



ANÁLISE DA ALOCAÇÃO DE EMBARCAÇÕES DE APOIO *OFFSHORE* COM O  
USO DE HEURÍSTICAS E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Igor Girão Peres Vianna

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Rio de Janeiro

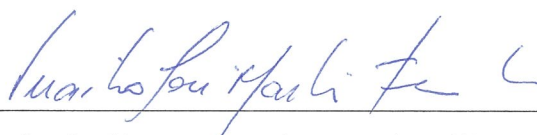
Março de 2019

ANÁLISE DA ALOCAÇÃO DE EMBARCAÇÕES DE APOIO *OFFSHORE* COM O  
USO DE HEURÍSTICAS E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Igor Girão Peres Vianna

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:



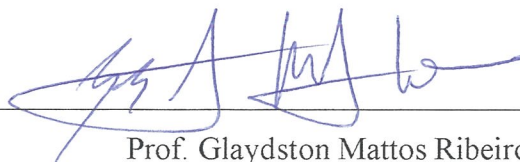
---

Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D.Sc.



---

Prof. Paulo Cesar Ribas, D.Sc.



---

Prof. Glaydston Mattos Ribeiro, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2019

Vianna, Igor Girão Peres

Análise da alocação de embarcações de apoio *offshore* com o uso de heurísticas e simulação de eventos discretos/ Igor Girão Peres Vianna. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

X, 76 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 74-76.

1. Alocação de cargas 2. Logística *offshore*. 3. Simulador de eventos discretos. I. Ferreira Filho, Virgílio José Martins. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção III. Título.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente aos meus pais pela dedicação, apoio e incentivo ao longo de todos os anos, que me permitiram a realização deste trabalho.

Agradeço também ao meu professor e orientador Virgílio, por todo apoio, incentivo e ensinamentos durante não só a confecção desta dissertação, mas como ao longo de todo o mestrado.

Agradeço aos meus colegas de projeto pelo companheirismo, auxílio, amizade e por partilhar desta jornada junto comigo. Agradeço também a todos os companheiros de laboratório, que são fundamentais no dia a dia, pelo apoio e conselhos na realização deste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DA ALOCAÇÃO DE EMBARCAÇÕES DE APOIO *OFFSHORE* COM O  
USO DE HEURÍSTICAS E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Igor Girão Peres Vianna

Março/2019

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Programa: Engenharia de Produção

As atividades de exploração e produção de óleo e gás (E&P) *offshore* têm imposto grandes desafios à área de planejamento e operação de recursos e infraestrutura logísticos. A utilização adequada das embarcações supridoras é fundamental para a manutenção de uma operação eficiente e com custo aceitável, dado que a quantidade de cargas movimentada é grande. Neste trabalho são apresentadas e comparadas quatro estratégias diferentes de alocação de barcos às cargas e às unidades marítimas: a primeira conhecida como regra FIFO, duas heurísticas gulosas de alocação e um método exato de otimização. Para a realização dessa comparação foi desenvolvido um simulador de eventos discretos que visa replicar as condições operacionais presentes no cenário *offshore* brasileiro e selecionado um grupo de indicadores que forneçam um panorama geral dos principais pontos da operação. Ao final são apresentados resultados que demonstram a validade da utilização de estratégias baseadas em heurísticas, já que apresentam valores próximos dos obtidos com o método exato de otimização, porém, em um menor tempo computacional e sem a necessidade da utilização de programas externos.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ALLOCATION ANALYZE OF OFFSHORE SUPPLY VESSELS USING  
HEURISTICS AND DISCRET-EVENT SIMULATION

Igor Girão Peres Vianna

March/2019

Advisor: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Department: Production Engineering

Offshore oil and gas exploration and production activities have imposed major challenges to planning and operation of resources and logistics infrastructure. Proper dimensioning and use of supply vessels are essential tasks to hold an efficient and cost-effective operation, since the amount of cargo handled is substantial. In this work, four different approaches for vessels allocation to maritime units and cargos are presented: one known as FIFO rule, two allocation greedy heuristics and one exact optimization method. To be possible compare the approaches the development of a discrete-event system simulator, which represents the operating conditions of Brazilian offshore scenario, was necessary. Associate with the simulator, the selection of a group of indicators that allowed an operation overview. The results evidence the useful of the approaches based on heuristics, because they present values close to the optimization method, but with shorter execution time.

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>X</b>
<b><u>1 INTRODUÇÃO .....</u></b>	<b><u>1</u></b>
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	3
<b><u>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b><u>3 LOGÍSTICA OFFSHORE .....</u></b>	<b><u>11</u></b>
3.1 TRANSPORTE DE CARGAS .....	12
3.2 APOIO MARÍTIMO .....	15
3.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA OPERAÇÃO.....	19
<b><u>4 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....</u></b>	<b><u>22</u></b>
4.1 DEFINIÇÃO CONCEITUAL.....	22
4.2 MODELAGEM .....	24
<b><u>5 APOLO: AVALIADOR DE POLÍTICAS DE LOGÍSTICA DE APOIO OFFSHORE .....</u></b>	<b><u>28</u></b>
5.1 SIMULADOR .....	28
5.1.1 EVENTOS DE LOCAL .....	29
5.1.2 EVENTOS DE TEMPO.....	31
5.2 ESTRATÉGIAS.....	31
5.2.1 ESTRATÉGIA FIFO .....	31
5.2.2 ESTRATÉGIA COM HEURÍSTICA 1.....	32
5.2.3 ESTRATÉGIA COM HEURÍSTICA 2.....	33
5.2.4 ESTRATÉGIA COM OTIMIZADOR.....	34
<b><u>6 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS .....</u></b>	<b><u>36</u></b>

<b>6.1</b>	<b>VALIDAÇÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>6.2</b>	<b>CENÁRIOS.....</b>	<b>41</b>
6.2.1	CENÁRIO 1 .....	42
6.2.2	CENÁRIO 2 .....	55
6.2.3	CENÁRIO 3 .....	65
<b>7</b>	<b><u>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....</u></b>	<b><u>72</u></b>
<b>8</b>	<b><u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</u></b>	<b><u>74</u></b>



## Índice de Figuras

Figura 1: Sequência logística da cadeia <i>offshore</i> . Fonte: Ares (2013). .....	19
Figura 2: Quadro de falhas por atrasos e adiantamentos. Fonte: Ares (2013) .....	19
Figura 3: Papel de cada etapa no planejamento da operação. Fonte: Ares (2013) .....	20
Figura 4: Fluxograma simplificado da cadeia de abastecimento <i>offshore</i> .....	26
Figura 5: Fluxograma das decisões de programação.....	26
Figura 6: Fluxograma das operações no porto.....	27
Figura 7: Fluxograma de atendimento das UMs. ....	27
Figura 8: Nível de serviço de carga geral em relação ao tamanho da frota.....	45
Figura 9: Tempo médio de espera em dias em relação ao tamanho da frota.....	47
Figura 10: Nível de serviço e ocorrências de <i>backload</i> acumulado com 35 PSVs. ....	57
Figura 11: Nível de serviço e ocorrências de <i>backload</i> acumulado com 34 PSVs.....	59
Figura 12: Nível de serviço e ocorrências de <i>backload</i> acumulado com 33 PSVs.....	60
Figura 13: Nível de serviço e ocorrências de <i>backload</i> acumulado com 32 PSVs.....	62
Figura 14: Nível de serviço e ocorrências de <i>backload</i> acumulado com 31 PSVs.....	63
Figura 15: Nível de serviço e ocorrências de <i>backload</i> acumulado com 30 PSVs.....	65

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Quadro resumo. ....	9
Tabela 2: Tabela da proporção de embarcações utilizadas em abril de 2017 no Brasil. Fonte: SINAVAL .....	18
Tabela 3: Indicadores de carga geral e <i>backload</i> .....	37
Tabela 4: Indicadores de diesel. ....	38
Tabela 5: Indicadores de água. ....	39
Tabela 6: Indicadores de tempo.....	40
Tabela 7: Indicadores gerais.....	41
Tabela 8: Ocorrências de <i>stockout</i> de água das Estratégias 3 e 4.....	43
Tabela 9: Nível de serviço de carga geral. ....	44
Tabela 10: Tempo médio de entrega de carga geral em dias.....	47
Tabela 11: Espaço ocioso de carga geral nos PSVs, em lingadas. ....	48
Tabela 12: Ocorrências de <i>stockout</i> de diesel.....	50
Tabela 13: Espaço ocioso nos tanques de diesel dos PSVs em m <sup>3</sup> . ....	51
Tabela 14: Ocorrências de <i>stockout</i> de água. ....	52
Tabela 15: Tempo médio gasto no berço em horas. ....	53
Tabela 16: Tempos de execução das 30 replicações em minutos. ....	54
Tabela 17: Indicadores de carga geral e carga de <i>backload</i> com 35 PSVs. ....	57
Tabela 18: Indicadores de carga geral e carga de <i>backload</i> com 34 PSVs. ....	58
Tabela 19: Indicadores de carga geral e carga de <i>backload</i> com 33 PSVs. ....	60
Tabela 20: Indicadores de carga geral e carga de <i>backload</i> com 32 PSVs. ....	61
Tabela 21: Indicadores de carga geral e carga de <i>backload</i> com 31 PSVs. ....	63
Tabela 22: Indicadores de carga geral e carga de <i>backload</i> com 30 PSVs. ....	64
Tabela 23: Capacidades dos PSVs retirados para cada valor de frota.....	66
Tabela 24: Indicadores para as três políticas com 34 PSVs. ....	67
Tabela 25: Indicadores para as três políticas com 33 PSVs. ....	68
Tabela 26: Indicadores para as três políticas com 32 PSVs. ....	69
Tabela 27: Indicadores para as três políticas com 31 PSVs. ....	70
Tabela 28: Indicadores para as três políticas com 30 PSVs. ....	71

# 1 INTRODUÇÃO

O setor de petróleo vem crescendo continuamente no mundo e no Brasil, porém, com o passar dos tempos, as reservas de mais fácil exploração foram se esgotando. No atual cenário brasileiro, a grande maioria da produção atual e das futuras reservas se encontra em ambiente *offshore*, que é um dos mais complicados de serem explorados devido as grandes profundidades à serem perfuradas e aos efeitos do mar na corrosão de equipamentos e tubos e na instabilidade ocasionada pelas ondas. Além de todos os complicadores mencionados, ainda há uma gama de dificuldades na logística de operação em grande escala nesse ambiente.

As atividades de exploração e produção de óleo e gás (E&P) no setor *offshore* têm imposto grandes desafios relacionados à área de planejamento e operação de recursos e infraestrutura logísticos, fundamentais para a continuidade operacional. Nesse contexto, a logística de apoio *offshore*, ou apenas logística *offshore*, cujo papel é transportar cargas e pessoas entre instalações em terra, tais como portos e aeroportos, e unidades marítimas (UMs), a exemplo, sondas, plataformas e embarcações especiais, surge como uma área relevante para o desenvolvimento de soluções baseadas, por exemplo, em modelos para planejamento e operação de recursos e infraestrutura de forma mais eficiente.

Para as operações de transporte e abastecimento realizadas para as UMs, os principais problemas encontrados são o dimensionamento e a utilização adequada das embarcações supridoras, para com isso obter uma boa manutenção e eficiência da operação mantendo um custo aceitável, dado que a quantidade de cargas movimentadas é muito grande, tanto no sentido de abastecimento das UMs, como na remoção destas para tratamento em terra, descarte ou reuso em outra unidade.

Estas embarcações supridoras, utilizadas no abastecimento das UMs, são denominadas de barcos de apoio ou de PSVs (*Platform Supply Vessels*). Já a troca de tripulações e o transporte de pessoal operacional são realizados na maioria das vezes via helicópteros.

O PSV é um dos elementos mais custosos na cadeia logística *offshore* de E&P. Uma das formas, utilizadas por algumas empresas da área, é realizar a operação com quatro frotas de PSVs responsáveis pelo transporte de cargas:

- *Carga geral e água*: transporte de cargas gerais no convés e água;

- *Oleeiros*: transporte de diesel para consumo nas unidades marítimas. Transportado em tanques da embarcação;
- *Fluideiros/Graneleiros*: transporte de fluidos e granéis sólidos necessários durante a perfuração de poços, completção e *workover* em poços. Normalmente, fluidos e granéis sólidos são transportados, respectivamente, em tanques e silos da embarcação; e
- *Cimenteiros*: transporte de cimento, utilizado também ao longo da perfuração. Transportado em silos da embarcação.

Na operação como um todo, ainda há outras embarcações para eventos emergenciais e para serviços de ancoragem, além dos PSVs.

Uma característica comum da maioria das movimentações de cargas realizadas no litoral brasileiro é a especialização da frota dos PSVs, ou seja, quando um cimenteiro visita uma sonda, ele entrega cimento, mas não prevê o uso do convés para o transporte de carga geral, mesmo que haja uma demanda na UM de destino, tendo o convés subaproveitado. O mesmo se aplica aos outros tipos da frota, o PSV de carga geral não entrega diesel durante a entrega de carga geral, e os oleeiros não são programados para entregarem carga geral às UMs.

Essa característica da operação de abastecimento *offshore* prioriza a especialização da frota de PSV, o que se configura como uma subutilização do recurso PSV, que foi projetado, originalmente, para ser multipropósito. Com o atual cenário, de expansão da quantidade de operações *offshore*, outra questão se faz relevante, o aumento demasiado das frotas de operação especializada, além do impacto na estrutura portuária da região, muito mais exigida com a utilização da frota especializada.

Uma alternativa, muito utilizada por várias empresas e em vários lugares do mundo, como, por exemplo, a *Statoil* no mar do Norte, na Noruega, é a utilização de uma frota multipropósito. Este tipo de frota se caracteriza pela utilização do barco para o transporte de mais de um tipo de produto diferente, como exemplo, um mesmo barco pode abastecer a UM com produtos de carga geral e na mesma visita também fornecer diesel para a mesma.

A política multipropósito propicia a utilização de uma frota menor e ao mesmo tempo consegue diminuir a utilização do porto, fator crítico para as operações *offshore*, sendo o porto um recurso que pode ser dividido com outras operações e não apenas as relacionadas a indústria do petróleo.

Todo esse contexto cria uma cadeia logística complexa, na qual o planejamento da demanda, a programação das viagens das embarcações supridoras e helicópteros, e o gerenciamento das operações portuárias tornam-se tarefas importantes para a manutenção do nível de serviço adequado aos clientes finais, unidades marítimas, visto que a falta de um item da cadeia gera custos elevados.

## 1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é a avaliação de diferentes estratégias de alocação de PSVs às cargas e às unidades marítimas.

Para ser possível alcançar o objetivo principal, alguns objetivos específicos foram postos como etapas a serem cumpridas:

- i. Construção de um simulador de eventos discretos que reproduza as operações da logística *offshore*;
- ii. Desenvolvimento de heurísticas que retratem as estratégias;
- iii. Integração com um otimizador de alocação de cargas;
- iv. Capacidade de interagir com outras ferramentas que apresentem o mesmo universo de estudo: módulo meteorológico; método de programação do porto; rotinas de clusterização e roteamento; entre outros; e
- v. Definição de indicadores para a avaliação das estratégias.

## 1.2 Organização do trabalho

Esta dissertação divide-se em sete capítulos: introdução, revisão bibliográfica, logística *offshore*, descrição do problema, APOLO: Avaliador de Políticas de Logística de Apoio *Offshore*, experimentação e conclusão e trabalhos futuros.

No primeiro capítulo, introdução, o tema foi apresentado, além de justificativas para a sua escolha e objetivos. No segundo capítulo é feita uma análise sobre o material bibliográfico referente ao tema. O terceiro capítulo apresenta um apanhado geral sobre todas as etapas que compõe a logística *offshore*. A descrição do problema é apresentada no Capítulo 4. No quinto capítulo é mostrado os pormenores da construção do simulador e das heurísticas. Todos os experimentos realizados e suas análises estão presentes no Capítulo 6. Por fim, no sétimo capítulo os resultados são analisados de maneira geral e são apresentadas perspectivas para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O artigo de FAGERHOLT e LINSTAD (2000) é considerado o primeiro a abordar sistematicamente o problema na área de logística *offshore*. Os autores exploram alguns dos desafios relacionados ao suprimento das instalações marítimas, assim como avaliam o impacto de operações noturnas de PSVs no custo total logístico. Eles também descrevem o sistema logístico implantado naquele ano pela *Statoil* no Mar do Norte, os tipos de carga, a forma como é realizada a programação de visitas e as estratégias qualitativas para lidar com incertezas. Em uma análise quantitativa, também determinam e implementam políticas de roteamento e programação utilizando programação inteira. Para lidar com as incertezas, os autores consideram 150% da demanda média em seu modelo de otimização, além de avaliações qualitativas da robustez de sua abordagem.

AAS *et al.* (2007), depois de um hiato de sete anos, desenvolveram um modelo simplificado de roteamento com coleta e entrega, com a presença de apenas um barco de apoio, baseado também no problema da *Statoil*. O modelo proposto se classifica como programação mista inteira linear, tendo como objetivo estudar o impacto das capacidades de unidades marítimas no sistema logístico. Nenhum aspecto estocástico foi incluído, foram usados apenas valores médios para os parâmetros.

No ano seguinte ao trabalho de AAS *et al.* (2007), GRIBKOVSKAIA *et al.* (2008) abordaram o mesmo problema, com o acréscimo de uma série de heurísticas de construção e um algoritmo determinístico de Busca Tabu para o roteamento.

ASS (2008) realizou a primeira análise compreensiva de logística *upstream* na produção de petróleo *offshore*. O foco do trabalho é a produção na plataforma continental norueguesa, sendo, a análise, dividida em quatro tópicos principais: a administração da logística; o roteamento; a função dos barcos de apoio; e revisão da literatura relacionada à forma como relações intra-organizacionais devem ser observadas no processo de tomada de decisão sobre logística.

Um estudo empírico, realizado por KAISER e SNYDER (2010), aborda as atividades e a logística envolvida na exploração petrolífera e desenvolvimento dos campos. Neste trabalho é dada uma especial atenção para fluxos de trabalho e para a maneira como os serviços dos barcos são realizados. Os autores abordam um estudo de caso do Golfo do México, com uma tentativa de quantificação do número de viagens necessárias por projeto *offshore*.

Migrando para o cenário petrolífero brasileiro, LEITE (2012) faz uma análise abrangente sobre logística *offshore*, tratando do estudo de caso da Petrobras. O trabalho trata de recursos, o principal deles sendo os barcos, mas também de facilidades em terra, composição típica/variabilidade da carga de *deck* e indicadores chave de performance. É feita uma análise empírica, com o objetivo de reduzir o tamanho da frota e aumentar o nível de serviço no transporte de carga de *deck*, levando a estratégias que podem levar a melhorias.

LEITE (2012) também analisou o consumo de carga geral nas instalações *offshore* na Bacia de Campos, objetivando desenvolver um método para a redução do *lead time* e da frota de embarcações. Foi aplicado o algoritmo de *Clarke & Wright* para a criação de programações fixas de rotas, a partir de clusters pré-definidos. Foi usada como estimativa a demanda média semanal para cada unidade marítima, somada de dois desvios padrões.

