizados e não haviam saídas aos domingos. Isso se dava não a uma restrição específica do porto, mas sim para facilitar a operação colocando viagens extras e de emergências nos outros berços ou aos domingos quando necessário.

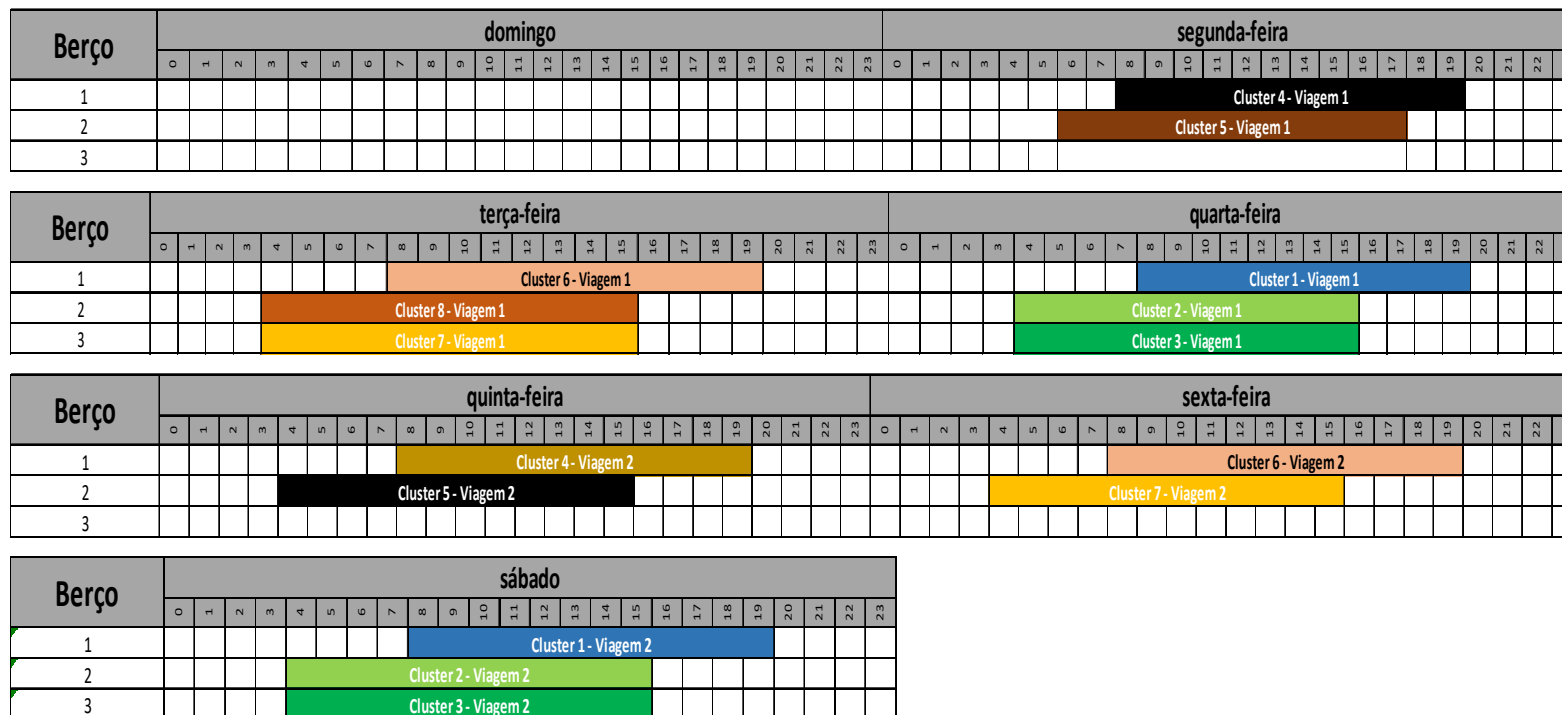


Figura 21. Ordenamento portuário do Porto do Rio de Janeiro em julho de 2017.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir desse ordenamento, surgiu a dúvida se, de alguma forma, ele poderia causar impacto na frota. Para isso, inicialmente foram calculados os tempos de ciclo de cada *cluster*. Foi optado por não utilizar dados históricos, pois como foi visto anteriormente, as viagens realizadas não obedecem aos *clusters* reais em mais de 50% dos casos. Os tempos de ciclo foram calculados a partir da demanda de carga histórica das unidades e o tempo de operação por lingada (movimento do guindaste da plataforma para pegar a carga na embarcação e colocá-la no seu convés e vice-versa) em cada plataforma e no porto, além dos tempos de navegação do porto à primeira plataforma, navegação entre plataformas e navegação da última plataforma atendida até o seu retorno ao porto.

A partir dos dados, foi rodada uma simulação no *Software Microsoft Excel* utilizando-se o Método de Monte Carlo (MMC) para variação dos tempos de ciclo de cada *cluster*. Para cada *cluster* foram gerados 1.000 valores de tempos de ciclo. Na Tabela 5, temos o percentil 90 (P90) dos tempos de ciclo calculados para cada *cluster*, ou seja, o valor tal que 90% dos dados da amostra são menores do que ele.

Tabela 5. Tempos de ciclo limite dos *clusters*.

Viagem	Viagens por semana	P90 do Tempo de Ciclo	Tempo de Ciclo considerado
1	2	104 h	110 h
2	2	108 h	110 h
3	2	96 h	100 h
4	2	118 h	120 h
5	2	112 h	120 h
6	2	115 h	120 h
7	2	120 h	120 h
8	1	118 h	120 h

Fonte: Elaborada pelo autor

Com esses tempos, foi realizada na Figura 22 uma análise da frota máxima necessária para realizar todas as viagens considerando o um tempo de ciclo limite, mostrado na última coluna da Tabela 5. Por exemplo, o primeiro *cluster* a sair na semana é o cluster 5 na segunda feita às 17h. Como ele tem um tempo de ciclo limite de 120 horas, a embarcação poderia voltar até às 17h do sábado e só então estaria apta para realizar uma nova viagem.

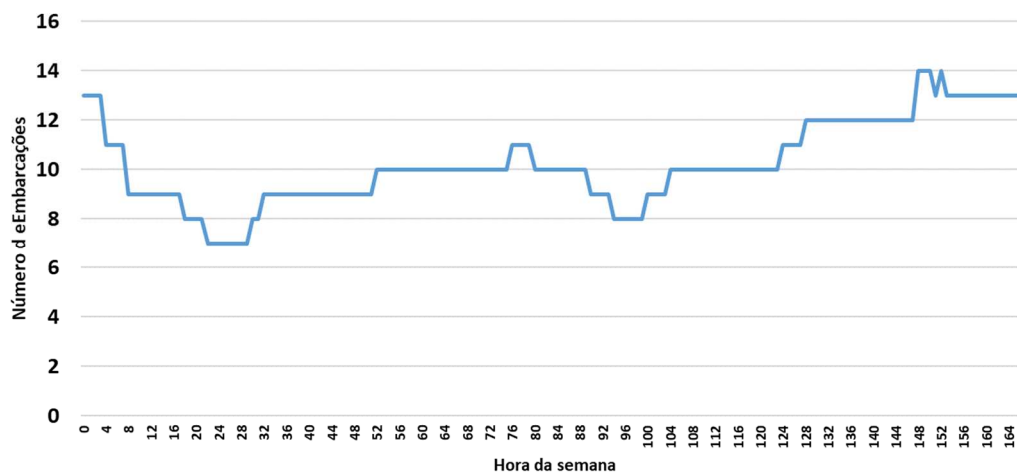


Figura 22. Frota máxima necessária para realização das viagens.