Os trabalhos de ALBJERK *et al.* (2015) e CUESTA *et al.* (2017) lidam com o problema de entrega e coleta, se preocupando não apenas em atender a demanda de consumo, como também atender a demanda de *backload* que cada unidade apresenta, com foco no planejamento operacional. Entretanto, o primeiro aborda aspectos do gerenciamento de interrupções para o caso da *Statoil* e o segundo aborda como diferentes estratégias de roteamento com um ou dois PSVs pode interferir no atendimento para o caso da Petrobras.

O problema de clusterização de unidades marítimas e roteamento de frota heterogênea foram abordados por SOARES (2014). Ele apresenta como enfoque carga de *deck* e uma heurística para a clusterização baseada em busca local e reconstrução de soluções a partir de uma semente.

PANTUSO *et al.* (2014) publicaram uma revisão da literatura do problema de estimação do tamanho e composição da frota. O trabalho afirma que os métodos existentes para estimação do tamanho de frota e roteamento em geral não são indicados para o transporte *offshore*, já que esta área apresenta uma grande incerteza e os recursos financeiros envolvidos em geral são muito elevados. Mesmo assim, de acordo com os autores, na maior parte das publicações, os problemas são modelados de forma determinística. De 37 artigos analisados, apenas dez lidam com incertezas, e de forma superficial. Destes, três empregam simulação. Além disso, é constatado que, apesar de grande parte destes trabalhos considerarem elementos estocásticos, na verdade eles propõem métodos de solução determinísticos. Como conclusão, os autores apontam que

a pesquisa futura deve aumentar o foco em estratégias mais sofisticadas para lidar adequadamente com este tipo de problema.

ANEICHYK (2009) e SHYSHOU *et al.* (2010) usam a simulação de eventos discretos para o dimensionamento estratégico do tamanho da frota e planejamento operacional de operações de barcos de apoio.

MAISIUK e GRIBKOVSKAIA (2014) estudaram o problema do planejamento da frota de embarcações de apoio levando em conta tempos de navegação e de serviço que sejam afetados, de maneira estocástica, por condições meteorológicas. A principal decisão é a determinação do tamanho da frota contratada para um horizonte de tempo de um ano, considerando as variações causadas por eventos meteorológicos, para tal, é utilizada uma estratégia de solução também baseada em simulação de eventos discretos.

SILVA *et al* (2015) compararam várias políticas de transporte marítimo, tendo como foco o transporte de carga relacionada a sistemas de remoção de sulfeto de hidrogênio em unidades de produção do Pré-sal, no Brasil, empregando a simulação de eventos discretos para estimar o dimensionamento da frota e a infraestrutura necessárias para suprir a demanda de carga.

MOREIRA (2017) mostrou como é possível unir frotas de oleiros e carga geral, sem deteriorar o nível de serviço. Vários cenários foram avaliados utilizando-se a simulação de eventos discretos. Como resultado, uma notável redução dos custos foi observada, graças ao significativo corte na frota original de PSVs estimada pelo trabalho.

Em NORLUND *et al.* (2015) é analisado como a otimização da velocidade das embarcações pode reduzir o consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>. Em um trabalho posterior, NORLUND e GRIBKOVSKAIA (2017) estendem essa análise em como a programação do porto pode ser construída visando diminuir o consumo de combustível baseado em diferentes técnicas de otimização de velocidade das embarcações. Em ambos os trabalhos, a condições meteorológicas é levada em conta na simulação.

ESKANDARI e MAHMOODI (2016) também utilizam um simulador de eventos discretos que leva em conta condições ambientais e uma estratégia de otimização baseada em simulação para achar a composição da frota que minimize o custo total mantendo um nível de serviço mínimo, ainda são utilizadas duas estratégias de roteamento, uma baseada em agendamento fixo e outra na demanda da plataforma.

NORSTAD *et al.* (2017) apresentam um estudo feito para o mar do ártico onde são simulados vários formatos dos navios e composições de frota respeitando alguns



requerimentos de segurança, preparações emergenciais e indicadores ambientais levando em conta o impacto do clima nos tempos de navegação e no consumo de combustíveis.

PINTO *et al.* (2018) determinam a quantidade de barcos necessária para atender a demanda das plataformas através de uma heurística e determinam as rotas levando em conta a arrumação das cargas no deck, visando, além de reduzir os custos, melhorar a arrumação das cargas no *deck* da embarcação.

KISIALIOU *et al.* (2018a) visam minimizar o número de embarcações e o gasto com combustíveis ao mesmo tempo que mantém um nível mínimo de serviço. Os autores utilizam uma heurística para planejar o cronograma do porto e depois a simulação levando em consideração as condições meteorológicas para verificar o nível de serviço obtido.

Já KISIALIOU *et al.* (2018b) visam determinar a melhor composição da frota e o melhor agendamento do porto para um determinado horizonte utilizando um modelo exato para problemas pequenos e médios e uma heurística para todos os tamanhos com uma performance melhor que as anteriormente usadas.

Os artigos, CHAGAS *et al.* (2018) e SILVA *et al.* (2018), são de grande relevância para este trabalho, servindo como base para o que foi desenvolvido. Ambos se utilizam do mesmo simulador, validado a partir de dados reais de campo obtidos da Petrobras, e utilizam um otimizador para a alocação das cargas. No primeiro é comparado, com o uso de frota especializada, duas estratégias diferentes de alocação de PSVs às cargas de convés: regra FIFO e otimizador. Já no segundo são comparadas três heurísticas de abastecimento de diesel nas unidades marítimas, com a utilização de frota especializada, e uma comparação das políticas de frota especializada e de frota multipropósito por meio de otimização.

Problemas similares relacionados ao dimensionamento da frota e avaliação de políticas de transporte foram tratados também por TAKAHASHI e VASCONCELOS (2009), DIUANA *et al.* (2016), SILVA *et al.* (2017), BASILIO (2017) e LARA (2018).

BRASSARD e BRATLEY (1988) classificam algoritmos gulosos sendo, geralmente, muito simples e comumente utilizados para a resolução de problema de otimização. Quando aplicados corretamente, podem levar a solução ótima do problema. BRASSARD e BRATLEY (1988) também afirmam que pela sua simplicidade, algoritmos gulosos são muito usados como heurísticas, principalmente quando uma solução próxima da ótima já é o suficiente para o problema.

Segundo BANKS *et al* (2009), sistemas podem ser classificados em duas categorias, discretos e contínuos. Os eventos discretos se caracterizam pela mudança das variáveis de estado apenas um número discreto de vezes por tempo, impulsionadas por algum evento novo que ocorre. Já os eventos contínuos se caracterizam por mudanças contínuas, durante o tempo, das variáveis de estado do sistema.

Para uma melhor visualização, alguns tópicos principais abordados pela revisão seguem na Tabela 1, que representa um quadro resumo com alguns artigos mais recentes.

Tabela 1: Quadro resumo.

<b>Artigos</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Localidade do estudo</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Shyshou <i>et al.</i> (2010)</b>	Simulação	Noruega	Dimensionamento de frota (mercado spot)
<b>Maisiuk e Gribkovskaia (2014)</b>	Simulação	Noruega	Dimensionamento de frota (mercado spot)
<b>Norlund <i>et al.</i> (2015)</b>	Simulação e otimização	Noruega	Minimizar o consumo de combustível
<b>Eskandari e Mahmoodi (2016)</b>	Simulação e otimização baseada em simulação	Irã	Dimensionar a frota minimizando o custo e mantendo um nível de serviço mínimo
<b>Norlund e Gribkovskaia (2017)</b>	Simulação e otimização	Noruega	Reduzir as emissões de gases poluidores
<b>Cuesta <i>et al.</i> (2017)</b>	Otimização para casos pequenos e heurística (ALNS)	Costa brasileira	Propor novas políticas de roteamento
<b>Norstad <i>et al.</i> (2017)</b>	Simulação	Mar do Ártico	Testar diferentes formatos de navios e composição da frota
<b>Pinto <i>et al.</i> (2018)</b>	Heurística	Costa brasileira	Reduzir os custos de transporte e melhorar a arrumação das cargas
<b>Kisialiou <i>et al.</i> (2018a)</b>	Simulação e heurística (ALNS)	Noruega	Dimensionar a frota e os gastos com combustível mantendo o nível de serviço
<b>Kisialiou <i>et al.</i> (2018b)</b>	Otimização para casos pequenos e médios e heurística	Noruega	Composição da frota e cronograma do porto

O quadro resumo foi dividido em três tópicos principais: qual o principal objetivo do trabalho; qual a localidade geográfica onde ele atua; e qual o método utilizado para a solução do problema.

Esta dissertação se destaca ao utilizar como método de resolução a integração entre simulação, heurísticas e métodos exatos de otimização, para todos os tamanhos de problema, conjunto este que não é abordado em nenhum outro trabalho, ficando apenas na combinação de dois deles ou a utilização de apenas um dos métodos.

Outro diferencial é o foco da abordagem, em nenhum trabalho há o enfoque específico na alocação de PSVs às cargas e aos *clusters*, sendo este um tema pouco abordado.

A localidade geográfica de atuação serve para elucidar onde estão sendo feitos os principais estudos sobre a área de interesse. Pode-se destacar os trabalhos provenientes do mar do Norte na Noruega, com alguns trabalhos focados no cenário brasileiro, assim como o deste trabalho.

### 3 Logística *offshore*

Segundo Branski (2015) a cadeia de suprimentos de petróleo é dividida em dois segmentos:

- i. *Upstream*: onde estão localizadas as atividades de exploração, desenvolvimento, produção, transporte até os terminais e transporte para fora dos terminais.
- ii. *Downstream*: área onde se localiza o refino, transporte dos produtos petroquímicos gerados, mistura com etanol e aditivos, transporte até aeroportos e postos de combustíveis.

O setor *upstream* engloba tanto as operações realizadas em campos na terra, *onshore*, e no mar, *offshore*. A logística *offshore* se encontra no segmento *upstream offshore*, servindo de suporte para as operações de desenvolvimento e de produção. Segundo ARES (2013) a logística de apoio *offshore* pode ser dividida em três grandes tipos de operações:

1. *Logística de Cargas*: é aquela responsável pela movimentação de todo tipo de produto demandado para as operações de perfuração e produção das unidades marítimas. Esses produtos podem ser divididos em três categorias:
  - *Carga geral*: cargas muito diversificadas, desde parafusos até árvores de natal molhada, que são embarcadas no convés das embarcações e vão diretamente para as unidades marítimas. As operações de carga geral são fortemente impactadas por demandas emergências, principalmente das unidades de perfuração;
  - *Granéis sólidos e líquidos*: os produtos são enviados diretamente para as unidades marítimas de destino por embarcações do tipo PSV, após armazenamento em plantas nos portos de atendimento offshore. Alguns exemplos de granéis sólidos e líquidos que podem ser citados são: cimento, baritina, bentonita, fluidos de perfuração, água, etc; e
  - *Diesel*: dependendo da escala da operação, a demanda desse produto pode ser atendida por embarcações de apoio, que são abastecidas em um centro marítimo ou por PSVs que recebem o diesel no fundeio ou no berço e se encaminham para atender as unidades marítimas.
2. *Logística de Passageiros*: trata da movimentação de pessoas entre o continente e as unidades marítimas. Essa operação é realizada por helicópteros e tem grande

foco na segurança operacional e na manutenção dos horários de escala dos tripulantes das unidades marítimas; e

3. *Serviços*: são embarcações que prestam serviços para as unidades de produção e perfuração. Esses serviços variam desde movimentação de âncoras e unidades até combate a incêndios ou vazamentos de óleo.

### **3.1 Transporte de cargas**

Entre os tipos de operação citados da logística *offshore*, o de transporte de cargas é o mais importante e o mais custoso para a cadeia logística. Por ser a área de enfoque dessa dissertação ela será apresentada em mais detalhes.

Para ARES (2013), é importante descrever os cinco principais tipos de cargas movimentadas nessa operação, pois cada um desses grupos é tratado de forma diferente pela cadeia:

1. *Carga geral unitizada*: são materiais com peso reduzido que necessitam ser unitizados, ou seja, colocados em contentores (cestas, contêineres, caixas metálicas, etc) para serem enviados às unidades marítimas. É o tipo mais representativo quando se analisa a quantidade de pedidos;
2. *Cargas de grande porte*: são cargas de grandes dimensões que necessitam de guindastes para serem movimentadas. Além disso, podem demandar carretas especiais para a sua movimentação;
3. *Tubos*: em virtude de seu comprimento, são cargas de difícil movimentação que necessitam de empilhadeiras de grande porte com garfos especiais ou guindastes. Os pedidos não têm alta frequência, no entanto, são realizadas solicitações em grandes quantidades que precisam de um tratamento diferenciado dentro da cadeia logística. Vale ressaltar que esses tubos, em muitos casos, não podem ser armazenados nas sondas por falta de espaço e que o atraso na sua entrega pode comprometer a perfuração de um poço, que é a operação com custo mais elevado de toda a indústria do petróleo. Devido a estas características, eles podem ter um tratamento diferenciado na logística *offshore*, sendo designados portos e embarcações só para as suas movimentações;
4. *Alimentos*: são cargas com demanda estável, mas com pressão por um elevado nível de serviço. Necessitam de contêineres refrigerados ou resfriados para serem movimentados, pois, em geral, são cargas perecíveis; e

5. *Produtos químicos*: são produtos utilizados, em sua maioria, por unidades de produção que necessitam ser armazenados em áreas especiais preparadas para conter possíveis vazamentos.

Para a movimentação dessas cargas, para ARES (2013) algumas etapas devem ser seguidas, podendo ser divididas em:

- *Armazenagem*: mesmo não necessitando de uma operação com alto grau de automatização, como em centros de distribuição voltados para o varejo, o processo não difere do padrão da indústria, podendo ser dividido em recebimento, armazenagem, *picking* e expedição. Sua área é dividida em duas zonas:
  - *Galpão interno*: esta área deve conter estruturas porta *pallet* voltada para materiais de pequeno porte, outra estrutura para materiais de médio porte que demandam posições, corredores e equipamentos com maior porte. Como existem produtos químicos armazenados em tambores e baldes, parte da estrutura porta *pallet* padrão deve ser localizada em área contida. Também é necessário que haja estruturas do tipo consola para armazenamento de materiais compridos de pequeno porte e uma área bloqueada para que cargas de dimensões e pesos elevados, que necessitem ficar em área coberta, possam ser estocadas.
  - *Área externa*: deve ser organizada com grandes corredores para que empilhadeiras de grande porte e guindastes possam operar com eficiência. Esta zona deve conter estruturas do tipo consola para tubos de grande porte que são armazenados em pequenas quantidades e estruturas denominadas estaleiros de tubos, utilizadas para tubos de grandes quantidades, sendo o restante da área organizada em boxes que, no caso de serem utilizados para armazenagem de tanques de químicos, devem estar em área contida.

Uma área importante para o funcionamento eficiente desse armazém é a de conversação de materiais, responsável por manter as cargas em condição adequadas para serem utilizadas no momento que forem solicitadas pelas unidades marítimas. Isso porque grande parte dos materiais é de baixíssimo giro, ou seja, podem permanecer longos períodos em estoque, e de alta tecnologia.

- *Consolidação de cargas*: essa etapa é responsável por coletar as cargas expedidas pelo armazém e prepará-las para o transporte terrestre e marítimo.

As cargas de pequeno porte precisam ser unitizadas, ou seja, colocadas em contentores, e os tubos precisam ser amarrados em feixes, pois, somente dessa forma, podem ser carregados nas embarcações. Com isso, é fundamental que essa área tenha uma gestão eficiente sobre o ciclo dos seus principais equipamentos, contentores e eslingas (material para amarrar os tubos e possibilitar a movimentação dos contentores por guindastes), já que o tempo em que esses equipamentos ficam retidos nas unidades marítimas impacta fortemente seu estado de conservação e seu dimensionamento. De forma simplificada, a quantidade de equipamentos necessários é igual à demanda diária multiplicada pelo seu tempo de ciclo em dias, sendo o tempo de permanência no mar a componente mais representativa desse ciclo.

Além disso, é importante ressaltar que essa etapa do processo é fortemente impactada pela frequência de atendimento às unidades marítimas, pois, caso essa frequência seja alta, menor será a quantidade de carga por contentor, causando redução no tamanho dos contentores, e, conseqüentemente elevação na quantidade de movimentações necessárias na consolidação, na operação portuária e no transporte marítimo.

- *Transporte terrestre:* a etapa seguinte do processo é o transporte terrestre, que é responsável por enviar as cargas já preparadas do armazém para o porto. Vale ressaltar que além de carretas semi-reboques tradicionais, são necessárias carretas prancha-baixa (movimentação de cargas pesadas) e equipamentos com prancha extensiva (movimentação de *risers*).

Para essa operação, é recomendável que existam ativos dedicados, pois, em geral, os armazéns estão localizados próximos ao porto e o envio deve respeitar uma janela de entrega restrita ao longo de todo o dia e porque existe um fluxo de retorno das cargas de *backload* (materiais e contentores que retornam das unidades marítimas) que precisam ser retirados do porto.

- *Operação portuária:* a operação portuária compreende o recebimento da carga, o posicionamento na área de pré-embarque, a movimentação para o píer e o carregamento da embarcação. Dessa forma, para que essa operação seja eficiente, é importante que o terminal de apoio offshore seja organizado nas seguintes áreas:
  - *Triagem:* local aonde é realizada a verificação da carga, da documentação e da janela de entrega antes da carreta entrar no porto;



- *Estacionamento de Carretas*: local onde as carretas aguardam para carregar a embarcação;
- *Pool de Carretas*: área onde as carretas que fazem a movimentação interna do porto se posicionam, enquanto não estão operando, facilitando o controle visual e aumentando a velocidade no carregamento e descarregamento da embarcação, pois esses recursos não ficam dispersos na área portuária;
- *Pré-embarque*: local onde as cargas são posicionadas para aguardarem o embarque. Os materiais que são movimentados por empilhadeiras devem ser organizados de acordo com a sua embarcação, pois isso possibilita o controle visual, facilitando o carregamento do PSV. Já os tubos e cargas pesadas, devem ser posicionados em área separada sem segregação por embarcação, pois a quantidade dessas cargas varia bastante e porque o guindaste, equipamento utilizado para movimentar esse tipo de carga, não deve se movimentar por diversas áreas, já que tem mobilidade reduzida; e
- *Retroporto*: área para onde são destinadas as cargas que retornaram das unidades, os *backloads*. Deve ser organizada de acordo com o responsável por retirar a carga do porto.

Além dessa organização, a operação deve ser planejada de forma que as ruas tenham sempre um sentido único e todas as áreas devem ter zonas segregadas para carretas, cargas e equipamentos, com entrada e saída em locais distintos. Ademais, o *layout* deve ser construído de maneira a reduzir ao máximo a quantidade de carretas próximas aos berços, utilizando, sempre que possível, a empilhadeira para abastecer o píer.

### **3.2 Apoio marítimo**

O apoio logístico fornecido as unidades marinhas de exploração e produção de petróleo é feito pelas frotas de apoio *offshore*, sendo elas responsáveis pelo atendimento dos insumos necessários a operação. Muitos serviços são prestados por essas embarcações de apoio *offshore*, com uma gama diversa que compreende, entre outras coisas, montagem e lançamento de equipamentos e tubulações, suprimento e apoio

logístico diverso, manuseio de ancoras, tubulações e cabos variados, apoio a serviços de manutenção em plataformas e estruturas submersas, combate a incêndios e outros.