Fonte: Elaborada pelo autor.

É possível verificar na Figura 22 que, considerando esses tempos de ciclos máximos, o maior número de embarcações utilizadas ao mesmo tempo seriam 14. Porém, também é possível verificar que o mínimo de embarcações utilizadas é de apenas 7. Uma diferença de 100%.

Nas Figura 23 e Figura 24, foi realizada uma análise inversa, fixando a frota em 15 embarcações, valor utilizado pela logística na época, e analisando o número de embarcações no fundeio durante a semana. Em 32% da semana, 5 embarcações estão fundeio, porém existem períodos com 8 embarcações no fundeio e períodos com apenas uma embarcação.

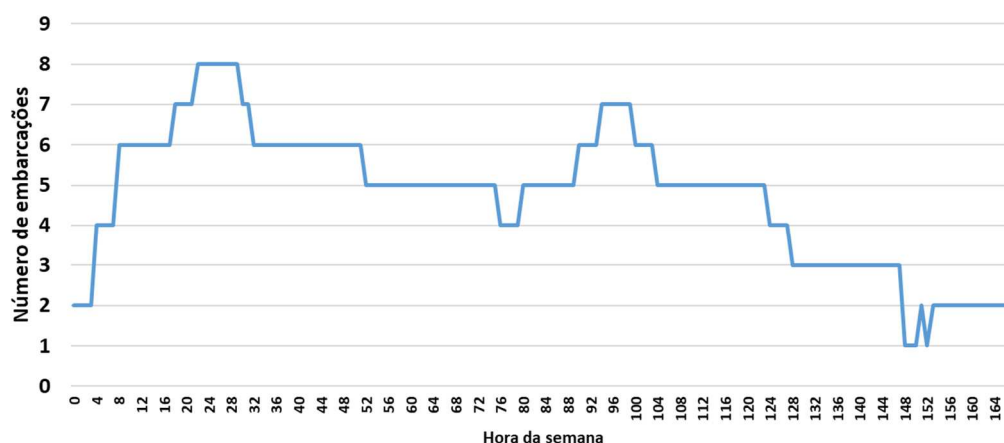


Figura 23. Frota disponível no fundeio durante a semana. Fonte: Elaborada pelo autor.

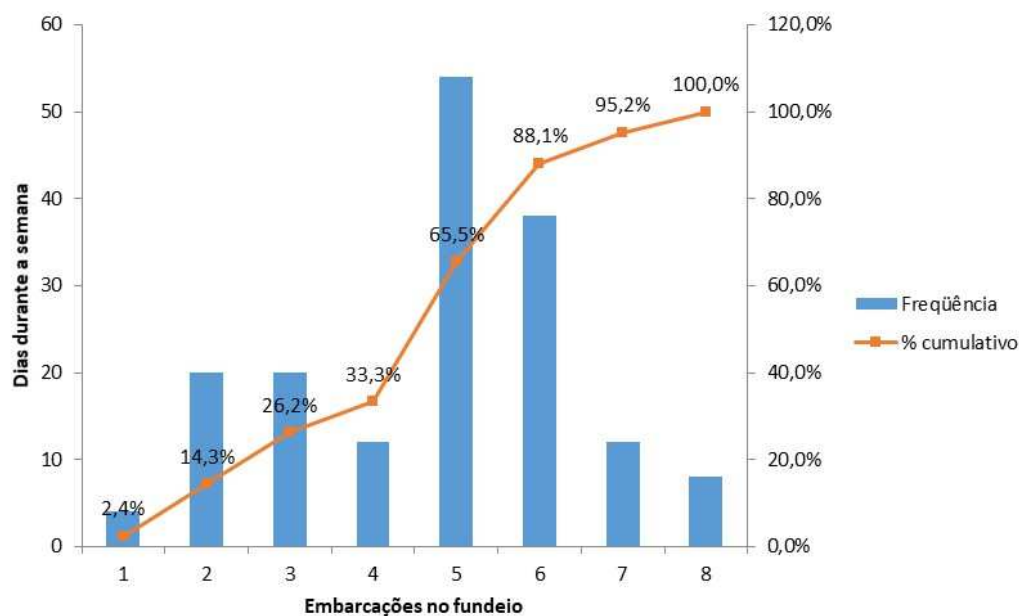


Figura 24. Histograma de quantidade de embarcações no fundeio durante a semana.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com esses dados, é possível comprovar que o ordenamento portuário impacta diretamente na necessidade de frota. No caso acima, caso a empresa tenha mais de 14 embarcações disponíveis, como era o caso na época, esse problema tende a não aparecer, mesmo com erros operacionais. Porém, a medida que a frota diminui, mesmo com o cumprimento integral do planejamento por parte da operação, haverá período de falta de embarcação. Dessa forma, é importante que as saídas das embarcações do porto sejam dimensionadas de forma que o número de embarcações utilizadas seja otimizado.

Proposta de modelo de planejamento tático para a logística da Bacia de Santos

Com as análises realizadas no capítulo anterior, ficou evidente que as operações na Bacia de Santos ainda poderiam ser melhoradas, do ponto de vista de controle e custo. Como visto nos subcapítulos 5.2 e 5.3, o modelo de rotas flexíveis tinha a intenção de se adequar a cada situação visando atender às necessidades dos clientes e considerando as peculiaridades de cada atendimento. Porém, na realidade, o que se observou foi uma falta de planejamento adequado levando ao não cumprimento dos *clusters* que haviam sido pré-definidos em prol do atendimento ao cliente, o que, em tese, não é errado. Entretanto, em um cenário de diminuição extrema de frota, isso pode afetar o cumprimento de todas as viagens.

Além disso, a falta de uma adequada ferramenta para formar os *clusters* foi evidenciada nas duas Bacias. Com isso, os tempos de ciclos tendem a ser maiores do que o necessário, fazendo a embarcação navegar mais e gerando eventualmente mais frota.

Já o ordenamento portuário é muito falho no porto do Rio de Janeiro, impactando diretamente na necessidade de frota. O fato de não operar aos domingos, aliado à não adequação dos *clusters* e à falta de controle da viagem da embarcação, causa um aumento de necessidade de frota.

Dessa forma, foi elaborado internamente na empresa um modelo de planejamento tático que contempla um algoritmo de roteirização e um algoritmo de ordenamento portuário. O modelo tem como finalidade o dimensionamento da frota de embarcações de Cronograma. Para elaborar o modelo, foi utilizado tanto a revisão bibliográfica realizada quanto a análise empírica do capítulo anterior. O autor do texto teve participação ativa na elaboração do modelo, contando com a ajuda de outros profissionais da empresa. Não é a intenção deste trabalho passar por todos os detalhes operacionais, portanto, para a utilização desse modelo em outras localidades, deverá ser realizada uma adequação de acordo com a bacia de trabalho, o tipo de embarcação utilizada e a realidade da empresa no momento.

O objetivo principal do modelo é diminuir a quantidade de embarcações utilizadas para o transporte de carga geral e água e isso passa diretamente pela reformulação da clusterização e do ordenamento portuário.

O modelo pode ser utilizado com qualquer um dos modelos explicados no subcapítulo 5.1. Já para o modelo explicado no subcapítulo 5.2 deve-se ficar atento ao cumprimento do tempo de ciclo de cada *cluster*, pois isso é de suma importância para a eficácia do modelo.