Por apresentar uma quantidade vasta de funções, esse apoio é formado por um grupo grande de embarcações, que são explicitadas por SINAVAL (2017):

- *AHTS*: são navios de apoio marítimo *offshore* projetados para exercer operações de manuseio de âncoras, reboque e suprimento de plataformas, transportando uma grande variedade de cargas, desde líquidas e a granel, transportadas em tanques abaixo do convés principal, até gerais, como tubulações e peças diversas, alocadas no seu vasto convés principal. Além destes serviços principais, eles executam atividades suplementares como o resgate de pessoas em caso de acidentes, combate a incêndio, recolhimento de óleo, entre outros, de acordo com os equipamentos presentes em cada embarcação;
- *Crewboats*: utilizado no transporte rápido da tripulação e de outras equipes que atuam nas plataformas;
- *LH (Line Handling Vessel)*: Embarcações utilizadas no manuseio de espias (cabos de amarração). Têm cerca de 35 metros de comprimento e potência em torno de 1800HP;
- *MPSV (Multipurpose Supply Vessel)*: são navios polivalentes capazes de garantir uma ampla diversidade de serviços de manutenção dos campos de petróleo. Além de executar as tarefas normais de abastecimento (cimento, tubos, lama, salmoura, água doce, diesel e granéis) e entrega, as suas funções incluem o reboque, manobra de ancoras, o trabalho de pesquisa e o resgate;
- *OSRV (Oil Spill Recovery Vessel)*: Utilizado no combate a derramamentos, ele é dotado de especificações que permitem trabalhar na mancha de óleo, em atmosfera onde a evaporação do petróleo produz gás natural. Por isso é construído com sistemas elétricos blindados;
- *UT (Utility)*: equipamento, com cerca de 150m<sup>2</sup>, utilizado para o transporte de cargas de emergência, já que sua velocidade é consideravelmente maior do que a do PSV. Vale ressaltar que essa embarcação tem restrição para movimentar cargas com grandes dimensões e com alta densidade;

- *PSV*: embarcação, com metragem quadrada que pode variar de 250m<sup>2</sup> até 900m<sup>2</sup>, utilizada para a movimentação das cargas com prioridade normal e pedidos de emergência que não podem ser embarcados no UT por motivos de segurança;
- *RV (Research Vessel)*: barco de apoio à pesquisa e coleta de dados sísmicos;
- *RSV (ROV Support Vessel)*: embarcação de apoio especializada em operação de ROV – “Remote Operated Vehicle”, pequeno veículo operado do navio e que atua no fundo do mar, utilizando braços mecânicos, luzes e lentes no manuseio e montagem de equipamentos submarinos offshore;
- *SV (Supply Vessel)*: embarcação de apoio às plataformas de petróleo transportando suprimentos (tubos, água doce, óleo, lama, salmoura, cimento, peças, etc.)
- *TS (Tug Supply Vessel)*: embarcação utilizada no suprimento e como rebocador junto às plataformas;
- *FSV (Fast Supply Vessel)*: supridores de cargas rápidas;
- *DSV (Diving Support Vessel)*: embarcações para suporte e apoio ao mergulho;
- *WSV (Well Stimulation Vessel)*: empregadas para estimulação de poços de petróleo; e
- *PLSV (Pipe Laying Support Vessel)*: embarcação complexa e altamente especializada, dotada de equipamentos/sistemas sofisticados e de elevado valor. É usada para a construção e lançamento de linhas rígidas e flexíveis.

Na Tabela 2 estão presentes os tipos e as quantidades das embarcações em operação no Brasil em abril de 2017, como forma de ilustrar como são importantes para a cadeia.

**Tabela 2: Tabela da proporção de embarcações utilizadas em abril de 2017 no Brasil.**  
Fonte: SINAVAL

<b>Embarcação</b>	<b>Quantidade</b>
PSV	147
LH	62
AHTS	52
OSRV	44
FSV	17
PLSV	16
MPSV	11
RSV	11
Crew	9
SV	8
DSV	6
WSV	4

Dentre as embarcações que participam de toda a logística de apoio, apenas algumas podem realizar atendimentos as unidades marítimas. Segundo ARES (2013), para que esse atendimento seja realizado, as embarcações devem ser organizadas em janelas com horário definido para atracação e saída do porto, que devem ser planejadas considerando os seguintes tipos:

- *Embarcação para Cargas Normais*: atende as demandas padrões das unidades marítimas através de rotas fixas definidas a partir da posição geográfica das sondas e plataformas;
- *Embarcação para Cargas de Emergência*: responsável pelo atendimento dos pedidos emergenciais através de rotas que são definidas de acordo com a necessidade operacional; e
- *Embarcação Especial*: utilizada para movimentar as grandes solicitações de *risers* e tubos, já que um desses pedidos pode ocupar grande parte da embarcação e precisam de um nível de serviço maior que as cargas normais.

É importante ressaltar que essa é etapa com maior custo operacional, sendo responsável por até 80% do custo total da cadeia. Com isso, a operação deve ser eficiente, buscando aumentar e melhorar a ocupação da frota. Na Figura 1 pode-se

verificar como funciona a sequência logística da cadeia *offshore* e como ela se relaciona com suas várias etapas.

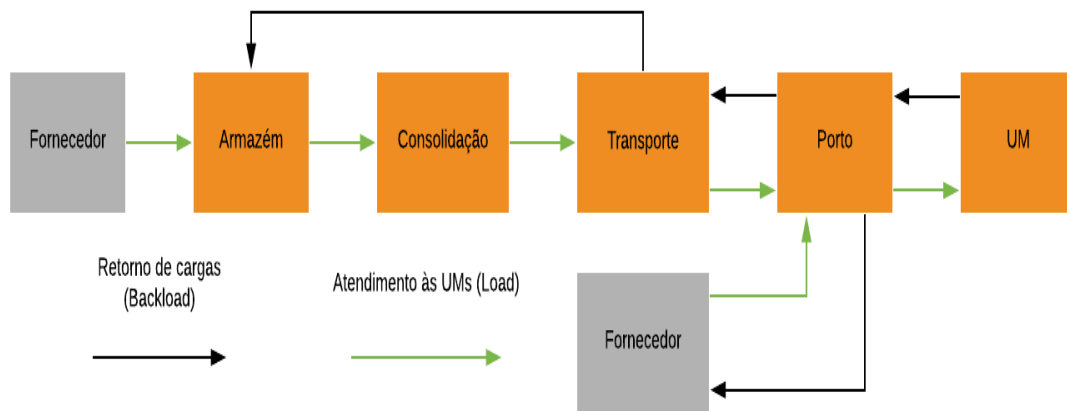


Figura 1: Sequência logística da cadeia *offshore*. Fonte: Ares (2013).

### 3.3 Planejamento e controle da operação

A operação apresenta um processo extenso e longo, com diversos grupos de cargas com prioridades distintas que podem ser embarcadas em diferentes tipos de embarcações e portos. Dessa forma, ARES (2013) diz que caso o planejamento seja realizado de forma descentralizada por cada uma das áreas operacionais, os processos podem apresentar falhas, como descritas na Figura 2, onde na parte superior apresentam-se os problemas decorrentes do atraso das operações e na parte inferior estão os problemas decorrentes do adiantamento das operações.

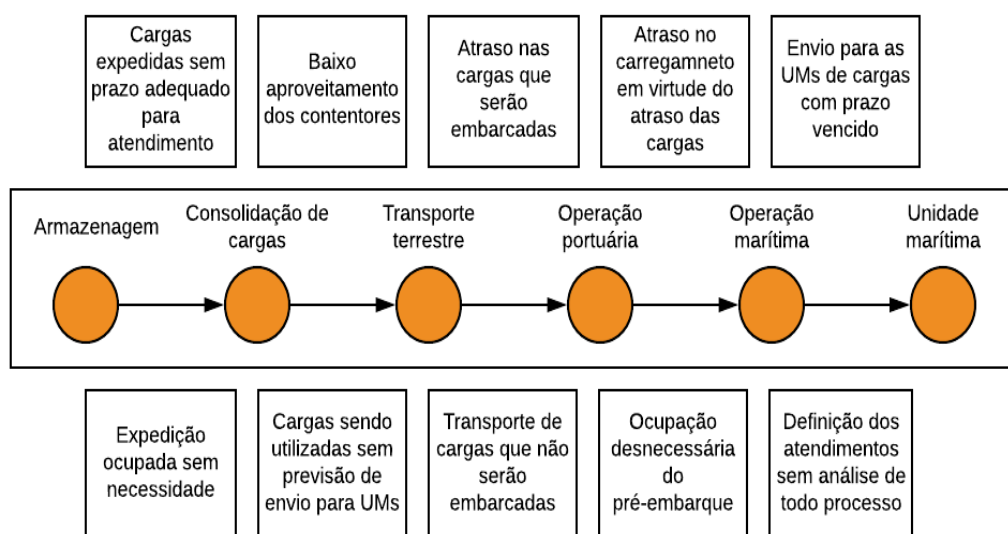
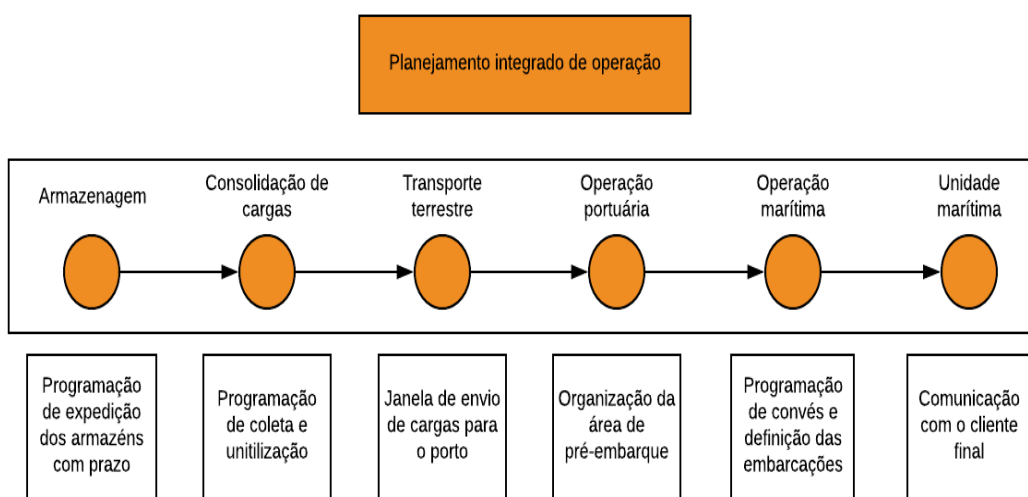


Figura 2: Quadro de falhas por atrasos e adiantamentos. Fonte: Ares (2013)

Para que estes grupos de falhas não ocorram, é necessária a existência de uma área de planejamento e controle que tenha a visão do processo como um todo e que consiga enxergar o planejamento na sua integralidade e sincronizar todos os elos da cadeia. Essa sincronização deve ser realizada a partir da programação de expedição e de unitização, da definição de janelas de entrega, da organização da área portuária, da programação do convés e definição da embarcação. Na Figura 3 pode ser observado o papel de cada etapa no planejamento de integração da operação.



**Figura 3: Papel de cada etapa no planejamento da operação. Fonte: Ares (2013)**

Esse planejamento deve ser construído a partir da data de entrega do pedido que, dependendo do tempo marítimo para seu atendimento, será alocado a uma embarcação com uma janela de atracação definida no porto. A partir dessa janela, serão determinados os prazos das áreas operacionais para que a carga esteja no porto no momento correto para o carregamento. Dessa forma, a operação foca na execução, sem se preocupar com a programação ou com o contato do cliente. É importante ressaltar que sem essa programação, não é possível organizar as cargas na área portuária de acordo com a embarcação, pois não se tem visibilidade de qual chegará ou em que embarcação ela será carregada.

ARES (2013) afirma que outro papel fundamental dessa área é manter a integração com os fornecedores que entregam cargas diretamente no porto. Devendo haver um fluxo de informação para que os fornecedores estejam aptos a visualizarem os pedidos planejados e as janelas de envio para o porto e com isso possam programar as suas atividades.

Vale mencionar que esses prazos podem ser alterados ao longo do ano, caso a operação seja sazonalmente impactada por condições de mar adversas. Essas alterações devem ser acompanhadas de um plano de contingência, que deve englobar planejamento antecipado das demandas das UMs e disponibilização de mais embarcações ou de um novo modo de operação, já que essas condições aumentarão o seu tempo de ciclo, reduzindo assim sua disponibilidade no porto para realização de novos atendimentos.

Com esse processo de planejamento estruturado, é possível realizar o controle da operação, já que se pode identificar, em um dado momento, se o pedido está sendo processado de acordo com o planejado. Para auxiliar nesse controle, a área de planejamento deve controlar as interfaces entre as etapas, sendo a operação responsável por identificar a causa raiz do não cumprimento do planejado.

É importante reforçar a importância da existência de uma área de planejamento e controle que garanta a integração sincronizada de todos os elos da cadeia logística e que consiga estruturar um processo para atendimento dos diferentes tipos de cargas, de um plano de contingência para épocas de condições climáticas adversas, de uma gestão de frota eficiente que garanta um alto nível de serviço na entrega dos produtos e de um controle efetivo sobre o ciclo dos contentores, garantindo assim disponibilidade de equipamentos para que as cargas possam ser unitizadas sempre que necessário.

## 4 Definição do problema

Para uma melhor definição do problema, ele será dividido em duas partes principais:

- i. *Definição conceitual*: é apresentada uma definição geral do problema e das etapas propostas para a solução do mesmo; e
- ii. *Modelagem*: explicita as operações logísticas presentes na cadeia e como elas se relacionam.

### 4.1 Definição conceitual

A partir da definição prévia sobre a logística *offshore* e suas operações, fica claro que existem diversos complicadores logísticos presentes na cadeia toda. A parte mais custosa de toda essa cadeia são as frotas responsáveis pelo atendimento às UMs, evidenciando, portanto, ser de grande importância um bom gerenciamento da mesma, para com isso aproveitar o máximo do seu potencial.

As UMs, que são atendidas pelas frotas, são responsáveis pelas operações de E&P da indústria de petróleo e necessitam de uma gama grande e variada de cargas, denominadas de carga geral, elas também produzem cargas que precisam ser retornadas para terra, as cargas de *backload*. Além disso, as UMs apresentam demandas por diesel para combustível e água para suas operações internas, sendo possível que algumas delas sejam capazes de produzir uma parte da água utilizada para consumo.

As demandas e necessidades das UMs são sanadas por uma frota heterogênea de PSVs e sua política de operação pode ser feita em caráter multipropósito ou especialista. Como há uma limitação da frota e de espaço no porto, a utilização da política multipropósito apresenta vantagens operacionais bem consistentes. A política de abastecimento multipropósito consiste no transporte de carga geral, diesel e água nos mesmos PSVs, não havendo uma frota específica para a entrega de nenhum dos produtos, apenas uma frota que esteja preparada para entregar os três simultaneamente.

Para que seja possível o abastecimento dos PSVs, é necessário que um porto faça parte da cadeia. O porto é um dos limitantes da operação, pois, além de apresentar uma limitação física no número de berços disponíveis para uso, também apresenta um conjunto de horários restritos, chamado de cronogramas, nos quais os PSVs podem atracar no porto e realizar suas operações.



Nas bacias do litoral pode haver um número muito grande de UMs e devido às grandes distâncias até a costa, se faz necessário que mais de uma UM seja atendida em cada viagem do PSV. Em decorrência desse fato, as UMs são separadas em *clusters*, sendo a clusterização e o roteamento do sistema pré-definidos, tendo como objetivo a diminuição da distância total percorrida para o atendimento de todas as UMs, respeitando uma quantidade máxima das mesmas por *cluster*.

Dada a complexidade do cenário aqui apresentado, um problema importante enfrentado pela logística *offshore* é como determinar a melhor estratégia de alocação dos PSVs às cargas e aos *clusters* de maneira que se obtenha o melhor nível de serviço possível para as UMs, sem que haja excessos no tamanho de frota. Esta necessidade de comparar diferentes estratégias de alocação decorre do fato de que os PSVs apresentam capacidades limitadas para o transporte dos produtos necessários as operações.

Assim, são abordadas quatro diferentes estratégias de alocação dos PSVs às cargas e aos *clusters* para serem comparadas:

- i. A estratégia FIFO, *first in first out*, onde os clusters e os PSVs são postos em filas e a alocação respeita a ordem das filas. Esta estratégia pode ser considerada uma aproximação do que é utilizado em alguns locais do litoral brasileiro;
- ii. Uma estratégia baseada em uma heurística gulosa com principal foco em diminuir o espaço ocioso de carga geral do barco selecionado ao mesmo tempo que tenta entregar o máximo possível de pedidos, sendo as operações de diesel e de água definidas apenas no momento de atracação na UM;
- iii. Uma estratégia igual à do item anterior no que tange a seleção do PSV baseada nos pedidos de carga geral, porém, com um controle diferente dos carregamentos de água e diesel, visando o atendimento de uma demanda criada no momento da programação do PSV; e
- iv. Uma estratégia que represente um método exato de otimização que melhor selecione qual o barco e quais os produtos que serão levados em cada uma das viagens.

Os consumos de diesel dos PSVs e das UMs, os consumos e as produções de água das UMs e o abastecimento de água e diesel nas UMs e nos PSVs são padronizados no que tange a unidade utilizada, sempre sendo utilizado valores em m<sup>3</sup> do produto em questão.

As demandas de carga geral das UMs, as demandas por carga de *backload* das UMs, a capacidade de transporte de carga geral dos PSVs e as movimentações de carga e descarga no porto e nas UMs foram sintetizadas para uma unidade mais uniforme que englobasse todos os tipos de carga. Uma quantidade de cargas, que ocupasse um determinado espaço quadrado, é agrupada e é tratada como se fosse uma lingada, sendo todas as operações baseadas em quantidades de lingadas.

Ao se tratar dos pedidos de carga geral, cada um apresenta uma data de entrega, que é considerada suficiente para suprir as necessidades da UM demandante deste pedido.

Ao se definir um grupo de estratégias que se quer comparar, é necessário definir os meios que permitirão que estas comparações sejam realizadas. O método considerado mais adequado, neste trabalho, para realizar a comparação é a utilização de um simulador de eventos discretos por ser possível implementar detalhes pormenorizados da operação, embutindo por meios de distribuições de probabilidade as incertezas inerentes a operação e que são conhecidas.

Outro passo importante para que seja possibilitada comparações entre diferentes estratégias é a seleção de um grupo de indicadores a serem analisados e que com isso possam elucidar quais estratégias apresentam melhores desempenhos em diferentes áreas importantes da operação.

## **4.2 Modelagem**

O desenvolvimento de um simulador depende do entendimento completo e bem definido de todo o sistema que se quer reproduzir.

A sequência das operações logísticas, que se visa reproduzir, pode ser definida da seguinte forma:

1-Verifica a existência de PSV disponível no fundeio, cronograma liberado no porto, berço vazio no porto, canal de passagem liberado e nenhum PSV no porto esperando para sair do berço. Se todos esses critérios forem cumpridos é selecionado, através de programação, um PSV e quais cargas ele transportará para atender um determinado cronograma e *cluster*;

2-Depois disso o PSV selecionado se encaminha para o berço do porto, passando pelo canal do porto;

3-No berço ele é carregado com a quantidade de carga geral, diesel e água programados pela estratégia escolhida. Também há a retirada da carga de *backload* proveniente da última viagem executada por esse PSV;

4-O PSV verifica se há disponibilidade no canal do porto, se houver ele sai do berço, se não houver ele entra na fila de saída dos PSVs que estão no porto;

5-Depois sair do canal o PSV começa a viagem até a primeira UM do *cluster* determinado;

6-Chegando na UM é verificado se há alguma outra embarcação ocupando a UM. Se tiver, o PSV fica na fila e espera a UM ser liberada, se não houver, ele atraca na UM;

7-É então determinado se a operação poderá começar ou se haverá um tempo de espera;

8-Cumprido o tempo de espera, se houver, começa a operação de descarregamento dos produtos programados e de carregamento da carga de *backload* produzida pela UM, respeitando a capacidade máxima do convés;

9-Verifica se é a última UM do *cluster*, se não for, o PSV segue para a próxima UM e volta para o item 6, se for, o PSV verifica primeiramente se haverá inoperância e depois se este PSV está programado para docagem. Essa lógica se repete até que a última UM do *cluster* seja atendida; e

10-O PSV segue para o fundeio, mas só estará disponível novamente para programação após os tempos de inoperância e docagem, caso existam.

Na Figura 4 é apresentado um fluxograma simplificado da lógica *offshore* e de suas etapas.

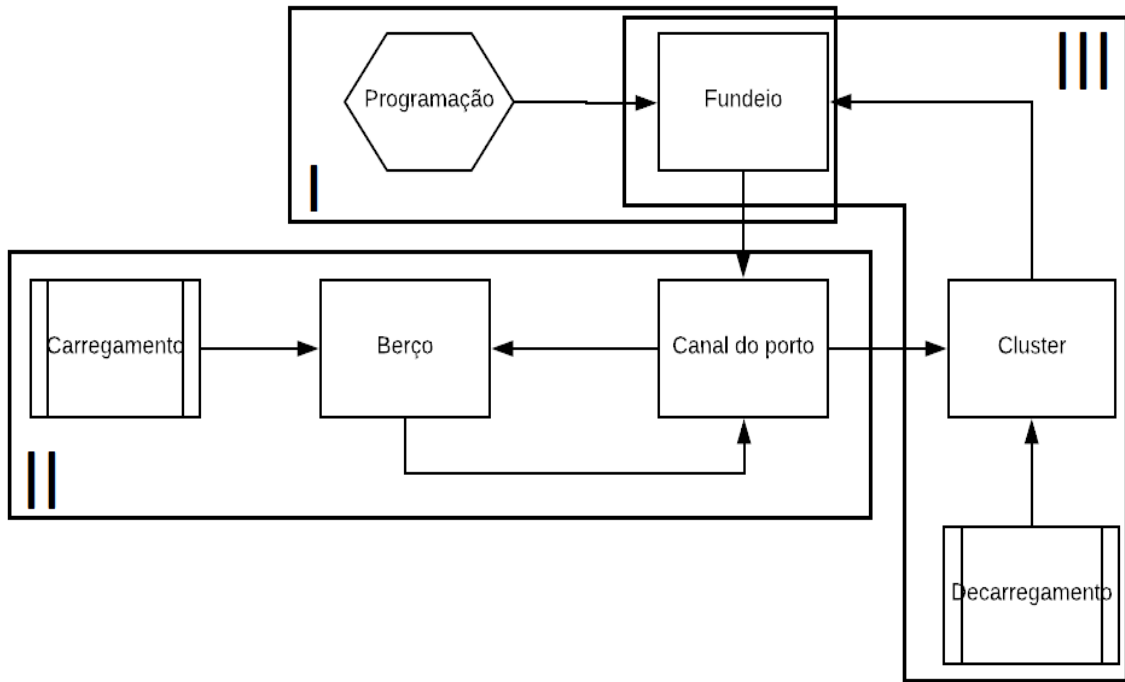


Figura 4: Fluxograma simplificado da cadeia de abastecimento *offshore*.

Nas Figura 5, Figura 6 e Figura 7 são mostrados fluxogramas das lógicas seguidas, respectivamente, para a decisão de programação (I), para as operações no porto (II) e para o atendimento dos *clusters*, onde se localizam as UMs (III).

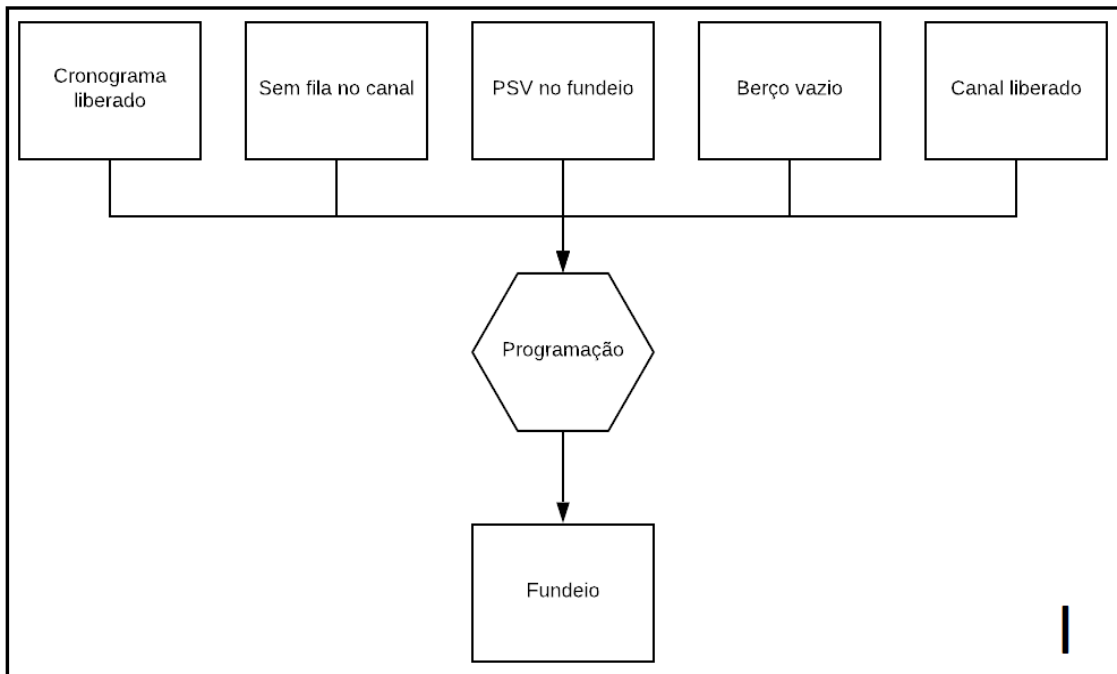


Figura 5: Fluxograma das decisões de programação.

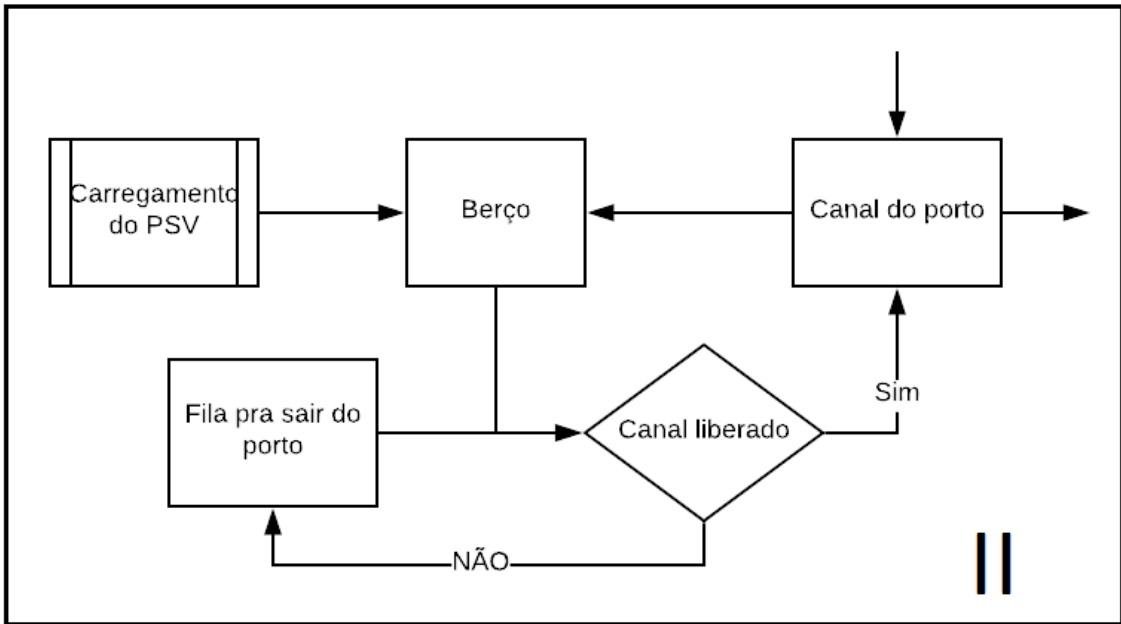


Figura 6: Fluxograma das operações no porto.

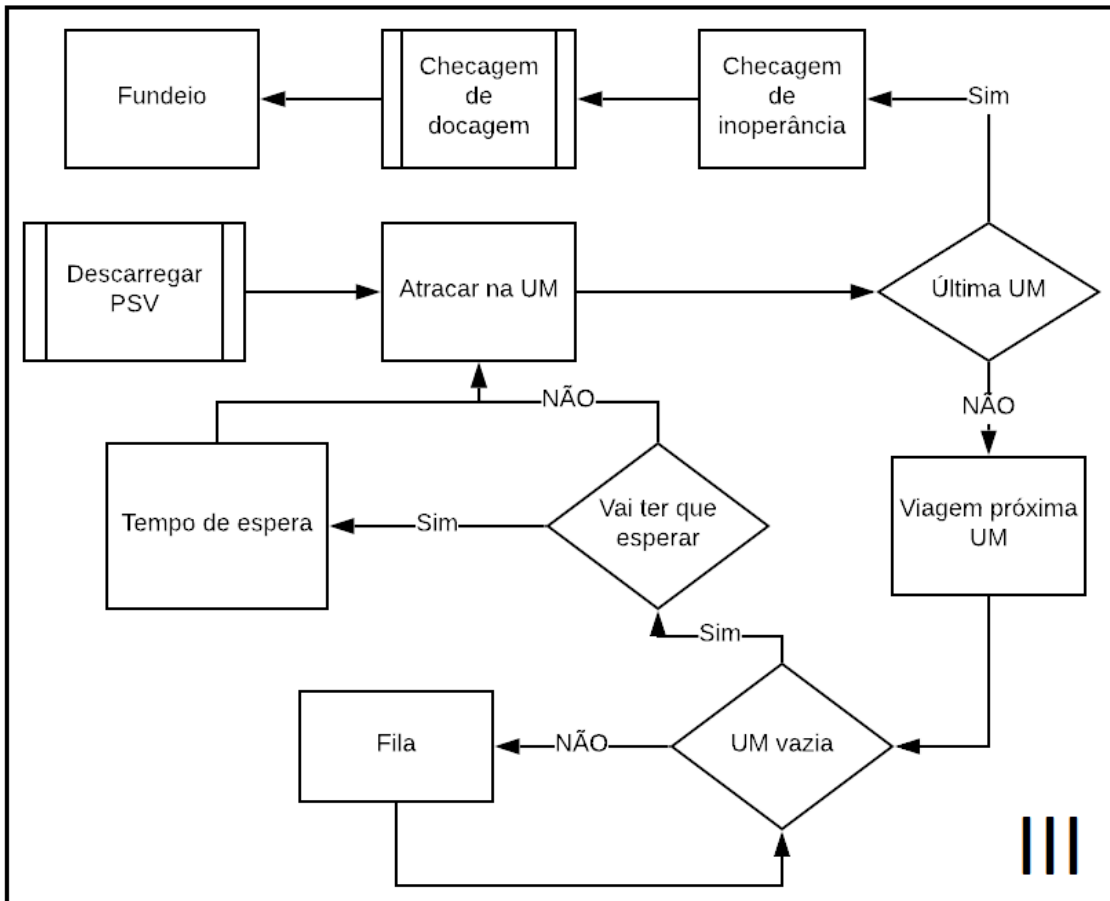


Figura 7: Fluxograma de atendimento das UMs.

## 5 APOLO: Avaliador de Políticas de Logística de Apoio *Offshore*

Para a desenvolvimento tanto do simulador quanto das heurísticas de alocação foi utilizado a linguagem de programação Python. Como dado de entrada ao simulador, é utilizado um arquivo *.xlsx* em Excel com todas informações e distribuições necessárias para o seu funcionamento.

O simulador foi feito sem a utilização da biblioteca específica de simulação presente no Python. Essa abordagem permite que o simulador seja mais maleável e adaptável a qualquer cenário novo que possa ser incluído nele, como o acoplamento de ferramentas para a solução de outros problemas de logística *offshore*.

Algumas bibliotecas auxiliares foram utilizadas para a construção do modelo completo: *numpy* para operações vetoriais, para modelar algumas distribuições utilizadas e para alguns testes estatísticos; *scipy.stats* para a modelagem das outras distribuições estatísticas, que não se encontravam presentes no *numpy*, além de outros testes estatísticos; *pandas* para a leitura dos dados presentes no arquivo de entrada no Excel; *json* responsável pela comunicação, via arquivo externos em formato *json*, entre o simulador e o otimizador.

### 5.1 Simulador

A construção do simulador se baseia em duas lógicas diferentes de eventos: na primeira, os eventos são discretos e estão ligados às localidades, sendo ativados a partir do momento no qual este local é alcançado pelo PSV, que é a entidade básica do sistema; na segunda os eventos são contínuos e não dependem de nenhuma localidade para acontecerem, tendo como gatilho apenas o tempo decorrido da simulação.

Outra entidade de grande importância no sistema são os cronogramas, eles consistem em um grupo de horários disponíveis no porto para a atracação dos PSVs. Cada cronograma possui um *cluster* associado e um número de identificação (ID), que representa o seu lugar na lista de cronogramas. Se um cronograma não for atendido, por algum motivo, no seu horário marcado, ele continua no sistema à espera das condições necessárias para que ele possa ser atendido, de modo que nenhum *cluster* tenha seu atendimento deixado para trás.

### 5.1.1 Eventos de Local

Para construção do simulador, os seguintes locais de eventos devem ser considerados:

- *Fundeio*: É o local onde os PSVs ficam ancorados e disponíveis para serem programados pelas diferentes estratégias de alocação e designados para entrarem no porto, ele tem capacidade infinita de ancoragem. Também é o local de onde o PSV sai e volta das rotinas de inoperância e docagem. Apenas depois dessas rotinas, quando existentes, que ele fica disponível para programação. Após isto ele é posto no final da fila dos PSVs que estão no fundeio.
- *Canal do porto*: É o canal de entrada do fundeio para o porto e de saída do porto para o início da viagem até a primeira UM do *cluster* programado. Ele é percorrido em um tempo fixo e pré-definido, pelo PSV. Apresenta ainda prioridade de saída dos PSVs que estão no berço em detrimento da entrada dos que estão no fundeio.
- *Berço*: Local onde o PSV atraca dentro do porto, respeitando a escala de cronogramas definidas para o porto. Nele ocorre o carregamento dos produtos que serão transportados e entregues para as UMs, e o descarregamento das cargas de *backload* provenientes das UMs da última viagem. A operação é realizada com carregamento de carga geral e descarregamento de *backload* em série e em paralelo com água e diesel, que estão em série entre si, definindo assim o tempo total de berço do PSV.

A lógica de carregamento da água e do diesel são as mesmas, o tanque do PSV é preenchido com a quantidade programada, com uma vazão sorteada dependente da faixa de diesel e água que serão carregados.

Os pedidos de carga geral que serão carregados são definidos pela programação selecionada, e todas as cargas de *backload* devem ser retiradas do PSV, sendo a velocidade de operação sorteada e dependente da quantidade de carga a ser movimentada na operação de carregamento e descarregamento.

- *PSV em viagem*: Os PSVs estão em viagem quando estão indo para alguma UM do *cluster* selecionado ou quando estão voltando para o fundeio.

Para o cálculo do tempo de cada viagem é levado em conta uma distância crítica, ou seja, quando a viagem tiver uma distância maior que a crítica, é sorteada a velocidade de navegação a partir de uma determinada distribuição e, por outro lado, quando a distância for menor que a crítica é sorteada uma velocidade de

navegação a partir de outra distribuição. Para ambas as velocidades há um limite superior e inferior, que se forem alcançados a velocidade é sorteada novamente.

- *PSV em espera:* Quando o PSV chega a cada UM de destino, ele verifica se esta está ocupada, se estiver, espera até que fique livre para poder atracar. Ao atracar na UM, é verificado se poderá haver operação, se não puder, um tempo de espera é sorteado e deve ser respeitado até que a operação possa começar de fato.

- *PSV descarregando:* Acontece após o tempo de espera, se existente, ocorrer. O tempo de descarregamento é o somatório do descarregamento de carga geral, carregamento de *backload* e abastecimento de diesel e água, todos em série.

A quantidade de carga geral descarregada é aquela que foi programada para a UM do *cluster*. A quantidade de *backload* carregada é o mínimo entre o espaço disponível no convés do PSV e a quantidade de *backload* estocado na UM. A taxa de ligação é sorteada dependendo da quantidade de carga geral e *backload* que precisam ser transportados.

É sorteada uma vazão de descarga tanto para o diesel quanto para a água dependendo da quantidade programada pela estratégia para cada produto.

- *PSV em inoperância:* O PSV tem uma probabilidade de entrar em estado de inoperância depois de atender a última UM da viagem. Se entrar em inoperância, o seu tempo é sorteado. A inoperância ocorre depois que o PSV viaja de volta até o fundeio, e quando finalizada, o PSV volta novamente para o fundeio.

- *PSV em docagem:* Cada PSV tem uma agenda de docagem feita de modo que todos os PSVs entrem em docagem no intervalo de dois anos, quando o PSV vai para a docagem é sorteado um tempo para permanecer lá.

A docagem é checada depois que o PSV atende a última UM da viagem e pode acontecer depois da ocorrência da inoperância. A docagem ocorre depois que o PSV viaja de volta até o fundeio, e depois do tempo de inoperância, se houver, e quando finalizada o PSV está novamente no fundeio

- *Consumo de diesel do PSV:* Para cada uma das atividades que o PSV realiza, há um consumo de diesel relacionado ao tempo que ele realizou essa tarefa. Os consumos são divididos entre: fundeio; berço; viajando, que também engloba o tempo percorrendo o canal; e na UM, que engloba o tempo que ele espera na fila para atracar, o tempo de espera para o começo das operações e o tempo de



operação na UM. Não se considera que o PSV esteja consumindo combustível enquanto estiver em inoperância e docagem.