Para demonstrar o novo modelo, o capítulo foi dividido em 4: no subcapítulo 6.1 foi feita uma breve introdução ao modelo proposto. No subcapítulo 6.2 será apresentada a nova clusterização desenvolvida utilizando o método de algoritmos genéticos buscando diminuir o tempo de navegação. Um novo ordenamento portuário será mostrado no subcapítulo 6.3 utilizando a análise do subcapítulo 5.4 como base. Por fim, no subcapítulo 6.4, serão mostrados os ganhos após a aplicação do modelo.

6.1.

Introdução ao modelo

Para o dimensionamento da frota de cronograma são realizadas duas etapas: clusterização e o ordenamento portuário. A clusterização vai gerar os *clusters* mais otimizados e, a partir deles, são calculados os tempos de ciclo utilizados no ordenamento portuário.

Para realizar a clusterização e o ordenamento portuário, são necessários inicialmente dos dados de entrada. Alguns dados são recebidos dos clientes, outros são negociados e outros podem ser levantados pela área operacional. Abaixo há um resumo dos dados mais importante necessários:

- Número de unidades e posição geográfica: o número real e o posicionamento das unidades, especialmente sondas, varia muito com o planejamento realizado, portanto é necessário negociar com os clientes uma previsão mais assertiva;
- Consumo por unidade: muitas vezes, o estudo do consumo das unidades baseado somente em dados históricos pode levar a erros de interpretação devido a um período de ociosidade ou excesso de consumo devido a uma operação específica. Portanto, é preciso

verificar e comparar unidades parecidas para definir o consumo futuro;

- Tempo aguardando unidade: Como foi visto no subcapítulo 5.3, esse tempo chegava a ser 26% do tempo de ciclo de uma embarcação na Bacia de Santos. Até 2016, as UM não priorizavam o atendimento da embarcação, dado que isso não seria refletido diretamente no custo da viagem. Com a nova forma de rateio de custos, foi possível estabelecer um tempo máximo que a embarcação fica aguardando a unidade a cada visita. Porém, isso ainda deve ser melhorado.
- Intervalo entre visitas: Como já mencionado, até 2016 o número de visitas era fixo em duas vezes por semana para todas as unidades. A partir de 2017, foi possível estabelecer a diminuição para uma visita por semana para algumas unidades, como forma de diminuir custo. Porém isso só aconteceu inicialmente na Bacia de Campos;

6.2.

Clusterização utilizando o método de algoritmo genético

A clusterização contempla um algoritmo de roteirização utilizando o método de algoritmo genético e simulação de Monte Carlo, alimentada com os dados de entrada do subcapítulo anterior, as regras para a formação de um *cluster* e alguns parâmetros a serem definidos. Em seguida, gera-se os dados de saída necessários para o cálculo dos tempos de ciclos.

Para cada tipo de cliente é necessário realizar uma clusterização, de forma que as unidades desse cliente fiquem no mesmo *cluster*. Por exemplo, na Petrobras, na Bacia de Campos existem 4 clientes. Um de sondas e 3 de unidades de produção. Com isso, são necessárias 4 clusterizações diferentes. Essa separação pode gerar resultados piores, mas é importante no dia a dia operacional, principalmente na negociação de urgências, prioridades e para o caso de mudanças de sondas, que assim não afetam a programação das unidades de produção. Com os novos projetos de Concessão e Partilha, com diferentes empresas atuando em cada bloco, tende a aumentar ainda mais o número de clientes diminuindo a eficácia do atendimento em *pool*.

6.2.1. Representação dos cromossomos

As possíveis soluções do problema a ser otimizado são representadas por estruturas de dados chamadas cromossomos. Nesse trabalho, a solução foi dividida em dois tipos de cromossomos:

1. Cromossomo Rota: cada gene desse cromossomo representa uma UM. Ele define a sequência de UM a serem visitadas;
2. Cromossomo Porto: O gene de cada posição desse cromossomo representa o mesmo gene do Cromossomo Rota, porém com valor de 0 ou 1 representando o início e o fim do *cluster*, ou o momento em que a embarcação deve ir ao porto.

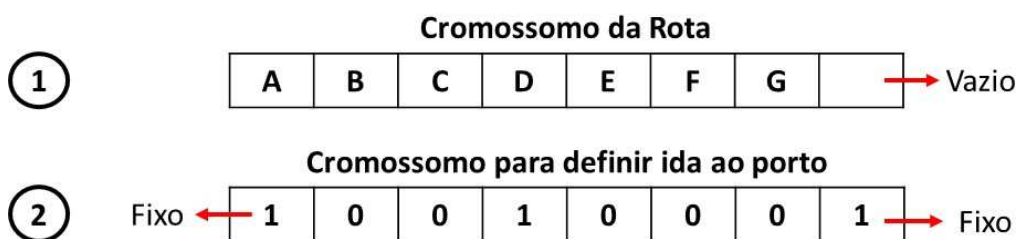


Figura 25. Cromossomos de Rota e Porto.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Apesar da existência dos dois tipos de cromossomo, eles atuam de forma conjunta para a solução do problema. Os dois tipos de cromossomos têm $n+1$ variáveis, sendo n o número de unidades marítimas do cliente em questão. Cada gene do Cromossomo Rota representa uma UM, sendo o último gene fixo vazio. Já o Cromossomo Porto é do tipo binário, onde 1 representa a ida ao porto e 0 representa a ida para a próxima UM. Como uma viagem sempre começa e termina no porto, o primeiro e o último cromossomo são fixados com o valor 1. No exemplo da Figura 25, temos dois clusters formados: ABC e DEFG.

De forma mais simples, o Cromossomo Rota coloca todas as UM em sequência, como se uma embarcação pudesse visitá-las todas na mesma viagem formando um único *cluster*. Já o Cromossomo Porto informa quando a embarcação deve ir ao porto para pegar carga e assim continuar atendendo as UM. Voltando ao exemplo da Figura 25, o Cromossomo Rota formou um *cluster* único ABCDEFG, porém devidos às restrições (ex: espaço de convés na embarcação), que são

representadas no Cromossomo Porto, a embarcação não consegue atender esse cluster único em uma viagem e deve voltar ao porto após atender a UM C, formando portanto o cluster ABC. Posteriormente, as restrições do Cromossomo Porto avaliam a sequência de unidades do Cromossomo Rota e, como é possível atender todas as UM restantes, o cluster é como com as unidades DEFG.

6.2.2.

Função de avaliação do problema

A função de avaliação é responsável por atribuir um valor de aptidão ao cromossomo. Nesse caso, a aptidão é medida pelo tempo total gasto navegando e, operando com carga e água, obedecendo as restrições impostas. Caso o indivíduo formado (considerando os cromossomos Rota e Porto em conjunto) não atenda às restrições, ele é considerado não apto e uma penalidade a ele é imposta, aumentando o tempo total. Os indivíduos considerados mais aptos são aqueles que têm o menor tempo total. A função de avaliação segue descrita abaixo:

$$f = T_{nav} \quad (1)$$

Onde:

T_{nav} : Tempo de navegação, em [h]

Sujeito às seguintes restrições por cluster:

- Número máximo de unidades;
- Quantidade máxima de carga;
- Quantidade máxima de diesel;
- Tempo de ciclo máximo.

6.2.3.