### 5.1.2 Eventos de Tempo

Para construção do simulador, os seguintes eventos de tempo devem ser considerados:

- *Geração de pedidos de carga geral*: Uma vez por dia é sorteada um número de pedidos de carga geral para cada UM, junto com o pedido gerado é definido também uma data limite para a entrega do pedido para considerá-lo no prazo ou atrasado e um ID do pedido para identificação.
- *Geração de pedidos de backload*: Uma vez por dia é sorteada um número de pedidos de *backload* para cada UM.
- *Consumo de diesel nas UMs*: Uma vez por dia é sorteado uma taxa de consumo de diesel para cada UM. Uma vez por hora utiliza-se esta taxa para computar o quanto foi consumido pela UM.
- *Consumo e produção de água nas UMs*: Uma vez por dia é sorteado uma taxa de consumo e uma taxa de produção de água para cada UM. Uma vez por hora utiliza-se esta taxa para computar o quanto foi consumido e produzido pela UM.

## 5.2 Estratégias

Para a solução do problema de alocação de barcos às cargas e aos *clusters* foram implementadas diferentes estratégias:

- i. Uma estratégia que retrate a regra FIFO;
- ii. Duas estratégias utilizando heurísticas gulosas; e
- iii. Uma estratégia envolvendo a integração com o modelo de otimização exata e utilizado nos trabalhos SILVA *et al.* (2018) e CHAGAS *et al.* (2018).

### 5.2.1 Estratégia FIFO

Esta estratégia pode ser classificada como uma regra FIFO, *first-in first-out*, de alocação, onde os *clusters* e os PSVs disponíveis no fundeio são colocados em fila, com isso o *cluster* que está há mais tempo esperando é o primeiro da fila e será atendida pelo PSV que está há mais tempo parado no fundeio.

Os pedidos de carga geral selecionados para a programação são o mínimo entre a demanda do *cluster* selecionado e da capacidade de convés do PSV selecionado, excluindo o espaço previamente deixado para a recepção das cargas de *backload* da primeira UM. Se a capacidade do PSV selecionado for maior que a demanda do *cluster* selecionado, todos os pedidos são transportados, se a capacidade for menor que a demanda, será programada uma quantidade de pedidos que encha a capacidade do PSV e os pedidos que serão selecionados são aqueles que apresentam a data limite para a entrega mais próximos.

Para a programação do diesel e da água outra lógica é seguida. O PSV selecionado tem um ponto de ressuprimento de diesel e outro de água, então se o estoque do PSV estiver abaixo desse ponto, no momento em que ele atracar no berço e for começar as operações, todo o seu tanque será preenchido.

Na UM o abastecimento se dá sempre que o estoque da mesma estiver abaixo do ponto de ressuprimento de cada um dos produtos. Para o caso do diesel, o abastecimento deve ser o mínimo entre o estoque do PSV, a quantidade necessária para encher o tanque de diesel da UM e, para os casos onde a UM não é a última do *cluster*, uma quantidade máxima de diesel pré-definida, visando evitar a falta de diesel para as UMs seguintes do *cluster*. Para o caso da água, considera-se o mínimo entre o estoque do PSV e a quantidade necessária para encher o tanque de água da UM.

### **5.2.2 Estratégia com Heurística 1**

Nesta estratégia a prioridade é entregar o máximo possível de carga geral, para um *cluster* pré-determinado, minimizando o espaço ocioso do PSV utilizado.

Os *clusters* estão dispostos em fila e são atendidos nesta ordem, já sabendo a demanda do próximo *cluster* da fila, escolhe-se o melhor PSV para atendê-lo.

A escolha do PSV é feita da seguinte forma: se a maior capacidade dos PSVs disponíveis no fundeio for menor que a demanda do *cluster*, é escolhido o PSV com maior capacidade, se houver empate, é escolhido o que está há mais tempo no fundeio; se a maior capacidade dos PSVs disponíveis no fundeio for maior que a demanda do *cluster*, é selecionado o PSV que minimizará o espaço ocioso ao atender toda a demanda, se houver empate, é escolhido o que está há mais tempo no fundeio. Lembrando que é descontado das capacidades dos PSVs o espaço previamente deixado para a recepção das cargas de *backload* da primeira UM.

Para o caso onde não é possível atender toda a demanda de carga geral do *cluster* selecionado, será programada uma quantidade de pedidos que utiliza toda a capacidade do PSV e os pedidos selecionados são aqueles que apresentam a data limite para a entrega mais próximos.

Para a programação do diesel e da água é seguida a mesma lógica apresentada na Estratégia 1 (FIFO). O PSV selecionado tem um ponto de ressuprimento de diesel e outro de água, se o estoque do PSV estiver abaixo desse ponto, no momento em que ele atracar no berço, todo o seu tanque será preenchido.

Na UM o abastecimento se dá sempre que o estoque da mesma estiver abaixo do ponto de ressuprimento de cada um dos produtos. Para o caso do diesel, o abastecimento deve ser o mínimo entre o estoque do PSV, a quantidade necessária para encher o tanque de diesel da UM e, para os casos onde a UM não é a última do *cluster*, uma quantidade máxima de diesel pré-definida, visando evitar a falta de diesel para as UMs seguintes do *cluster*. Para o caso da água, considera-se o mínimo entre o estoque do PSV e a quantidade necessária para encher o tanque de água da UM.

### **5.2.3 Estratégia com Heurística 2**

Nesta estratégia a prioridade é entregar o máximo possível de carga geral, para um *cluster* pré-determinado, minimizando o espaço ocioso do PSV utilizado, igual a utilizada na Estratégia 2 (Heurística 1). O que difere as duas heurísticas é a tentativa de realizar um melhor controle das quantidades carregadas no porto e descarregadas nas UMs de diesel e água que sejam relacionadas a demanda das UMs no momento da programação e não no momento da atracação do PSV.

Os *clusters* estão dispostos em fila e são atendidos nesta ordem. Já sabendo a demanda do próximo *cluster* da fila, escolhe-se o melhor PSV para atendê-lo.

A escolha do PSV é feita da seguinte forma: se a maior capacidade dos PSVs disponíveis no fundeio for menor que a demanda do *cluster*, é escolhido o PSV com maior capacidade, se houver empate, é escolhido o que está há mais tempo no fundeio; se a maior capacidade dos PSVs disponíveis no fundeio for maior que a demanda do *cluster*, é selecionado o PSV que irá minimizar o espaço ocioso ao atender toda a demanda, se houver empate, é escolhido o que está há mais tempo no fundeio. Lembrando que é descontado das capacidades dos PSVs o espaço previamente deixado para a recepção das cargas de *backload* da primeira UM.

Para o caso onde não é possível atender toda a demanda de carga geral do *cluster* selecionado, será programada uma quantidade de pedidos que utiliza toda a capacidade do PSV e os pedidos selecionados são aqueles que apresentam a data limite para a entrega mais próximos.

Para a programação do diesel e da água, uma lógica diferente das apresentadas anteriormente é seguida, sendo este o ponto que difere esta heurística da apresentada na Seção 5.2.2. É verificado se, dentro das UMs do *cluster* selecionado, alguma apresenta o seu nível de diesel e o seu nível de água abaixo do nível de ressuprimento da UM para cada produto, se houver, é então computada uma demanda para o produto, que consiste no volume necessário para completar o tanque da UM.

Caso o somatório das demandas de cada produto de cada UM seja menor que a capacidade de transporte do produto do PSV selecionado, toda a demanda de todas as UMs será programada, sendo, portanto, a demanda total do *cluster* aquela a ser carregada no porto e a demanda programada de cada UM descarregada na operação de abastecimento. Caso o somatório das demandas de determinado produto seja maior que a capacidade do PSV selecionado para transportar os produtos, toda a sua capacidade disponível será preenchida e a parte programada destinada a cada UM será proporcional ao seu montante na demanda total original do *cluster*.

#### **5.2.4 Estratégia com Otimizador**

O otimizador aqui apresentado foi retirado dos trabalhos de SILVA *et al.* (2018) e CHAGAS *et al.* (2018). Ele foi desenvolvido em Python e utiliza o *gurobipy*, da Gurobi, para a realização da otimização.

O otimizador tem como função alocar PSVs aos cronogramas, e por consequência aos seus respectivos *clusters*, bem como selecionar quais cargas devem ser levadas para cada uma das UMs do *cluster*.

São três os critérios utilizados para realizar esta alocação, apresentados a seguir em uma ordem de importância decrescente:

- i. Evitar que pedidos sejam recusados;
- ii. Levar o maior número de pedidos que possam ser entregues no prazo; e
- iii. Minimizar o espaço ocioso do PSV selecionado.

Estes critérios compõem, cada um com o seu peso, a função objetivo do otimizador. A composição dos pesos de cada termo é feita de modo que a ordem de

importância seja seguida, com isto, evitando que critérios mais importantes sejam degenerados em detrimento de critérios menos importantes.

O otimizador é regido por algumas restrições com o objetivo de representarem o cenário real de operação: os cronogramas devem ser atendidos na ordem em que foram criados; as capacidades dos PSVs devem ser respeitadas; o PSV deve estar no fundeio ou ter seu tempo de volta menor ou igual ao horário do cronograma ao qual for alocado.

O otimizador recebe uma lista de pedidos de cada um dos produtos por UM junto com a sua data limite de entrega, as UMs que compõe cada um dos *clusters*, dados de tempo de viagem até cada UM do *cluster*, lista de cronogramas e os horários que os mesmos estarão disponíveis para programação e lista de barcos com suas respectivas capacidades para cada produto e previsões para chegada no fundeio.

A resposta do otimizador consiste em alocações de PSVs aos cronogramas e uma lista de pedidos de cada produto que serão carregados em cada PSV selecionado.

Os pedidos de água e diesel que ele recebe são divididos em lotes menores para propiciar programações mais fracionadas dos pedidos, permitindo uma melhor alocação desses dois produtos.

Algumas simplificações na comunicação entre o simulador e o otimizador foram tomadas com o objetivo de diminuir o modelo de otimização e, por consequência, acelerar a sua execução, ao mesmo tempo tentando garantir que não haja degradação dos resultados obtidos.

Foram passados para o otimizador apenas os PSVs que estavam disponíveis no fundeio e os dados dos *clusters*, e por consequência das UMs que os compõe, cujos cronogramas fossem capazes de serem atendidos por essa quantidade de PSVs disponíveis, ou seja, um número de cronogramas, na ordem que eles aparecem por seus IDs, igual ao número de PSVs que estejam no fundeio.

Outra estratégia adotada para a aceleração da integração da simulação com a otimização foi a utilização da Estratégia 2 durante o período de aquecimento estipulado para a experimentação.

## 6 Experimentos Computacionais

A experimentação pode ser dividida em duas partes principais:

- i. Validação do simulador aqui desenvolvido, comparando-o com o apresentado em SILVA *et al.* (2018) e CHAGAS *et al.* (2018), que foi construído no *software* de simulação Promodel e foi validado a partir de dados reais de campo disponibilizados pela Petrobras e referentes à Bacia de Campos e à Bacia de Espírito Santo nos estados do Rio de Janeiro e de Espírito Santo; e
- ii. Elaboração de alguns cenários que permitam a análise do desempenho das diferentes estratégias de alocação.

Todos os testes realizados, tanto para validação quanto para os cenários propostos, foram executados em uma máquina equipada com Windows Server® Intel® Xeon® CPU E5-2620 v4 @ 2.10GHz com 2 processadores e 256 GB de memória RAM. Foi utilizado o Promodel 2014, a versão do Gurobi 8.0, responsável pelas otimizações e o Python 3.6.

### 6.1 Validação

Para que se possa utilizar o simulador desenvolvido neste trabalho, chamado de APOLO, faz-se necessário saber se ele retrata corretamente os eventos da cadeia logística *offshore* brasileira, para determinar isso, tomou-se como base o simulador de eventos discretos apresentado nos trabalhos SILVA *et al.* (2018) e CHAGAS *et al.* (2018).

A validação deu-se pela comparação de um grupo de indicadores que pudessem englobar todos os principais aspectos presentes na logística *offshore* e que fossem obtidos com os dois simuladores.

Para tal comparação foi selecionado um cenário para os dois modelos. Este cenário consiste em: 35 PSV sendo responsáveis pela entrega dos 3 produtos (carga geral, diesel e água); 90 UMs divididas em 23 *clusters*; espaço reservado de 10 para o primeiro *backload*; 6 berços com um total de 46 cronogramas por semana; utilização da Estratégia 1 (FIFO) para a alocação; 180 dias de simulação com 90 dias de aquecimento e 30 replicações. Junto com os resultados dos indicadores, também foram obtidos intervalos para os mesmos com 95% de confiança.

Além dos indicadores referentes a validação, também se observou um indicador básico do desempenho para ambos os modelos. Ao se tratar de simulação, o tempo de execução é um indicador importante de desempenho a ser considerado. Enquanto o modelo base levou 12,05 minutos para executar 30 replicações de 270 dias, o modelo APOLO levou 4,48 minutos para a mesma execução, mostrando um ganho considerável em velocidade de execução.

Os resultados foram divididos em grupos diferentes, que sejam relacionados, para uma melhor análise. Na Tabela 3 estão os indicadores referentes a carga geral e pedidos de *backload*.

**Tabela 3: Indicadores de carga geral e *backload*.**

Indicador	APOLO			Modelo base		
	Inferior	Média	Superior	Inferior	Média	Superior
Nível de serviço	82,09%	82,53%	82,98%	82,14%	82,41%	82,69%
Demanda por carga geral	69837	69915	69993	69857	69902	69947
Tempo médio de entrega (Dias)	4,49	4,51	4,53	4,54	4,58	4,61
Carga geral carregada no porto	59,08	59,15	59,23	59,00	59,07	59,14
Tempo operando carga geral e <i>backload</i> (Horas)	13,27	13,33	13,39	13,25	13,30	13,35
<i>Backload</i> produzido	60907	61003	61100	60807	60888	60968
<i>Backload</i> retirado	60917	61023	61130	60827	60901	60976

Todos indicadores de carga geral ficaram com valores bem próximos e com intervalos de confiança que se entrelaçam, a única exceção é o tempo médio de entrega, que é o tempo da geração do pedido até o momento que ele for entregue na UM, porém este indicador é mais impactado por diferenças nos tempos do modelo e não propriamente na carga geral em si.

Ambos indicadores de *backload* também apresentam valores cujos intervalos de confiança se cruzam, porém, em valores absolutos, há uma diferença de 100 unidades entre eles. É um valor alto, mas que não aparenta acarretar muitos problemas para o

sistema, tendo apenas mais 100 pedidos para serem carregados e descarregados em um universo de mais de 60 mil pedidos.

Como mencionado anteriormente, nas Seções 2 e no início da Seção 6, a validação do APOLO está ocorrendo a partir de um modelo validado com os dados reais do campo. Como não foi possível a obtenção dos dados reais para a realização de uma validação direta, alguns valores um pouco diferentes são aceitos.

Na Tabela 4 estão os indicadores referentes a diesel.

**Tabela 4: Indicadores de diesel.**

Indicador	APOLO			Modelo base		
	Inferior	Média	Superior	Inferior	Média	Superior
Ocorrências de <i>stockout</i>	0,00	0,13	0,26	0,00	0,07	0,16
Consumo da bacia (m <sup>3</sup> )	354334	356239	358145	354343	356526	358710
Volume total entregue (m <sup>3</sup> )	353874	355970	358067	354591	356555	358518
Volume médio entregue (m <sup>3</sup> )	229,06	229,77	230,48	228,86	229,44	230,03
Volume carregado no porto (m <sup>3</sup> )	492,55	496,78	501,02	455,43	460,18	464,94
Tempo de carregamento no porto (Horas)	4,49	4,53	4,57	4,08	4,12	4,15

A maioria dos indicadores de diesel apresentaram valores muito próximos também, com seus intervalos de confiança sobrepondo-se, a principal diferença se deu no volume carregado no porto, que apresentou valores com uma discrepância significativa, sendo também a causa direta das diferenças nos tempos de carregamento de diesel no porto. Essa diferença, encontrada no volume carregado no porto, se deve a problemas na adequação das lógicas relacionadas ao consumo de combustível dos PSVs.

Na Tabela 5 estão os indicadores referentes a água.



**Tabela 5: Indicadores de água.**

Indicador	APOLO			Modelo base		
	Inferior	Média	Superior	Inferior	Média	Superior
Ocorrências de <i>stockout</i>	0,34	0,73	1,12	0,27	0,67	1,00
Consumo da bacia (m <sup>3</sup> )	325073	325442	325811	324617	325121	325626
Produção da bacia (m <sup>3</sup> )	175316	175537	175758	173966	174210	174454
Volume total entregue (m <sup>3</sup> )	150418	150962	151507	150761	151209	151658
Volume médio entregue (m <sup>3</sup> )	257,21	258,45	259,69	256,53	257,68	258,84
Volume carregado no porto (m <sup>3</sup> )	523,78	528,07	532,37	519,26	523,82	528,39
Tempo de carregamento no porto (Horas)	4,78	4,82	4,85	4,73	4,77	4,81

A maioria dos indicadores de água apresentaram valores bem próximos e com seus intervalos de confiança se entrelaçando, tanto nos quesitos gerais da bacia quanto nos operacionais, a única exceção foi a produção de água da bacia que apresentou valores um pouco diferentes nos dois modelos.

Na Tabela 6 estão os indicadores referentes aos tempos de todas as operações realizadas.

**Tabela 6: Indicadores de tempo.**

Indicador	APOLO			Modelo base		
	Inferior	Média	Superior	Inferior	Média	Superior
Tempo de viagem (Dias)	4,30	4,31	4,32	4,25	4,26	4,27
Tempo de espera (Dias)	0,46	0,46	0,46	0,45	0,46	0,46
Tempo de inoperância (Dias)	2,23	2,35	2,47	2,23	2,36	2,49
Tempo de docagem (Dias)	9,95	11,62	13,29	10,37	12,17	13,97
Tempo descarregando (Horas)	8,70	8,72	8,74	8,69	8,71	8,74
Tempo de berço (Horas)	13,55	13,60	13,66	13,52	13,57	13,63

Grande parte dos tempos também tiveram resultados muito próximos, com intervalos se entrelaçando. Vale destacar a diferença um pouco maior nos tempos de docagem que são decorrentes da pouca quantidade de eventos de docagem que ocorrem em um período de 180 dias, porém, mesmo assim, os seus intervalos se cruzam. O único indicador onde isso não ocorreu foi o tempo de viagem, que consiste no tempo que decorre do PSV sair do fundeio para o canal do porto é o momento que ele volta para o fundeio depois da última viagem dentro do *cluster*.

Na Tabela 7 estão outros indicadores importantes que não se encaixam nas categorias anteriores, porém que merecem ser analisados.

**Tabela 7: Indicadores gerais.**

Indicador	APOLO			Modelo base		
	Inferior	Média	Superior	Inferior	Média	Superior
Frota ocupada	29,96	30,11	30,27	30,09	30,27	30,46
Consumo do PSV (m <sup>3</sup> )	33585	33627	33670	33304	33349	33394
Velocidade média alta (m/h)	15,36	15,37	15,39	15,35	15,37	15,38
Velocidade média baixa (km/h)	11,27	11,30	11,34	11,26	11,30	11,34

Tanto as velocidades médias como o consumo de combustível do PSV apresentaram resultados próximos e com intervalos que se entrelaçam, já a frota de PSVs ocupadas, mesmo com intervalos que se cruzam, apresentou resultados um pouco mais destoantes que os outros.

Como pode ser observado pelas tabelas, previamente mostradas nessa seção, e os comentários feitos referentes a elas, os modelos apresentam resultados muito próximos para a grande maioria dos indicadores testados, com diferenças substanciais em apenas alguns deles. Não é possível considerar que os modelos sejam exatamente iguais, porém, pode-se dizer que o modelo aqui desenvolvido está validado, já que apresenta valores próximos e até iguais para vários indicadores importantes para o sistema.

## 6.2 Cenários

Após a confirmação da validação do modelo, três cenários foram preparados com objetivos distintos entre eles:

- i. *Cenário 1:* Um com foco na comparação das performances das estratégias aqui apresentadas através da utilização de indicadores de nível de serviço para os 3 produtos;
- ii. *Cenário 2:* Como o espaço reservado para o primeiro *backload* pode interferir nos resultados referentes a carga geral; e
- iii. *Cenário 3:* Outro focado em como diferentes tipos de políticas na hora da redução de frota pode interferir nestes mesmos indicadores de nível de serviço.

### 6.2.1 Cenário 1

Para o primeiro cenário foram simuladas as quatro estratégias apresentadas previamente. Para uma melhor percepção do impacto de cada uma nos indicadores avaliados, o modelo foi submetido a uma redução de frota de 35 PSVs até 30 PSVs, um por vez, para poder avaliar o desempenho das estratégias em sistemas mais folgados e também mais estressados.

Para todos os tamanhos de frota, variando de 35 até 30 PSVs, e todas as estratégias, foram realizadas 30 replicações com duração de 180 dias de simulação com 90 dias de aquecimento. Em toda redução de frota, é retirado um PSV cuja capacidade de transporte de carga geral seja próxima da capacidade média da frota. Neste cenário o espaço reservado no PSV para o primeiro *backload* foi de 10 unidades, com um total de 90 UMs divididas em 23 *clusters*, o porto possui 6 berços com um total de 46 cronogramas disponíveis por semana. Além disso, todos os indicadores foram obtidos com um intervalo de 95% de confiança.

Para comparar as diferentes estratégias com os diferentes tamanhos de frota, faz-se necessário a definição de alguns indicadores que representem os níveis de serviço de cada um dos produtos que são entregues (carga geral, diesel e água): o nível de serviço principal é o da carga geral e é obtido dividindo o número de pedidos entregues no prazo pelo total de pedidos entregues (pedidos no prazo mais pedidos atrasados), por ser o principal ele será chamado apenas de nível de serviço posteriormente; para o diesel o nível de serviço é medido pela quantidade de ocorrências de *stockout* de diesel que ocorrem em todas as UMs, ou seja, quantas vezes alguma UM do sistema ficou sem diesel para consumo; para a água é utilizado o mesmo nível de serviço utilizado para o diesel, número de ocorrências de *stockout* de água em todas as UMs, ou seja, quantas vezes alguma UM do sistema ficou sem água.

Mais alguns indicadores que refletem níveis de serviço secundários foram utilizados para uma compreensão mais profunda das vantagens de cada estratégia perante as outras: o tempo médio de espera desde a geração do pedido de carga geral até o momento em que ele é entregue para a UM de destino; o espaço ocioso médio de carga geral que os PSVs saem do porto, ou seja, quanto a mais o PSV poderia estar levando de carga geral, mas não o está; o espaço ocioso médio de diesel que os PSVs saem do porto, relativo aos seus tanques de diesel, ou seja, o espaço médio vazio que poderia transportar diesel, porém, não o está; o espaço ocioso médio de água que os PSVs saem do porto, relativo aos seus tanques de água, ou seja, o espaço médio vazio

que poderia transportar água, porém, não o está; o tempo médio gasto pelos PSVs nas operações realizado no porto.

Definido os tamanhos de frota, os parâmetros e os indicadores a serem analisados, as rodadas de simulação foram executadas. Após uma análise dos resultados, verificou-se que uma grande quantidade de ocorrências de *stockout* de água estava acontecendo nas Estratégias 3 (Heurística 2) e 4 (Otimizador) tornando os seus resultados não competitivos com as outras duas estratégias. Segue na Tabela 8 os resultados do número de ocorrências de *stockout* de água das estratégias mencionadas.

**Tabela 8: Ocorrências de *stockout* de água das Estratégias 3 e 4.**

Estratégia		Frota					
		35	34	33	32	31	30
3-Heurística 2	Inferior	5,04	4,90	4,66	5,11	5,65	6,65
	Média	5,77	5,73	5,70	5,87	6,47	7,77
	Superior	6,49	6,57	6,74	6,62	7,29	8,89
4-Otimizador	Inferior	4,78	4,70	4,64	5,05	4,98	6,58
	Média	5,50	5,77	5,43	5,93	5,97	7,83
	Superior	6,22	6,83	6,22	6,82	6,95	9,08

Como pode ser visto, os valores de *stockout* para as duas estratégias são muito elevados ao se comparar aos apresentados pelas outras estratégias, como será mostrado adiante. Este fato decorre da grande velocidade em que a água é consumida em algumas UMs, sendo então o carregamento feito, levando em consideração a geração de pedidos no presente para abastecimento no futuro, ineficiente.

Para manter a utilização dessas estratégias, visto que o melhor gerenciamento apenas do diesel já pode ser o suficiente para a obtenção de resultados melhores, foi adotada a programação de água das Estratégias 1 (FIFO) e 2 (Heurística 1) para as Estratégias 3 e 4. Esta programação pode ser encontrada nas Seções 5.2.1 e 5.2.2.

Após esta mudança novos testes foram realizados nos mesmos moldes dos anteriores, só que agora apenas para a nova abordagem das Estratégias 3 e 4, que serão chamadas de Estratégia 3B e Estratégia 4B e apenas os seus resultados serão considerados posteriormente.

### 6.2.1.1 Indicadores de carga geral

São três os indicadores tomados referentes a carga geral: o principal deles, definido aqui como nível de serviço; o tempo médio de entrega das cargas; e o espaço ocioso de carga geral. Todos os indicadores já foram previamente explicados.

O nível de serviço de carga geral, por ser o indicador mais importante de todos e o que melhor serve como avaliador das estratégias aqui apresentadas, apresenta uma avaliação mais detalhada dos resultados apresentados na Tabela 9 e na Figura 8.

**Tabela 9: Nível de serviço de carga geral.**

Estratégia		Frota					
		35	34	33	32	31	30
1-FIFO	Inferior	82,09%	81,73%	80,86%	80,06%	78,45%	70,30%
	<b>Média</b>	<b>82,53%</b>	<b>82,15%</b>	<b>81,51%</b>	<b>80,87%</b>	<b>79,40%</b>	<b>72,13%</b>
	Superior	82,98%	82,57%	82,16%	81,69%	80,35%	73,95%
2-Heurística 1	Inferior	88,33%	88,02%	87,51%	86,10%	81,89%	75,34%
	<b>Média</b>	<b>88,49%</b>	<b>88,18%</b>	<b>87,69%</b>	<b>86,43%</b>	<b>82,71%</b>	<b>76,59%</b>
	Superior	88,64%	88,33%	87,87%	86,76%	83,52%	77,83%
3B-Heurística 2	Inferior	88,34%	88,09%	87,64%	86,28%	82,37%	76,22%
	<b>Média</b>	<b>88,47%</b>	<b>88,27%</b>	<b>87,87%</b>	<b>86,67%</b>	<b>83,49%</b>	<b>77,68%</b>
	Superior	88,60%	88,46%	88,09%	87,05%	84,60%	79,15%
4B-Otimizador	Inferior	88,11%	87,70%	87,30%	86,71%	85,47%	82,78%
	<b>Média</b>	<b>88,27%</b>	<b>87,84%</b>	<b>87,51%</b>	<b>86,92%</b>	<b>85,92%</b>	<b>83,21%</b>
	Superior	88,43%	87,98%	87,71%	87,12%	86,36%	83,63%

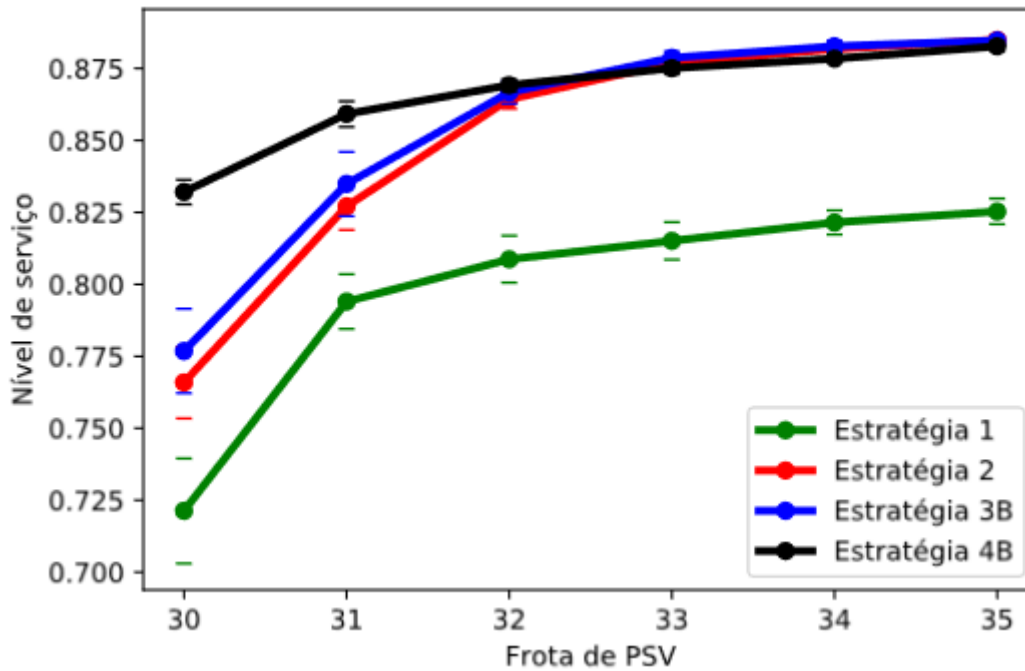


Figura 8: Nível de serviço de carga geral em relação ao tamanho da frota.

Os resultados evidenciam que a Estratégia 1 apresenta valores piores que as outras três estratégias para todos os tamanhos de frota. De 35 PSVs até 31 PSVs ela apresenta uma queda constante e pequena do nível de serviço, porém, com 30 PSVs os resultados pioram consideravelmente, evidenciando que esta frota é muito restritiva e acarreta problemas no abastecimento das UMs.

As Estratégias 2 e 3B apresentaram valores muito próximos, porém, sempre com uma pequena tendência de vantagem para a Estratégia 3B, que cresce conforme a frota de PSVs diminui. Essa tendência de vantagem pode ser atribuída a programação diferente de diesel que ela utiliza gerando tempos mais uniformes de berço e descarregamento. Os resultados de ambas as estratégias se deterioram consideravelmente quando a frota cai de 31 para 30 PSVs, decorrente da menor quantidade de PSVs disponíveis no fundeio no decorrer da simulação.

A Estratégia 4B apresenta resultados próximos aos das Estratégias 2 e 3B para as frotas de 35 a 33 PSVs, com uma leve tendência de piora, mesmo sendo um método exato de alocação. Esta tendência pode ser atribuída ao fato de que o foco de seleção de barco das outras duas estratégias é apenas na entrega de carga geral, visando o aumento ao máximo da mesma, já a Estratégia 4B também contabiliza, na sua função objetivo, os pedidos diesel, podendo selecionar um PSV com capacidade maior de carga geral do que o necessário, porém, que consiga entregar mais pedidos de diesel, com isso deixa barcos menores para viagens futuras.

Com 32 PSVs a Estratégia 4B apresenta tendências de resultados ligeiramente melhores que as Estratégias 2 e 3B. Com a frota de 30 e 31 PSVs os resultados ficam muito melhores quando comparados com as outras estratégias, com uma diminuição muito mais branda do nível de serviço. Não se pode afirmar que este seja o único motivador destes resultados melhores para a Estratégia 4B em comparação com as outras, mas a sua função objetivo prioriza programar cargas mais recentes, que apresentam grandes possibilidades de serem entregues no prazo, em detrimento de cargas que estejam na fila há mais tempo e que seriam entregues com atraso. Esta priorização não ocorre nas outras estratégias.

Como os intervalos de confiança das Estratégias 2, 3B e 4B se cruzam, para as frotas de 32 até 35 PSVs, não se pode afirmar que uma seja melhor que a outra, apenas que ela apresenta uma tendência de melhores resultados.

Esta característica da Estratégia 4B só mostrou resultados melhores para a frota de 30 e 31 PSVs pois são frotas mais restritivas para o modelo, o que acarreta que, em várias viagens, a demanda do *cluster* seja maior que a capacidade dos PSVs disponíveis. Assim pedidos ficaram no porto esperando uma nova viagem.

Na Tabela 10 e na Figura 9 são apresentados os resultados dos tempos médio de entrega de carga geral em dias.



Tabela 10: Tempo médio de entrega de carga geral em dias.

Estratégia		Frota					
		35	34	33	32	31	30
1-FIFO	Inferior	4,49	4,50	4,52	4,54	4,61	5,00
	<b>Média</b>	<b>4,51</b>	<b>4,53</b>	<b>4,56</b>	<b>4,60</b>	<b>4,66</b>	<b>5,16</b>
	Superior	4,53	4,55	4,60	4,66	4,71	5,33
2-Heurística 1	Inferior	4,19	4,20	4,23	4,28	4,44	4,77
	<b>Média</b>	<b>4,19</b>	<b>4,21</b>	<b>4,24</b>	<b>4,29</b>	<b>4,48</b>	<b>4,86</b>
	Superior	4,20	4,21	4,24	4,31	4,53	4,96
3B-Heurística 2	Inferior	4,18	4,19	4,21	4,27	4,38	4,69
	<b>Média</b>	<b>4,19</b>	<b>4,20</b>	<b>4,23</b>	<b>4,28</b>	<b>4,44</b>	<b>4,80</b>
	Superior	4,20	4,21	4,24	4,30	4,51	4,91
4B-Otimizador	Inferior	4,19	4,22	4,23	4,27	4,33	4,62
	<b>Média</b>	<b>4,20</b>	<b>4,23</b>	<b>4,25</b>	<b>4,28</b>	<b>4,37</b>	<b>4,67</b>
	Superior	4,21	4,23	4,26	4,30	4,41	4,73

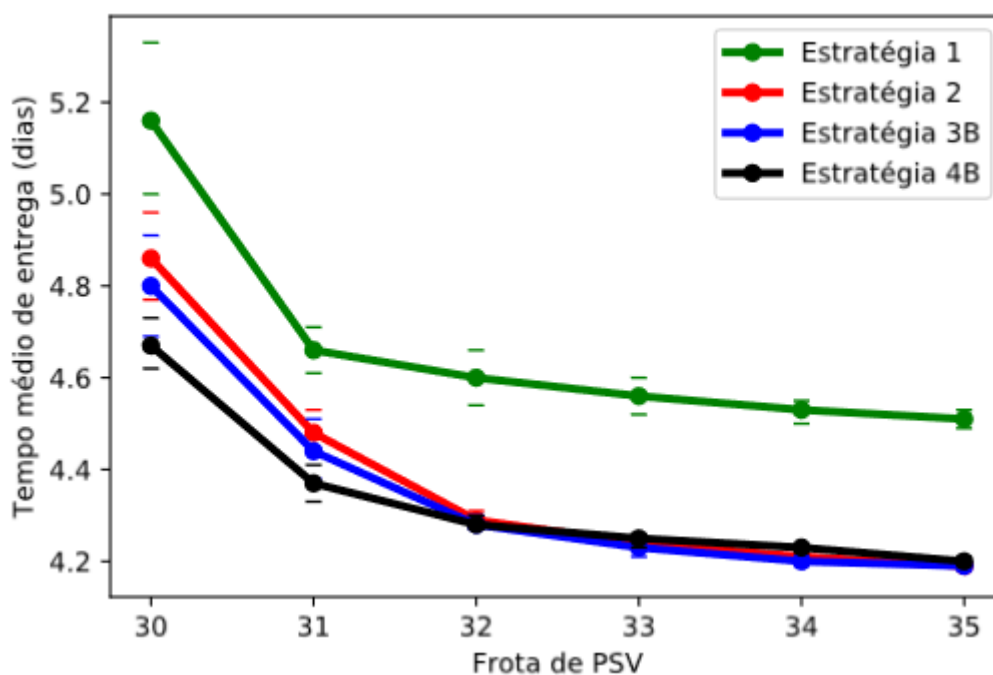


Figura 9: Tempo médio de espera em dias em relação ao tamanho da frota.

Os tempos médios de entrega seguem os mesmos padrões dos avaliados no indicador anterior de nível de serviço, com o mesmo comportamento das curvas e dos resultados, também motivados pelas mesmas razões.

A única diferença aparente, ao se observar, principalmente os gráficos, é que com 30 e 31 PSVs os resultados obtidos pela Estratégia 4B não são superiores aos das Estratégias 2 e 3B na mesma proporção que eram quando se tratava do nível de serviço. Esta diferença pode evidenciar que uma parte da vantagem obtida pela Estratégia 4B realmente se deve a escolha dos pedidos novos em detrimento dos antigos como suspeitado e mencionado anteriormente, já que essa diferença de escolha não faria diferença ao se analisar o tempo médio de entrega.

Por último, estão na Tabela 11 os resultados referentes ao espaço ocioso de carga geral nos PSVs, dado em lingadas.

**Tabela 11: Espaço ocioso de carga geral nos PSVs, em lingadas.**

Estratégia		Frota					
		35	34	33	32	31	30
1-FIFO	Inferior	16,36	16,44	16,30	16,24	15,88	13,55
	<b>Média</b>	<b>16,45</b>	<b>16,53</b>	<b>16,38</b>	<b>16,34</b>	<b>16,15</b>	<b>13,98</b>
	Superior	16,54	16,62	16,47	16,44	16,41	14,41
2-Heurística 1	Inferior	14,67	15,29	15,63	15,91	15,69	13,75
	<b>Média</b>	<b>14,77</b>	<b>15,39</b>	<b>15,74</b>	<b>16,05</b>	<b>15,93</b>	<b>14,15</b>
	Superior	14,87	15,50	15,85	16,19	16,18	14,56
3B-Heurística 2	Inferior	14,67	15,26	15,68	15,93	15,81	13,99
	<b>Média</b>	<b>14,80</b>	<b>15,37</b>	<b>15,78</b>	<b>16,03</b>	<b>16,04</b>	<b>14,34</b>
	Superior	14,92	15,48	15,89	16,14	16,28	14,70
4B-Otimizador	Inferior	17,18	16,83	16,64	16,55	16,00	13,99
	<b>Média</b>	<b>17,26</b>	<b>16,95</b>	<b>16,75</b>	<b>16,67</b>	<b>16,30</b>	<b>14,35</b>
	Superior	17,35	17,06	16,86	16,79	16,61	14,70

A Estratégia 1 apresenta um espaço ocioso que decresce aos poucos com a redução da frota até 31 PSVs e que reduz significativamente para a frota de 30 PSVs. Essa redução deve-se ao fato que com frotas menores a tendência é que mais cargas sejam levadas por viagem.