Geração da população inicial

Segundo Soares (2006), a geração da população inicial pode ser feita de duas formas: por meio de uma heurística ou aleatoriamente. Segundo Reeves (1995), ao se utilizar uma heurística para direcionar a geração da população inicial, o algoritmo genético pode chegar a solução mais rápidas e melhores quando comparadas ao

processo de geração aleatório. Dessa forma, para iniciar a resolução do problema, ao primeiro cromossomo do tipo 1 é aplicado o método de Clarke e Wright (Clarke e Wright, 1964), conforme foi apresentado por Leite (2012). O método de Clarke e Wright é um método heurístico clássico para resolução de problemas de roteamento de veículos. De acordo com o método, as restrições associadas com as rotas são a capacidade do veículo e a duração da viagem. Além destas, é imposta como restrição também a quantidade de unidades por cluster, com no máximo 5 para unidades de produção e 4 para sondas e a distância máxima entre UM (50 milhas náuticas). A capacidade da embarcação é limitada em 75% do convés de um PSV 4500 (~600m²). Esse valor é um valor padrão da indústria marítima offshore, e considera as perdas pela não padronização da carga e a necessidade de espaço para os marinheiros andarem pelo convés.

Além da solução dada pelo método de Clarke e Wright, são criadas 3 soluções aleatórias, para serem associadas à primeira.

6.2.4. Definição dos operadores de *crossover* e mutação

Segundo Konak et al. (2006), o operador mais importante dos operadores genéticos é o operador de *crossover* (ou cruzamento). Este é o método onde os indivíduos se combinam para formar novos indivíduos (filhos) e, aplicando iterativamente este operador, é esperado que indivíduos melhores apareçam na população. Existem diversos métodos de *crossover* e estes diferem na forma como os pais são combinados para gerar os filhos. Para o Cromossomo Porto foi selecionado o cruzamento de um ponto, onde o ponto de corte é escolhido aleatoriamente. Até o ponto de corte os genes do filho pertencerão a um pai e depois dele pertencerão ao outro. A Figura 26 mostra o funcionamento.

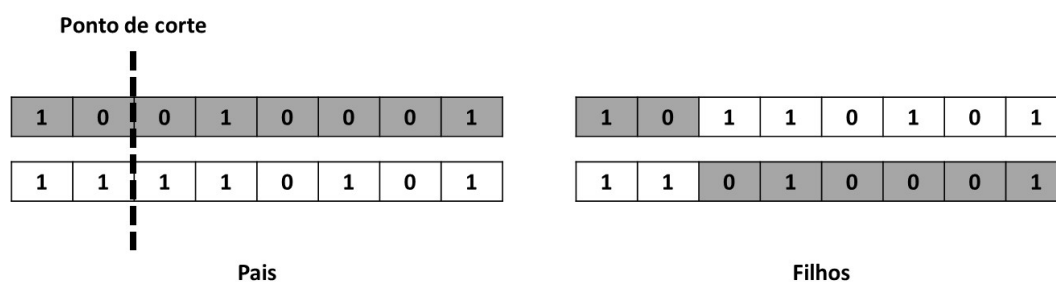


Figura 26. Funcionamento do *crossover* do cromossomo Porto.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Já para o Cromossomo Rota, o método de crossover foi o *cycle crossover* (CX). Nele, são gerados dois filhos através de dois pais sendo que cada gene de um descendente é preenchido por um gene na mesma posição correspondente a um dos pais (Oliver et. al., 1987). A escolha foi baseada no estudo de Nery (2017). Nesse estudo, o autor compara diversas formas de *crossover* aplicados ao problema do caixeiro viajante. Embora o CX não tenha os melhores resultados, ele é relativamente simples de ser implementado e funciona bem para até 52 locações, o que para o problema em questão é suficiente. Na Figura 27 há uma demonstração de como funciona o CX.

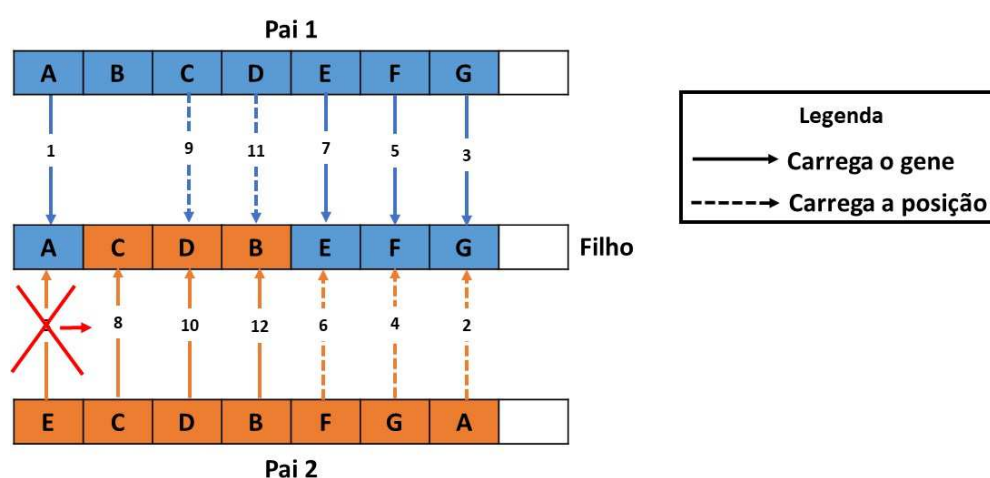


Figura 27. Funcionamento do *crossover* do cromossomo Rota. Fonte: Elaborada pelo autor.

No exemplo acima, o Pai 1 inicia o crossover preenchendo o primeiro gene do Filho com o seu primeiro gene A. Posteriormente verifica-se em qual posição esse gene está no Pai 2. No exemplo, o gene A está na sétima posição do Pai 2. Com isso, a sétima posição do Filho é preenchida pelo sétimo cromossomo do Pai 1. Os passos se repetem sequencialmente até que o ciclo se fecha com o gene E do Pai 2. Posteriormente um novo ciclo se inicia, dessa vez com o pai 2 e o seu primeiro gene que ainda não está presente no Filho. No exemplo, foi o gene C. Da mesma forma que no primeiro ciclo, os genes do cromossomo do filho vão se completando até o fim do processo. Para o segundo filho o ciclo se inverte, iniciando-se com o Pai 2.

Outro operador genético a ser utilizado é a mutação. Esse operador introduz mudanças aleatórias nos indivíduos formados, reintroduzindo a diversidade genética e auxiliando o algoritmo a fugir de mínimos ou máximos locais (Konak et

al.2006). Tanto para o cromossomo de Rota quanto para o de Porto, é definida uma probabilidade p para a mutação de cada gene do filho formado.

6.2.5. Formulação

O passo a passo da formulação pode ser visto na Figura 28:

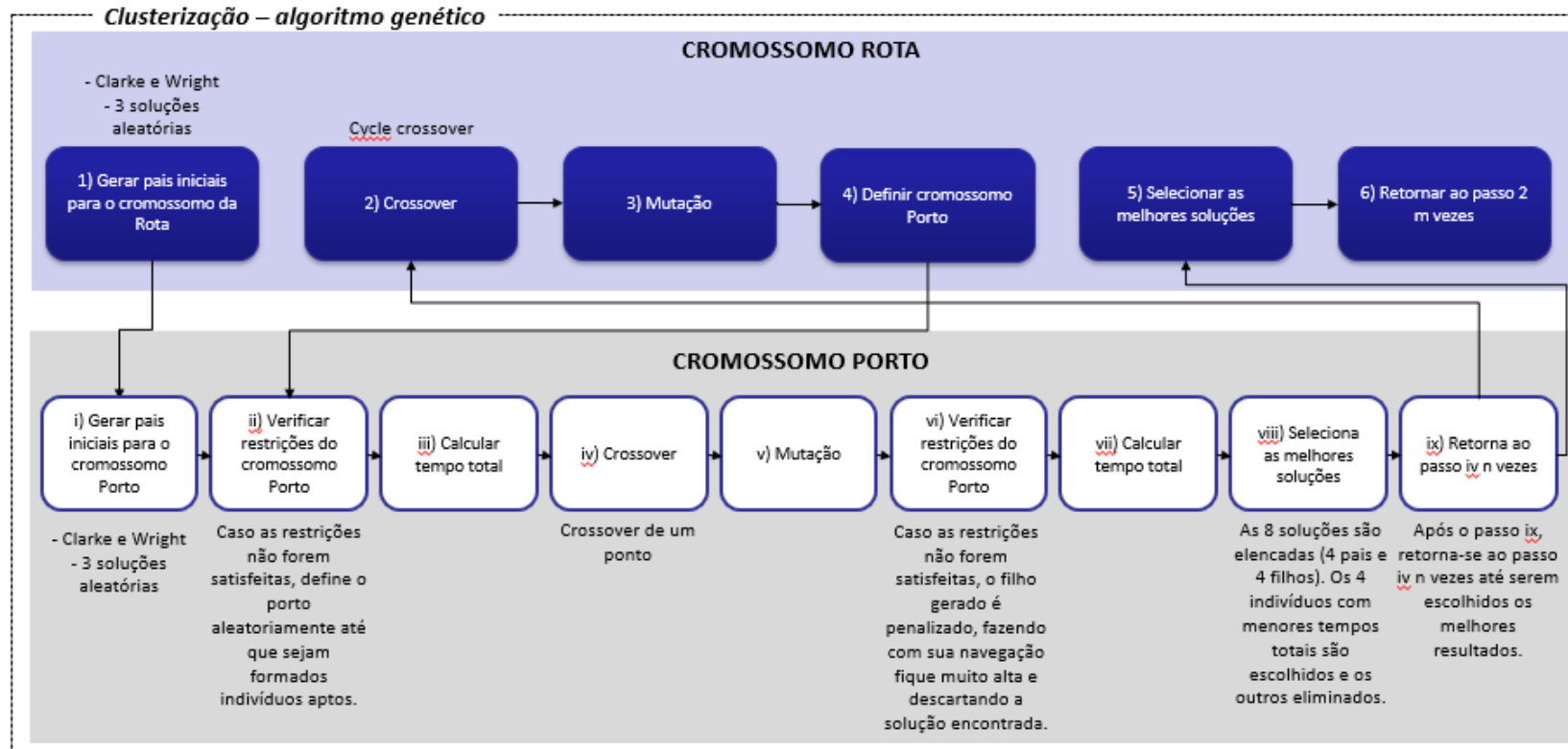


Figura 28. Passo a passo para a clusterização.

Fonte: Elaborada pelo autor.

1) Gerar pais iniciais para o cromossomo da Rota

Como descrito anteriormente, são gerados 4 pais, sendo 1 pelo método de Clarke e Wright e os outros 3 aleatoriamente.

i: Gerar pais iniciais para o cromossomo do Porto

Da mesma forma, gera um pai pelo método de Clarke e Wright e outros 3 aleatoriamente.

ii: Verificar restrições do cromossomo do Porto

Caso as restrições não forem satisfeitas, define o porto aleatoriamente até que sejam formados indivíduos aptos.

iii: Calcular tempo total

Combina-se os cromossomos de rota e porto para o cálculo do tempo total.

iv: *Crossover* do cromossomo do Porto

O crossover é realizado utilizando-se o método de um ponto explicado anteriormente.

v: Mutação do porto

Cada gene tem uma probabilidade p de mutação. Dessa forma é sorteado para cada gene um número aleatório de 0 a 1, caso o número sorteado seja menor do que p , o gene é mutado.

vi: Verificar restrições do cromossomo do Porto

Caso as restrições não forem satisfeitas, o filho gerado é penalizado, fazendo com sua navegação fique muito alta e descartando a solução encontrada.

vii: Calcular tempo total

O tempo total de cada filho é calculado.

viii: Selecionar as melhores soluções

As 8 soluções são elencadas (4 pais e 4 filhos). Os 4 indivíduos com menores tempos totais são escolhidos e os outros eliminados.

ix: Retornar ao passo iv

Após o passo ix, retorna-se ao passo iv n vezes até serem escolhidos os melhores resultados.

2) Crossover cromossomo da Rota

O *crossover* é realizado utilizando o método de *cycle crossover*.

3) Mutação do cromossomo da Rota

Cada gene tem uma probabilidade p de mutação. Dessa forma é sorteado para cada gene um número aleatório de 0 a 1, caso o número sorteado seja menor do que p , o gene sofre mutação.

4) Definir do cromossomo do Porto

Retorna-se ao passo 1ii.

5) Selecionar as melhores soluções

As 8 soluções são elencadas (4 pais e 4 filhos). Os 4 indivíduos com menores tempos totais são escolhidos e os outros eliminados.

6) Retornar ao passo 2

Retornar ao passo 2 m vezes até ser escolhida a melhor solução de Rota e Porto e, com isso, os melhores *clusters*.

**6.2.6.
Dados de saída**

Os dados de saída do modelo são os clusters formados e os tempos de ciclo simulados. Com isso, é possível passar para o próximo passo, o ordenamento portuário.

6.2.7. Resultados

Para comprovar a eficácia do modelo, foram rodados três exemplos, com dados de clusters reais de um dos clientes atendidos. O *software* utilizado foi o *Microsoft Excel*. Os resultados estão nas Figura 29, Figura 30 e Figura 31.