Já para as Estratégias 2 e 3B, que apresentam a programação de carga geral igual, os valores começam baixos e vão crescendo com a redução da frota até 31 PSVs, já com 30 PSVs o espaço ocioso reduz, como o que ocorreu na Estratégia 1. Estes comportamentos têm duas explicações diferentes: a queda com frota de 30 PSVs decorre do fato da frota ter ficado muito restritiva e com isso feito com que a demanda

por viagem fosse muito maior; já o crescimento do espaço ocioso de 35 até 31 PSVs, pode parecer estranho à primeira vista, já que, como mencionado anteriormente, a demanda por viagem aumenta para frotas menores, porém, esse aumento da demanda acarreta que sejam selecionados PSVs com maiores capacidades para supri-las por completo, e com isso essa seleção acaba acarretando um aumento no espaço ocioso de ambas as estratégias.

A Estratégia 4B apresenta os maiores valores de espaço ocioso dentre as estratégias apresentadas. Este comportamento se deve ao fato de que esta estratégia também prioriza a entrega de diesel, fazendo com que sejam selecionados PSVs maiores que os necessários, quando se trata de carga geral, para que maiores quantidades de pedidos de diesel sejam atendidos. Este comportamento leva a utilização de barcos maiores e por consequência apresenta maiores valores de espaço ocioso, valores estes que naturalmente apresentam quedas conforme a frota diminui e a demanda relativa, por consequência, aumenta. Novamente, como visto nas outras três estratégias, os valores caem acentuadamente para uma frota de 30 PSVs motivada pelo fato de que o modelo fica muito restrito.

#### **6.2.1.2 Indicadores de diesel**

Para a análise do diesel foram tomados dois principais indicadores: número de ocorrências de *stockout* de diesel; e espaço ocioso de diesel nos tanques dos PSVs ao saírem do porto, conforme mencionado no início da Seção 6.2.1.

Na Tabela 12 seguem os resultados das ocorrências de *stockout* de diesel.

Tabela 12: Ocorrências de *stockout* de diesel.

Estratégia		Frota					
		35	34	33	32	31	30
1-FIFO	Inferior	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Média</b>	<b>0,13</b>	<b>0,20</b>	<b>0,00</b>	<b>0,20</b>	<b>0,13</b>	<b>0,40</b>
	Superior	0,26	0,38	0,00	0,41	0,30	0,81
2-Heurística 1	Inferior	0,02	0,18	0,04	0,00	0,00	0,05
	<b>Média</b>	<b>0,47</b>	<b>0,80</b>	<b>0,40</b>	<b>0,73</b>	<b>0,20</b>	<b>0,53</b>
	Superior	0,91	1,42	0,76	1,57	0,48	1,02
3B-Heurística 2	Inferior	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,07
	<b>Média</b>	<b>0,17</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,13</b>	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>
	Superior	0,36	0,43	0,38	0,26	0,42	0,39
4B-Otimizador	Inferior	0,00	0,03	0,02	0,14	0,08	0,05
	<b>Média</b>	<b>0,10</b>	<b>0,17</b>	<b>0,23</b>	<b>0,37</b>	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>
	Superior	0,21	0,31	0,45	0,60	0,52	0,35

Os resultados obtidos de ocorrências de *stockout* de diesel foram muito parecidos para todas as estratégias, variando entre 0 e 0,8, com seus limites inferiores quase sempre iguais a zero. Também pode-se verificar que as ocorrências não têm uma ligação direta com o tamanho da frota, variando aleatoriamente para todos os casos. A única exceção foi a Estratégia 2, que apresentou números ligeiramente maiores de ocorrências de *stockout*, com os limites inferiores ligeiramente maiores que 0, mesmo sendo uma estratégia que apresenta um procedimento mais guloso de programação para o diesel que os utilizados nas Estratégias 3B e 4B.

Na Tabela 13 são apresentados os resultados do espaço ocioso de diesel nos PSVs, dados em m<sup>3</sup>.

**Tabela 13: Espaço ocioso nos tanques de diesel dos PSVs em m<sup>3</sup>.**

Estratégia		Frota					
		35	34	33	32	31	30
1-FIFO	Inferior	254,11	255,07	249,34	251,02	250,54	246,50
	<b>Média</b>	<b>256,37</b>	<b>257,02</b>	<b>252,02</b>	<b>253,30</b>	<b>252,94</b>	<b>249,15</b>
	Superior	258,63	258,97	254,70	255,59	255,34	251,79
2-Heurística 1	Inferior	241,66	244,68	248,40	251,06	252,37	250,72
	<b>Média</b>	<b>243,87</b>	<b>247,71</b>	<b>251,40</b>	<b>253,77</b>	<b>254,67</b>	<b>253,25</b>
	Superior	246,08	250,74	254,41	256,48	256,96	255,78
3B-Heurística 2	Inferior	678,88	687,76	697,42	702,36	703,15	693,71
	<b>Média</b>	<b>680,98</b>	<b>690,39</b>	<b>699,63</b>	<b>704,27</b>	<b>705,74</b>	<b>696,98</b>
	Superior	683,09	693,01	701,85	706,19	708,34	700,25
4B-Otimizador	Inferior	722,73	716,98	715,36	715,07	705,86	697,10
	<b>Média</b>	<b>724,94</b>	<b>719,79</b>	<b>718,43</b>	<b>717,37</b>	<b>709,76</b>	<b>700,62</b>
	Superior	727,15	722,61	721,49	719,67	713,66	704,14

As Estratégias 1 e 2, por apresentarem um procedimento guloso em relação ao diesel, apresentam valores bem menores de espaço ocioso nos tanques de diesel do que os apresentados nas Estratégias 3B e 4B. Quanto mais espaço ocioso nos PSVs, menos diesel está sendo transportado inutilmente por viagem, ou seja, um espaço ocioso maior significa uma melhor gestão do recurso diesel na operação como um todo e também um indicativo de que o PSV está navegando mais leve, podendo economizar combustível e equipamentos.

Nas duas primeiras estratégias o espaço ocioso é muito parecido e não parece ser dependente do tamanho da frota, girando sempre em torno de 250m<sup>3</sup>. Já na Estratégia 3B verifica-se valores que começam em 680m<sup>3</sup> com 35 PSVs e crescem constantemente até atingirem 705m<sup>3</sup> com 31 PSVs, porém, voltam a cair, para 696m<sup>3</sup>, com 30 PSVs, resultados semelhantes aos observados na Tabela 11, tendo a mesma motivação.

Na Estratégia 4B o resultado esperado é visto, conforme a frota utilizada diminui, o espaço ocioso também diminui, de 725m<sup>3</sup> com 35 PSVs para 700m<sup>3</sup> com 30 PSVs, pois as visitas tendem a demorar um pouco mais para ocorrerem e com isso a demanda no momento da programação é maior, resultando em menos espaço ocioso nos tanques.

### 6.2.1.3 Indicadores de água

A priori, para a análise da água, seriam tomados dois indicadores, nos mesmos moldes dos indicadores de diesel, número de ocorrências de *stockout* de água e espaço ocioso de água nos tanques dos PSVs ao saírem do porto, porém, com a mudança da programação de água, que seria inicialmente utilizada nas Estratégias 3 e 4, para a mesma utilizada nas Estratégias 1 e 2, não se faz relevante a análise do indicador de espaço ocioso de água no tanque do PSV, já que todos apresentarão valores muito próximos.

Com isso, são apresentados, na Tabela 14, apenas os resultados das ocorrências de *stockout* de água das UMs.

**Tabela 14: Ocorrências de *stockout* de água.**

Estratégia		Frota					
		35	34	33	32	31	30
1-FIFO	Inferior	0,34	0,66	0,59	0,53	0,75	0,53
	<b>Média</b>	<b>0,73</b>	<b>1,00</b>	<b>0,93</b>	<b>0,93</b>	<b>1,17</b>	<b>0,97</b>
	Superior	1,12	1,34	1,27	1,34	1,58	1,40
2-Heurística 1	Inferior	0,35	0,42	0,56	0,78	0,45	0,32
	<b>Média</b>	<b>0,67</b>	<b>0,77</b>	<b>0,97</b>	<b>1,13</b>	<b>0,77</b>	<b>0,70</b>
	Superior	0,98	1,12	1,38	1,48	1,09	1,08
3B-Heurística 2	Inferior	0,49	0,70	0,37	0,56	0,49	0,69
	<b>Média</b>	<b>0,87</b>	<b>1,03</b>	<b>0,63</b>	<b>0,87</b>	<b>0,83</b>	<b>1,10</b>
	Superior	1,24	1,37	0,90	1,17	1,17	1,51
4B-Otimizador	Inferior	0,26	0,29	0,38	0,44	0,63	0,90
	<b>Média</b>	<b>0,50</b>	<b>0,63</b>	<b>0,73</b>	<b>0,73</b>	<b>1,00</b>	<b>1,27</b>
	Superior	0,74	0,98	1,09	1,03	1,37	1,63

Por todas as estratégias apresentarem o mesmo modo de programação de água, todas obtiveram resultados bem parecidos, com quantidades de *stockout* variando entre 0,5 e 1,3, com seus intervalos inferiores sempre distantes de zero. Vale ressaltar que o tamanho da frota não parece ter uma ligação direta com as quantidades de *stockout* observadas, sendo a Estratégia 4B a única em que o número de *stockout* cresceu constantemente com a redução do tamanho da frota, em todas as outras os números parecem diminuir ou crescer aleatoriamente.

Como a programação utilizada para a água é a mais gulosa possível, sempre atendendo a necessidade da UM no momento da atracação, e mesmo assim, ainda apresenta ocorrências consideráveis de *stockout*, uma outra abordagem para a água se faz necessária. Duas medidas podem ser tomadas: na primeira pode ser adotado o mesmo limitador presente no abastecimento de diesel para o caso do abastecimento de água, no sentido de estipular um limite máximo de água que cada UM do *cluster*, excetuando-se a última, possa receber, garantindo assim que não falte água para as próximas UMs; se a primeira não der certo, a utilização de frotas de apoio responsáveis apenas pelo carregamento de água pode ser a melhor solução para diminuir estas ocorrências para valores próximos de zero.

#### 6.2.1.4 Indicadores de porto

O porto também é um recurso importante do sistema e em várias situações pode ser um limitador das operações *offshore*, por causa disso, um bom gerenciamento dele é fundamental, motivando a análise de um indicador relacionado ao tempo que os PSVs gastam no porto realizando as operações no berço. Os resultados deste indicador estão presentes na Tabela 15 e são dados em horas.

Tabela 15: Tempo médio gasto no berço em horas.

Estratégia		Frota					
		35	34	33	32	31	30
1-FIFO	Inferior	13,55	13,46	13,51	13,55	13,52	13,91
	<b>Média</b>	<b>13,60</b>	<b>13,51</b>	<b>13,56</b>	<b>13,61</b>	<b>13,60</b>	<b>14,05</b>
	Superior	13,66	13,57	13,62	13,66	13,68	14,19
2-Heurística 1	Inferior	13,43	13,43	13,50	13,45	13,57	14,01
	<b>Média</b>	<b>13,48</b>	<b>13,49</b>	<b>13,56</b>	<b>13,50</b>	<b>13,64</b>	<b>14,12</b>
	Superior	13,52	13,55	13,62	13,55	13,72	14,23
3B-Heurística 2	Inferior	13,35	13,35	13,36	13,34	13,43	13,73
	<b>Média</b>	<b>13,42</b>	<b>13,41</b>	<b>13,43</b>	<b>13,39</b>	<b>13,51</b>	<b>13,85</b>
	Superior	13,48	13,47	13,49	13,45	13,59	13,98
4B-Otimizador	Inferior	13,43	13,42	13,38	13,41	13,37	13,84
	<b>Média</b>	<b>13,49</b>	<b>13,48</b>	<b>13,44</b>	<b>13,49</b>	<b>13,46</b>	<b>13,94</b>
	Superior	13,54	13,54	13,49	13,56	13,56	14,04

As quatro estratégias apresentam comportamento parecido no quesito de relação com o tamanho da frota. De 35 PSVs até 31 PSVs não há grande mudança e nem uma

relação clara de aumento ou redução do tempo de berço. A exceção se encontra para a frota de 30 PSVs, neste caso, para todas as estratégias, houve um aumento considerável no tempo de berço. Este comportamento ocorre pelo fato de que, a partir desse tamanho de frota, começa a haver uma escassez maior de PSVs disponíveis no fundeio para programação, gerando atrasos no atendimento dos cronogramas e por consequência fazendo com que as demandas se acumulem, exigindo um maior tempo para o carregamento.

As Estratégias 3B e 4B, por apresentarem uma programação mais inteligente de diesel, onde nem sempre todo o tanque é preenchido, obtêm um tempo de berço com tendências um pouco menores que os apresentados pelas Estratégias 1 e 2.

#### 6.2.1.5 *Tempos de execução*

Além dos indicadores provenientes diretamente dos modelos, outro importante avaliador da performance das estratégias aqui apresentadas e do simulador em si, são os tempos de execução das rodadas de experimentos, ressaltando que tempos de execução competitivos são muito importantes para uma resposta rápida nas situações reais do mercado.

Os valores apresentados na Tabela 16 são referentes as 30 replicações de cada um dos experimentos e são dados em minutos, por ser o valor do tempo de execução de apenas um experimento ele não apresenta intervalo de confiança, apenas o tempo gasto para todas as 30 replicações.

**Tabela 16: Tempos de execução das 30 replicações em minutos.**

Estratégia	Frota					
	35	34	33	32	31	30
1-FIFO	4,48	4,56	4,60	4,03	4,09	4,07
2-Heurística 1	4,47	4,59	4,50	4,47	4,55	4,62
3B-Heurística 2	4,09	4,15	4,14	4,14	4,18	4,29
4B-Otimizador	134,94	107,86	88,29	68,07	52,98	46,62

Os tempos de execução das Estratégias 1, 2 e 3B foram parecidos, variando entre 4 e menos de 5 minutos, considerando que apenas uma medição foi tomada, pode-se considerar os três tempos iguais, já que eles podem ter pequenas variações diretamente relacionadas a fatores de utilização por outros usuários do servidor onde os experimentos foram realizados.



Como era esperado, a Estratégia 4B, que considera o modelo exato de otimização, apresentou um tempo de execução maior. Este tempo é bem influenciado pelo tamanho da frota, quanto mais restritiva é a frota, mais rápido é a execução do experimento, variando de 135 min com 35 PSVs para apenas 46 minutos com 30 PSVs, tempos que mesmo aparentemente altos podem ser considerados interessantes para situações reais.

### 6.2.2 Cenário 2

Sempre que há a programação de qual PSV vai atender o próximo cronograma e quais carga ele levará, é reservado um valor fixo da sua capacidade de carga geral. Este valor é uma folga, que visa possibilitar um maior transporte de cargas de *backload*, minimizando o número de cargas deixadas nas UMs após o atendimento.

O impacto desse valor, descontado das capacidades dos PSVs, e o quanto ele realmente é útil para evitar que cargas de *backload* fiquem para trás nas UMs é desconhecido, portanto, o foco dos testes presentes nesta seção é descobrir qual o real bônus ou ônus que estes espaços acarretam para a alocação de cargas.

Para poder avaliar o impacto das mudanças, foram utilizados os indicadores já mencionados anteriormente para carga geral: nível de serviço, tempo médio de entrega e espaço ocioso de carga geral. Com o intuito de também poder avaliar o impacto das mudanças na retirada das cargas de *backload*, foi utilizado um indicador que mostra sempre que o PSV, após descarregar os pedidos da UM, não consiga carregar todos os pedidos de carga de *backload* que a respectiva UM tenha, ou seja, que o PSV termine a sua operação na UM e a mesma ainda tenha cargas de *backload*.

Para todos os tamanhos de frota, variando de 35 até 30 PSVs, foram realizadas 30 replicações com duração de 180 dias de simulação com 90 dias de aquecimento. Em toda redução de frota, é retirado um PSV cuja capacidade de transporte de carga geral seja próxima da capacidade média da frota. O cenário apresenta um total de 90 UMs divididas em 23 *clusters*, o porto possui 6 berços com um total de 46 cronogramas disponíveis por semana. Além disso, todos os indicadores foram obtidos com um intervalo de 95% de confiança.

Para uma avaliação ampla dos impactos do parâmetro de desconto nas capacidades dos PSVs, ele foi variado de 0 até 25 lingadas, aumentando de 5 em 5 para cada teste. Foi escolhida a Estratégia 3B para a realização destes experimentos, já que a mesma apresentou resultados muito próximos dos obtidos com o otimizador da

Estratégia 4B, porém, com um custo menor de tempo de simulação, tornando-se vantajosa para a realização das experimentações deste cenário.

Na Tabela 17 seguem os resultados para uma frota de 35 PSVs e na Figura 10 os gráficos relacionados aos dois indicadores mais importante para essa análise: ocorrências de *backload* acumulado e nível de serviço. Como os valores observados para a política com 25 espaços reservados destoam muito dos outros, ele será excluído dos gráficos que compõem as Figuras 10, 11, 12, 13, 14 e 15 para uma melhor visualização dos mesmos.

Tabela 17: Indicadores de carga geral e carga de *backload* com 35 PSVs.