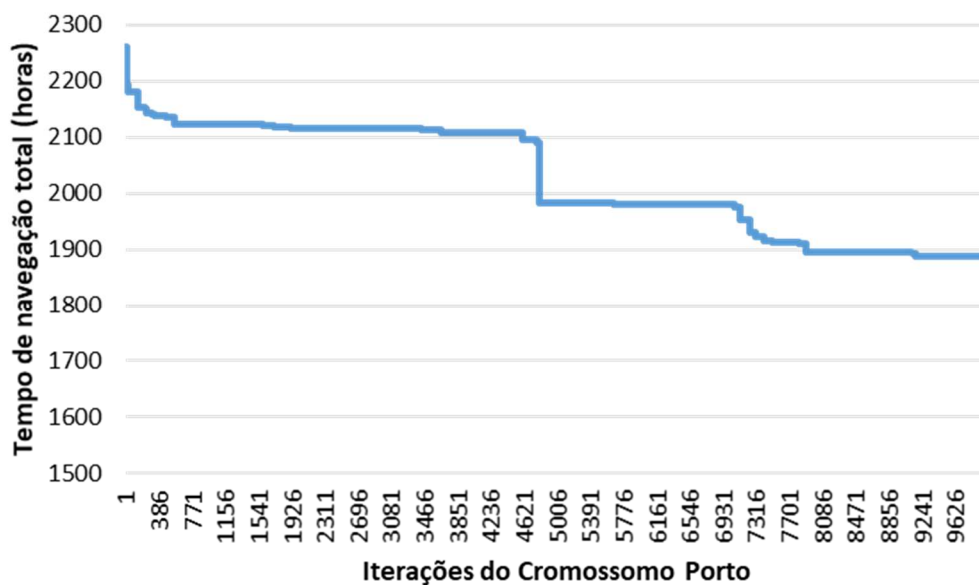


Figura 29. Clusterização com m=100 e n=10.000

Fonte: Elaborada pelo autor

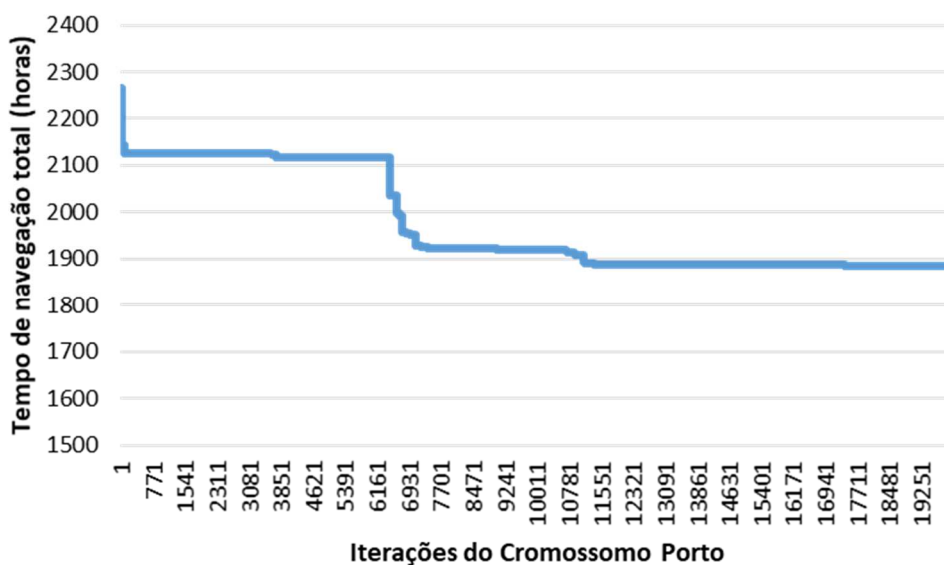


Figura 30. Clusterização com m=50 e n=20.000

Fonte: Elaborada pelo autor

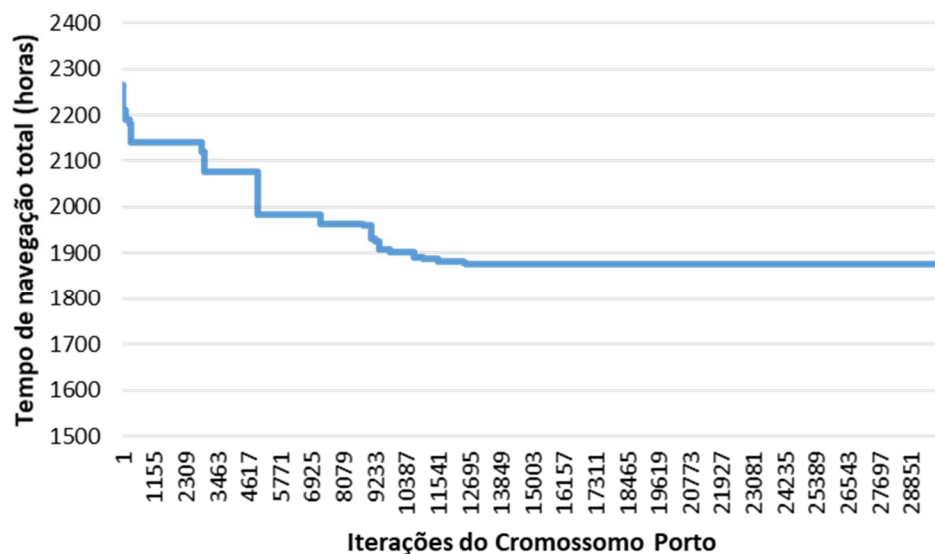


Figura 31. Clusterização com $m=50$ e $n=30.000$

No primeiro exemplo, a navegação mínima chegou em 1.888,4 horas, no segundo chegou em 1.883,4 horas e no terceiro a navegação mínima ficou em 1875,2 horas. Porém, como o número de iterações do cromossomo rota é maior no primeiro exemplo, ele aparenta chegar mais rápido no melhor resultado.

Nos três exemplos, o resultado é consideravelmente melhor que o resultado inicial, utilizando-se o método de Clarke e Wright, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6. Comparação de resultados da clusterização

Iterações do cromossomo Rota	Iterações do cromossomo porto	Navegação total final	Melhora em relação ao resultado inicial
100	10.000	1.888,4 horas	16,5%
50	20.000	1.883,4 horas	16,9%
50	30.000	1875,2 horas	17,2%

Fonte: Elaborada pelo autor

6.3. Ordenamento portuário

Com os *clusters* de todos os clientes formados, tem-se os tempos de ciclo de cada *cluster* calculados e, a partir disso, é estabelecido o tempo de ciclo limite (TClim) de cada. Esse TClim pode ser o valor máximo do TC ou um valor que seja

entendido como o valor ideal para cada caso. Atualmente, o TClim utilizado é o P80 do tempo de ciclo calculado, pois um levantamento dentro da empresa constatou que o P80 do dimensionamento da frota traz a maior economia quando comparado com o tempo de sonda parada devido à falta de embarcação de apoio. Após a definição do TClim de cada *cluster*, ele é utilizado para que se possa fazer o ordenamento portuário.

O objetivo do ordenamento portuário proposto é otimizar o número de embarcações e o número de berços utilizados. Para isso, foi utilizado o que foi discutido no subcapítulo 5.4.

6.3.1. Formulação matemática

1) Os dados de entrada do modelo são mostrados a seguir. No modelo desenvolvido, todos os dados são números inteiros:

- $nvisitas(i)$: Número de visitas do *cluster* i ;
- $TClim(i)$: Tempo de ciclo limite do *cluster* i ;
- $TCmáx$: Maior tempo de ciclo entre todos os *clusters*;
- *período*: Número de horas, ou bloco de horas, do cronograma estipulado. Por exemplo, em um cronograma semanal, o período é de 168, equivalente às 168 horas da semana;
- *folga*: Folga no tempo de ciclo utilizado para troca de turma de tripulações, manutenção e vistorias. Foi utilizado folga de 1 hora na análise;
- H_p : Horários de atracação permitidos dentro do período analisado;
- AT : Tempo de atracação;
- *int*: Intervalo mínimo entre atracações do mesmo *cluster*. Num cenário ideal, caso o *cluster* tenha mais de uma viagem por semana, elas teriam que ser igualmente espaçadas durante a semana. Porém, devido a restrições do porto esse intervalo pode mudar.

2) A partir dos dados de entrada, são definidos alguns parâmetros. Como os dados da amostra se repetem a cada meio período, basta analisar uma janela de tempo que assim nas outras janelas serão repetidas as entradas e

saídas das embarcações. Para definir essa janela de tempo, são definidos os seguintes parâmetros:

$$aumento = \max \left(TC_{\max} - \frac{período}{2}; 0 \right) \quad (2)$$

A cada meio período, todas as atracações se repetem, porém, algumas embarcações podem finalizar o seu ciclo somente na metade posterior. Sendo assim, para analisar todos os clusters é necessário aumentar o período.

$$p1 = \max \left(\frac{período}{2}; TC_{\max} + folga \right) \quad (3)$$

Indica o ponto inicial da janela de tempo analisada.

$$p2 = \frac{3}{2} \times período + aumento + folga \quad (4)$$

Indica o ponto final da janela de tempo analisada.

3) As variáveis do problema são:

- $y(i, p)$ = Atracação do cluster i no momento p . Variável binária.
- e : Quantidade de embarcações. Variável inteira
- b : Quantidade de berços. Variável inteira.

4) A função objetivo do problema procura minimizar não somente o número de embarcações, mas também o número de berços utilizados pois cada berço adicional gera mais custo. Para a empresa estudada, o custo anual de um berço está avaliado como metade do preço de uma embarcação:

$$\text{Min } 2 \times e + b \quad (5)$$

5) Sujeito a:

$$\begin{aligned} y[i, p] &= y[i, p + período]; \\ i &= 1 \dots n; p = 1 \dots \frac{período}{2} + aumento + folga \end{aligned} \quad (6)$$

$$\sum_{p=1}^{período} y[i, p] = nvisitas(i) \quad i = 1 \dots n; p \in Hp \quad (7)$$

$$\sum_{z=1}^{AT} \sum_{i=1}^n y[i, p - z + 1] \leq b ;$$

$$i = 1 \dots n; p = 1 \dots \frac{período}{2} + aumento + folga \quad (8)$$

$$\sum_i^n \sum_z^{Tclim[i]+folga} y[i, p - z + 1] \leq e \quad i = 1 \dots n; p = p1 \dots p2 \quad (9)$$

$$\sum_{z=1}^{int} y[i, p - z + int] \leq 1 \quad p = \frac{período}{2} \dots período \times \frac{3}{2} - int - 1 \quad (10)$$

A restrição 6 garante que o cronograma seja repetido no período seguinte. Por exemplo, caso seja um período semanal com um *cluster* com uma visita por semana apenas, essa restrição garante que na semana seguinte o *cluster* saia no mesmo dia e horário. A restrição 7 garante que a soma de atracções esteja em acordo com o número de visitas negociadas para cada *cluster*, dentro do horário de atracção permitido. A restrição 8 garante que sejam ocupados no máximo b berços. A restrição 9 garante que sejam utilizadas no máximo e embarcações. E a restrição 10 garante que não haja atracções em intervalos menores do que o acordado.

6.3.2. Saída do modelo

Além do dimensionamento da frota, um importante dado a ser extraído do modelo é o plano de atracções a partir da variável $y[i, p]$. Esse dado traz todo o plano de atracções do porto e, conseqüentemente, o plano de viagem das embarcações. A embarcação assim, sai do porto com um roteiro de viagem e um horário de retorno previsto ($Tclim$) e, com isso, também uma previsão da próxima viagem a ser realizada. Dessa forma, é possível planejar um cronograma de *clusters* a serem atendidos por cada embarcação a partir da viagem que está realizando no momento.

6.3.3. Resultados

Para comprovar a eficácia do modelo, foram rodados dois exemplos, com dados de clusters de um dos clientes atendidos. O *software* utilizado foi o *Microsoft Excel*.

O primeiro exemplo consiste no ordenamento simples, com as restrições atuais e com uma folga de zero horas (R0). Já no segundo exemplo foi considerada uma folga de 12 horas (R12), dado que as embarcações precisam de trocas de turma uma vez por mês.

As grades de ordenamento dos dois exemplos estão nas Figuras 32 e 33. Já o dimensionamento para cada caso está na Tabela

Tabela 7. Resultados do modelo de ordenamento portuário

Nível de Serviço	AT	R0	R12
P80	12	11	11
P90	13	11	12
P95	13	12	12
P99	14	12	13
MAX	15	14	14

Fonte: Elaborada pelo autor

Como é possível verificar, mesmo com uma folga de 12 horas no entre a chegada das embarcações e o início da atracação, a necessidade de frota é menor depois do ordenamento realizado, comprovando a eficácia do modelo.

Berço		domingo																							segunda-feira																							terça-feira																							quarta-feira																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

quinta-feira		sexta-feira		sábado	
0		0		0	
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	
4		4		4	
5		5		5	
6		6		6	
7		7		7	
8		8		8	
9		9		9	
10		10		10	
11		11		11	
12		12		12	
13		13		13	
14		14		14	
15		15		15	
16		16		16	
17		17		17	
18		18		18	
19		19		19	
20		20		20	
21		21		21	
22		22		22	
23		23		23	
SR01/2		BS01/2		SR04	
		SR03		BS03/2	
		SR02/2			

Figura 32. Ordenamento Portuário com folga zero

Fonte: Elaborada pelo autor

[illegible]

quinta-feira																								sexta-feira																								sábado																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
										BS01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

Figura 33. Ordenamento Portuário com folga de 12 horas

Fonte: Elaborada pelo autor

6.4. Aplicação

O modelo proposto foi implantado em dezembro de 2017 na logística da Bacia de Santos gerando 20% de redução de frota para embarcações de cronograma. Porém, toda essa redução faz parte também de uma profunda mudança da área operacional no que diz respeito ao cumprimento dos cronogramas propostos. Entre janeiro e fevereiro de 2018 o cumprimento chegou a aproximadamente 75%.

Na Tabela 8 estão os parâmetros medidos entre janeiro e fevereiro de 2018.

Tabela 8. Parâmetro após a aplicação do novo modelo.

Parâmetros	MCRF	Novo Modelo
Tempo de Ciclo (dias)	4,8 (1,8)	3,8 (1,1)
Número de UM visitadas por viagem	3,8 (1,2)	4,3 (2,1)
Número total de visitas por viagem	8,6 (3,1)	5,3 (2,7)
Tempo aguardando por UEP por viagem (horas)	3,5 (5,1)	3,6 (4,2)
Tempo aguardando por sondas por viagem (horas)	7,9 (12,1)	6,3 (7,6)
Viagens por semana para UEP	3,6 (5,6)	1,9 (0,3)
Viagens por semana para sondas	2,1 (0,4)	2,0 (0,3)
Número de amostras	777	131
Número de Sondas	18	15
Número de UEP	14	16

Fonte: Elaborada pelo autor.

O tempo de ciclo das embarcações diminuiu consideravelmente, passando de 4,8 para 3,8 dias em média, porém o número de UM visitadas e o número total de visitas se mantiveram constantes. Isso mostra que os *clusters* estão melhor ajustados. Além disso, o baixo desvio padrão do tempo de ciclo mostra que os cluster sendo obedecidos.

O tempo aguardando UM ainda é um parâmetro a melhorar, principalmente para sondas. Já o número de viagens para UEP foi ajustado, passando às duas viagens semanais, assim como sondas.

7 Conclusão

De acordo com o que foi mostrado no Capítulo 5, está claro que o planejamento logístico da Petrobras melhorou desde 2012, porém também está claro que pode melhorar ainda mais. O modelo de rotas flexíveis da Bacia de Santos tinha a intenção de atender às necessidades dos clientes, porém na realidade o que se observou foi uma falta de planejamento adequado levando ao não cumprimento dos *clusters* em prol do atendimento ao cliente, o que em um cenário de diminuição extrema de frota, pode afetar o cumprimento de todas as viagens. Além disso, a falta de uma adequada ferramenta para formar os *clusters* foi evidenciada fazendo com que os tempos de ciclos sejam maiores do que o necessário. Também foi demonstrado que o ordenamento portuário é muito falho no porto do Rio de Janeiro, impactando diretamente na necessidade de frota.

A partir dessas constatações, no Capítulo 6 foi mostrado o modelo de planejamento implantado no ano de 2018 para a Bacia de Santos. O modelo tem 3 etapas: negociação com os clientes, clusterização e ordenamento portuário. Esse modelo, aliado a uma maior disciplina operacional, gerou uma diminuição de frota de 20% para operações de carga geral e água. Além disso, a partir da análise dos parâmetros de janeiro e fevereiro de 2018, é possível verificar que as embarcações estão navegando menos e atendendo da mesma forma, ou seja, a diminuição da frota não trouxe impactos negativos junto aos clientes.

Em relação a trabalhos futuros, são recomendados os seguintes estudos:

- Estudo para estabelecer qual é a frequência ótima de entrega cargas para unidades marítimas;
- Estudo para diminuir a segregação de frota por tipo de serviço;
- Diferentes modelos de contratação de embarcações.

AAS, B.; GRIBKOVSKAIA, I.; HALSKAU, Ø.; SHLOPAK, A. **Routing of supply vessels to petroleum installations.** International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, v. 37, n. 2, p. 164-179, 2007.

AAS, B.; BUVIK, A.; CAKIC, D. **Outsourcing of logistics activities in a complex supply chain: a case study from the Norwegian oil and gas industry.** International Journal of Procurement Management, v. 1, n. 3, p. 280-296, 2008.

AAS, B.; WALLACE, S. W. **Management of logistics planning.** International Journal of Information Systems and Supply Chain Management, v. 3, n. 3, p. 1-17, 2008.

AAS, B.; WALLACE, S. W.; HALSKAU, Ø. **The role of supply vessels in offshore logistics.** Maritime Economics & Logistics, v. 11, p. 302-325, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Boletim de Produção de Petróleo e Gás Natural**, Rio de Janeiro, dez. 2016. Disponível em <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

ALBJERK, N. B.; DANIELSEN, T. K.; KREY, S. **Operational planning and disruption management in offshore logistics.** Dissertação de mestrado, Norwegian University of Science and Technology, 2015.

ALOISE, D. J.; NEVES, J. A.; BARROS, C. A.; MOURA, L. S. S.; ASSMANN, B. W. **Um algoritmo genético na otimização do emprego de unidade móvel de petróleo.** Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Viçosa – MG, 18-20 out. 2000.

BASSI, H. V.; FERREIRA FILHO, V. J. M.; BAHIENSE, L. **Planning and scheduling a fleet of rigs using simulation-optimization.** Computers and Industrial Engineering, v. 63, n. 4, p. 1074–1088, 2012.

CHRISTIANSEN, M.; FAGERHOLT, K.; RONEN, D. **Ship Routing and Scheduling: Status and Perspectives.** Transportation Science, v. 38, n. 1, p. 1-18, 2004.

CHRISTIANSEN, M.; FAGERHOLT, K.; NYGREEN, B.; RONEN, D. **Ship routing and scheduling in the new millennium,** Transportation Science, v. 228, n. 3, p. 467-483, 2013.

CLARKE, G.; WRIGHT, J.. **Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points.** Operations Research, v. 11, p. 568-581, 1964.

DE ALMEIDA, M. R. **Algoritmos genéticos aplicados à programação de embarcações de apoio às operações offshore.** XLI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, p. 1015-1026, 2009.

FAGERHOLT, K.; LINDSTAD, H. **Optimal policies for maintaining a supply service in the Norwegian Sea.** Omega, v. 28, n. 3, p. 269-275, 2000.

FERREIRA FILHO, V. J. M., **Gestão de Operações e Logística na Produção de Petróleo.** 1.ed. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, abr. 2015. 415 p.

FURTADO, ANDRE TOSI, **A Trajetória Tecnológica da Petrobras na Produção Offshore,** RECITEC, v. 2, n. 2, p. 76-107, 1998.

GLASSERMAN, P. **Monte Carlo Methods in Financial Engineering- Stochastic Modelling and Applied Probability**. Springer, 2013. 337 p.

GOLDBERG, D. E.. **Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning**. Addison-Wesley Publishing Company, 1989. xiii, 412 p.

HALVORSEN-WEARE, E. E.; FAGERHOLT, K. **Robust Supply Vessel Planning**. Pahl, J.; Reiners, T.; VoB, S., editors, INOC, volumen 6701 de Lecture Notes in Computer Science, p. 559-573. 2011.

INVESTING. **Preço do brent de petróleo**. Disponível em <<http://br.investing.com>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

KAISER, M. J. **An integrated systems framework for service vessel forecasting in the Gulf of Mexico**. Energy, v. 35, n. 7, p. 2777-2795, 2010.

KAISER, M. J. **Offshore Service Vessel activity forecast and regulatory modeling in the U.S. Gulf of Mexico, 2012-2017**. Marine Policy, v. 57, p. 132–146, 2015.

KAISER, M. J.; SNYDER, B. **An empirical analysis of offshore service vessel utilization in the US Gulf of Mexico**. International Journal of Energy Sector Management, v. 4, n. 2, p. 152-182, 2010.

LEITE, R. P. **Maritime transport of deck cargo to Petrobras fields in Campos Basin: an empirical analysis, identification and quantification of improvement points**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.

LOPES, P. H. M. **Uma Solução para o Problema de Roteamento de Embarcações de Apoio "Offshore" Através da Metaheurística RTR**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

MAISIUK, Y.; GRIBKOVSKAIA, I. **Fleet sizing for offshore supply vessels with stochastic sailing and service times**. *Procedia Computer Science*, v. 31, p. 939–948, 2014.

METROPOLIS, N. e ULAM, S. **The Monte Carlo Method**, *Journal of the American Statistical Association*, v. 44, n. 247, p. 335–341, 1949.

MILAKOVIĆ, A.; EHLERS, S.; WESTVIK, M. H. **Offshore upstream logistics for operations in arctic environment**. *Maritime-Port Technology and Development*, p. 163–170, 2015.

MOREIRA, P. C. M. **Análise de aumento da eficiência do sistema marítimo offshore de transporte de carga por meio de simulação probabilística**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

NETO, J. B. O.; COSTA, A. J. D. **A Petrobrás e a exploração de petróleo offshore no Brasil: um approach evolucionário**. *Revista Brasileira de Economia*, v. 61, n. 1, 2007.

ORGANIZAÇÃO DOS PAÍSES EXPORTADORES DE PETRÓLEO (OPEP). **Relatório mensal do mercado de petróleo – junho de 2017**. Disponível em <<http://www.opec.org>> Acesso em 20 jul. 2017.

PANAMARENKA, K. **Minimization of emissions in periodic supply vessel planning through speed optimization**. Master's thesis, Molde University College, 2011.

PETROBRAS. Disponível em <<http://www.petrobras.com.br>>. Acesso em jul. 2017.

PETROBRAS. Material interno. 2012-2017.

REEVES, C. R., **Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems**. New York, USA: McGraw-Hill, 1995. 320 p.

RIBEIRO, L. S., IACHAN, R. **Dimensionamento da Frota de Supridores para Plataformas de Petróleo**, XLI SBPO - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento, 2009.

SCHNEEKLUTH, H.; BERTRAM, V. **Ship Design for Efficiency and Economy**. Butterworth-Heinemann, segunda edição, 1998. 224 p.

SOARES, M. M., **Análise do Uso de Algoritmos Genéticos na Otimização do Planejamento Mestre da Produção**. Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), 2006.

SHYSHOU, A.; GRIBKOVSKAIA, I.; BARCELÓ, J. **A simulation study of the fleet sizing problem arising in offshore anchor handling operations**. European Journal of Operational Research, v. 203, n. 1, p. 230–240, 2010.

SKOKO, I.; JURCEVIC, M.; BOZIC, D. **Logistics Aspect of Offshore Support Vessels on the West Africa Market**. Promet-Traffic & Transportation, v. 25, n. 6, p. 587–593, 2013.

TABET, B.; LOPES, L. A. S. **Dimensionamento de frota de embarcações para o atendimento a plataformas e sondas marítimas**. Em elaboração, 2018.

VALENTE, A. M.; NOVAES, A. G.; PASSAGLIA, E.; VIEIRA, H. **Gerenciamento de transporte e frotas**. Cengage learning, São Paulo, segunda edição, 2008.

VIKENES, T.; JOHANNESSEN, C. E. K. **Comparing OSV operations in Brazil with Norway**. Dissertação de mestrado, Norwegian School of Economics, 2014.