Indicador		Espaço reservado para <i>backload</i>					
		0	5	10	15	20	25
Ocorrências de <i>backload</i> acumulado	Inferior	264,48	232,53	197,06	152,28	137,01	133,52
	<b>Média</b>	<b>274,83</b>	<b>240,77</b>	<b>203,50</b>	<b>159,57</b>	<b>142,97</b>	<b>138,43</b>
	Superior	285,19	248,96	209,94	166,85	148,92	143,35
Nível de serviço	Inferior	88,50%	88,53%	88,34%	88,02%	83,00%	59,88%
	<b>Média</b>	<b>88,65%</b>	<b>88,64%</b>	<b>88,47%</b>	<b>88,19%</b>	<b>83,79%</b>	<b>61,00%</b>
	Superior	88,79%	88,75%	88,60%	88,37%	84,58%	62,11%
Tempo médio de entrega	Inferior	4,18	4,17	4,18	4,20	4,39	7,27
	<b>Média</b>	<b>4,18</b>	<b>4,18</b>	<b>4,19</b>	<b>4,21</b>	<b>4,44</b>	<b>7,45</b>
	Superior	4,19	4,19	4,20	4,22	4,49	7,62
Espaço ocioso no PSV	Inferior	24,21	19,33	14,67	10,67	7,19	4,01
	<b>Média</b>	<b>24,35</b>	<b>19,47</b>	<b>14,80</b>	<b>10,75</b>	<b>7,28</b>	<b>4,08</b>
	Superior	24,49	19,61	14,92	10,84	7,37	4,16

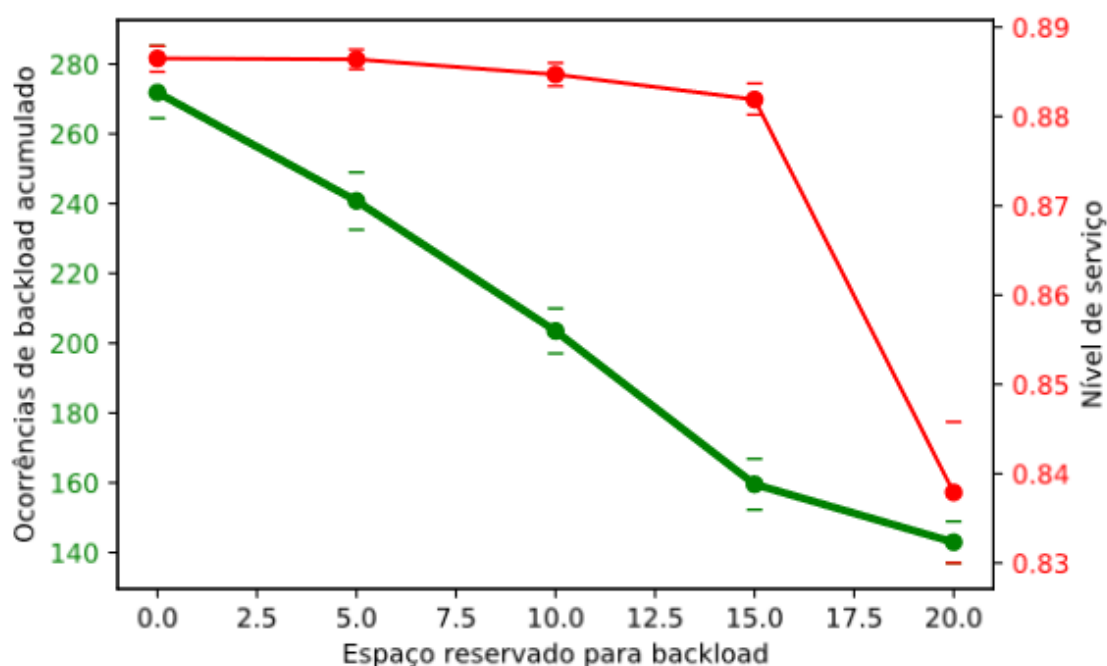


Figura 10: Nível de serviço e ocorrências de *backload* acumulado com 35 PSVs.

Para 35 PSVs o nível de serviço se mantém constante até um espaço reservado de 15, porém, a quantidade de ocorrências de *backload* acumulado tem uma queda considerável com a variação do espaço reservado de 0 até 15, a partir desse número a redução é muito menor e a queda do nível de serviço se acentua.

O tempo médio de entrega segue o mesmo comportamento do nível de serviço. O espaço ocioso cai a cada aumento do espaço reservado, vale ressaltar que com o valor de 15 para este espaço reservado, o espaço ocioso médio é de 10,75, valor muito menor do que todos os apresentados na Tabela 11 e mesmo assim apresenta o nível de serviço alto.

Na Tabela 18 seguem os resultados para uma frota de 34 PSVs e na Figura 11 os gráficos relacionados aos dois indicadores mais importante para essa análise: ocorrências de *backload* acumulado e nível de serviço.

**Tabela 18: Indicadores de carga geral e carga de *backload* com 34 PSVs.**

Indicador		Espaço reservado para <i>backload</i>					
		0	5	10	15	20	25
Ocorrências de <i>backload</i> acumulado	Inferior	266,82	232,78	193,64	162,78	143,83	145,61
	<b>Média</b>	<b>274,50</b>	<b>241,00</b>	<b>201,17</b>	<b>169,60</b>	<b>151,40</b>	<b>151,87</b>
	Superior	282,18	249,22	208,69	176,42	158,97	158,13
Nível de serviço	Inferior	88,53%	88,45%	88,09%	87,21%	78,17%	56,03%
	<b>Média</b>	<b>88,68%</b>	<b>88,58%</b>	<b>88,27%</b>	<b>87,46%</b>	<b>79,22%</b>	<b>57,48%</b>
	Superior	88,82%	88,71%	88,46%	87,71%	80,27%	58,93%
Tempo médio de entrega	Inferior	4,17	4,18	4,19	4,24	4,64	7,72
	<b>Média</b>	<b>4,18</b>	<b>4,19</b>	<b>4,20</b>	<b>4,25</b>	<b>4,72</b>	<b>7,92</b>
	Superior	4,19	4,19	4,21	4,26	4,79	8,12
Espaço ocioso no PSV	Inferior	24,65	19,80	15,26	11,03	7,07	3,38
	<b>Média</b>	<b>24,77</b>	<b>19,96</b>	<b>15,37</b>	<b>11,11</b>	<b>7,15</b>	<b>4,94</b>
	Superior	24,88	20,12	15,48	11,19	7,23	4,05

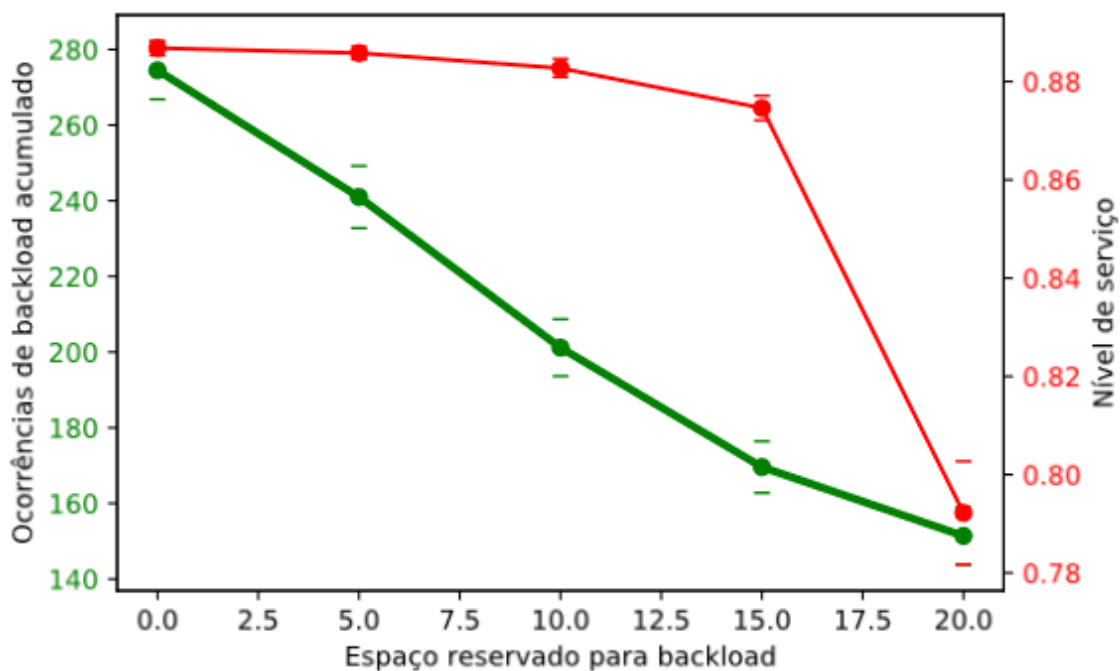


Figura 11: Nível de serviço e ocorrências de backload acumulado com 34 PSVs.

Os mesmos comportamentos observados com 35 PSVs também podem ser observados com 34 PSVs. O nível de serviço só tem uma queda substancial a partir de 20 espaços reservados e a queda do número de ocorrências de acúmulo também tem uma queda na redução no mesmo momento. A redução do nível de serviço com 25 espaços reservados é muito acentuada, não tendo nenhum ganho nas ocorrências de *backload* acumulado.

Novamente o comportamento se repete ao observado com 35 PSVs quando se analisa o tempo médio de espera, que segue os resultados do nível de serviço, e do espaço ocioso, ou seja, que se reduz conforme o espaço reservado cresce.

Na Tabela 19 seguem os resultados para uma frota de 33 PSVs e na Figura 12 os gráficos relacionados aos dois indicadores mais importante para essa análise: ocorrências de *backload* acumulado e nível de serviço.

Tabela 19: Indicadores de carga geral e carga de *backload* com 33 PSVs.

Indicador		Espaço reservado para <i>backload</i>					
		0	5	10	15	20	25
Ocorrências de <i>backload</i> acumulado	Inferior	269,52	230,60	200,37	174,80	165,00	173,90
	<b>Média</b>	<b>280,00</b>	<b>239,63</b>	<b>210,33</b>	<b>182,57</b>	<b>172,43</b>	<b>179,17</b>
	Superior	290,48	248,66	220,29	190,33	179,86	184,43
Nível de serviço	Inferior	88,26%	88,26%	87,64%	85,41%	72,41%	48,19%
	<b>Média</b>	<b>88,42%</b>	<b>88,42%</b>	<b>87,87%</b>	<b>85,85%</b>	<b>73,43%</b>	<b>49,67%</b>
	Superior	88,57%	88,57%	88,09%	86,29%	74,45%	51,15%
Tempo médio de entrega	Inferior	4,18	4,18	4,21	4,30	5,13	8,91
	<b>Média</b>	<b>4,19</b>	<b>4,19</b>	<b>4,23</b>	<b>4,33</b>	<b>5,24</b>	<b>9,14</b>
	Superior	4,20	4,20	4,24	4,35	5,34	9,34
Espaço ocioso no PSV	Inferior	25,12	20,24	15,68	11,23	7,00	3,71
	<b>Média</b>	<b>25,23</b>	<b>20,35</b>	<b>15,78</b>	<b>11,32</b>	<b>7,09</b>	<b>3,83</b>
	Superior	25,35	20,47	15,89	11,41	7,17	3,96

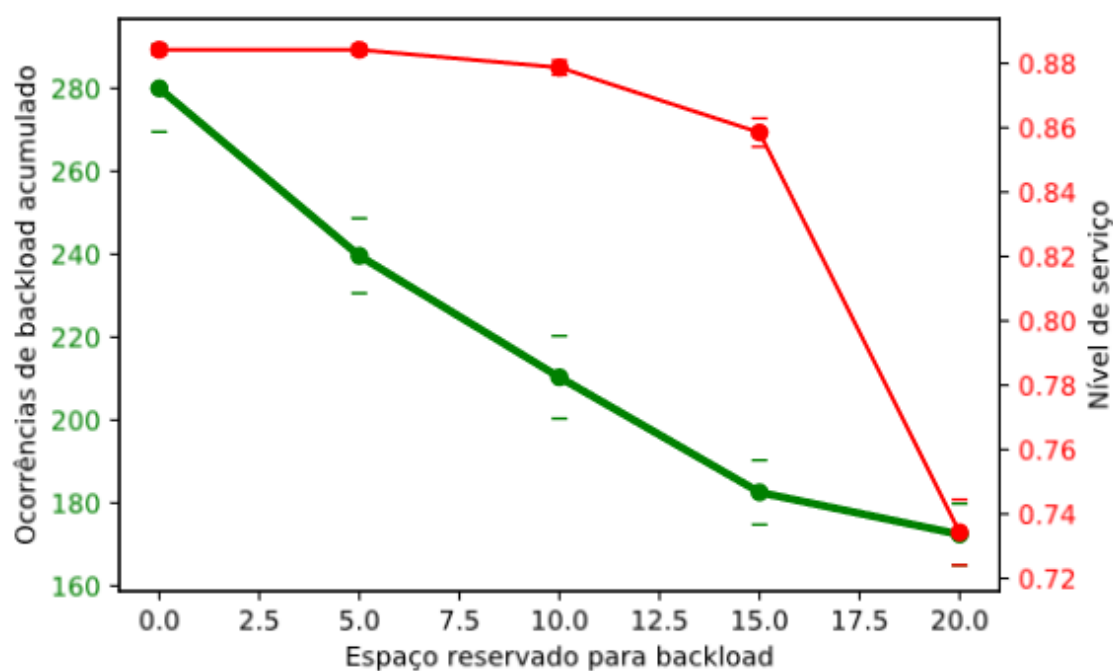


Figura 12: Nível de serviço e ocorrências de backload acumulado com 33 PSVs.

Com 33 PSVs o comportamento continua não apresentando muitas mudanças. A redução do nível de serviço com 15 espaços reservado já é mais significativa, mas o ganho na redução das ocorrências de acúmulo de *backload* também são consideráveis. A redução do nível de serviço com 20 e, principalmente, com 25 espaços reservados só

se acentua, em contrapartida a redução das ocorrências de *backload* acumulado decai, revelando serem, estes dois valores, não competitivos com os demais.

O tempo médio de entrega se comporta igual ao nível de serviço, ou seja, apresenta crescimento junto com o espaço reservado. Comportamento contrário é observado no espaço ocioso, que diminui junto com o espaço reservado.

Os resultados para uma frota de 32 PSVs são apresentados na Tabela 20 e o gráfico dos indicadores de ocorrências de *backload* acumulado e nível de serviço na Figura 13.

**Tabela 20: Indicadores de carga geral e carga de *backload* com 32 PSVs.**

Indicador		Espaço reservado para <i>backload</i>					
		0	5	10	15	20	25
Ocorrências de <i>backload</i> acumulado	Inferior	297,98	263,24	223,42	203,13	188,56	181,98
	<b>Média</b>	<b>307,83</b>	<b>277,00</b>	<b>233,57</b>	<b>211,93</b>	<b>197,07</b>	<b>190,27</b>
	Superior	317,68	290,76	243,71	220,74	205,57	198,55
Nível de serviço	Inferior	87,88%	87,31%	86,28%	82,03%	66,47%	43,43%
	<b>Média</b>	<b>88,06%</b>	<b>87,63%</b>	<b>86,67%</b>	<b>82,81%</b>	<b>67,34%</b>	<b>43,87%</b>
	Superior	88,23%	87,96%	87,05%	83,59%	68,22%	46,30%
Tempo médio de entrega	Inferior	4,20	4,21	4,27	4,44	5,98	9,83
	<b>Média</b>	<b>4,21</b>	<b>4,23</b>	<b>4,28</b>	<b>4,49</b>	<b>6,10</b>	<b>10,15</b>
	Superior	4,22	4,24	4,30	4,53	6,23	10,47
Espaço ocioso no PSV	Inferior	25,58	20,70	15,93	11,31	7,06	3,61
	<b>Média</b>	<b>25,70</b>	<b>20,86</b>	<b>16,03</b>	<b>11,40</b>	<b>7,17</b>	<b>3,71</b>
	Superior	25,81	21,01	16,14	11,49	7,28	3,81

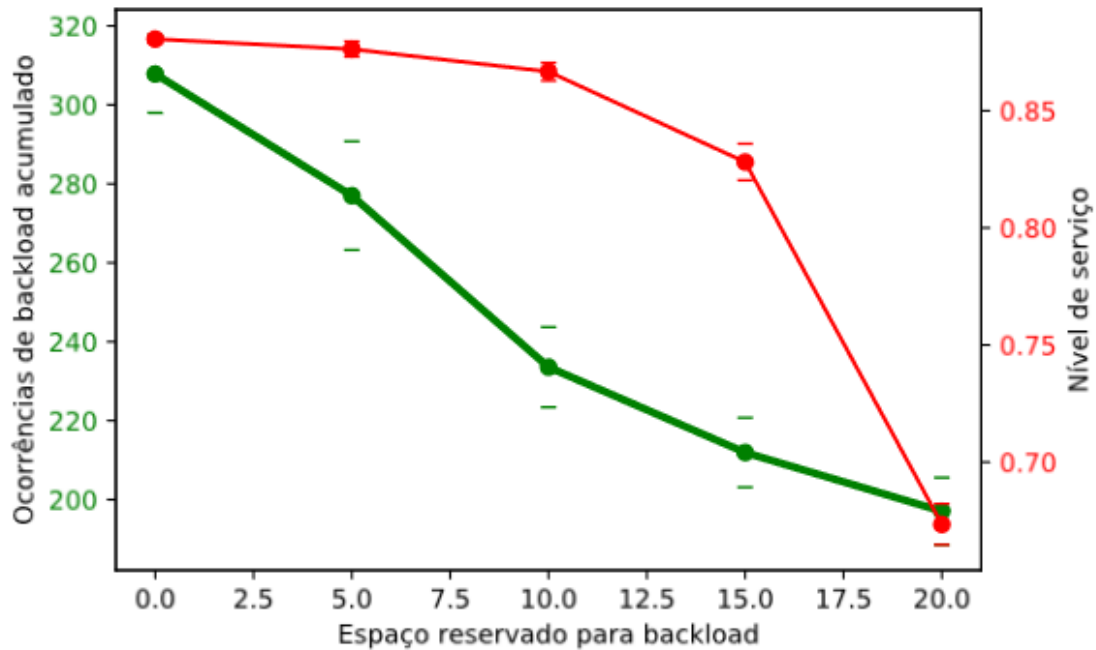


Figura 13: Nível de serviço e ocorrências de backload acumulado com 32 PSVs.

Com 32 PSVs verifica-se uma queda mais gradual do nível de serviço com o aumento do espaço reservado. Com nenhum espaço reservado o nível de serviço se mantém próximo do observado com 35 PSVs, mas com um custo de 30 ocorrências de acúmulo a mais.

Novamente os resultados com 20 e 25 espaços reservados estão muito abaixo dos outros. A taxa de redução das ocorrências de *backload* acumulado diminuiu para 15 espaços reservados, comportamento que ainda não havia sido observado.

O tempo médio de entrega continua com comportamento igual ao observado no nível de serviço. O espaço ocioso mantém o mesmo comportamento daquele identificado com os outros tamanhos de frota, porém, agora o espaço ocioso observado nos níveis de serviço mais competitivos é maior, com o menor na faixa dos observados na Tabela 11.

Os resultados para uma frota de 31 PSVs são apresentados na Tabela 21 e o gráfico dos indicadores de ocorrências de *backload* acumulado e nível de serviço na Figura 14.



Tabela 21: Indicadores de carga geral e carga de *backload* com 31 PSVs.

Indicador		Espaço reservado para <i>backload</i>					
		0	5	10	15	20	25
Ocorrências de <i>backload</i> acumulado	Inferior	332,07	298,38	272,90	242,94	230,64	223,62
	<b>Média</b>	<b>352,83</b>	<b>313,23</b>	<b>287,27</b>	<b>255,37</b>	<b>240,13</b>	<b>233,13</b>
	Superior	373,60	328,09	301,64	267,80	249,62	242,64
Nível de serviço	Inferior	86,59%	85,73%	82,37%	74,82%	58,90%	34,42%
	<b>Média</b>	<b>87,07%</b>	<b>86,30%</b>	<b>83,49%</b>	<b>75,95%</b>	<b>60,13%</b>	<b>36,25%</b>
	Superior	87,55%	86,86%	84,60%	77,07%	61,36%	38,09%
Tempo médio de entrega	Inferior	4,22	4,26	4,38	4,86	6,81	11,63
	<b>Média</b>	<b>4,25</b>	<b>4,29</b>	<b>4,44</b>	<b>4,98</b>	<b>7,01</b>	<b>11,98</b>
	Superior	4,27	4,31	4,51	5,10	7,20	12,32
Espaço ocioso no PSV	Inferior	25,54	20,61	15,81	11,14	6,93	3,57
	<b>Média</b>	<b>25,85</b>	<b>20,88</b>	<b>16,04</b>	<b>11,32</b>	<b>7,07</b>	<b>3,69</b>
	Superior	26,17	21,14	16,28	11,50	7,20	3,81

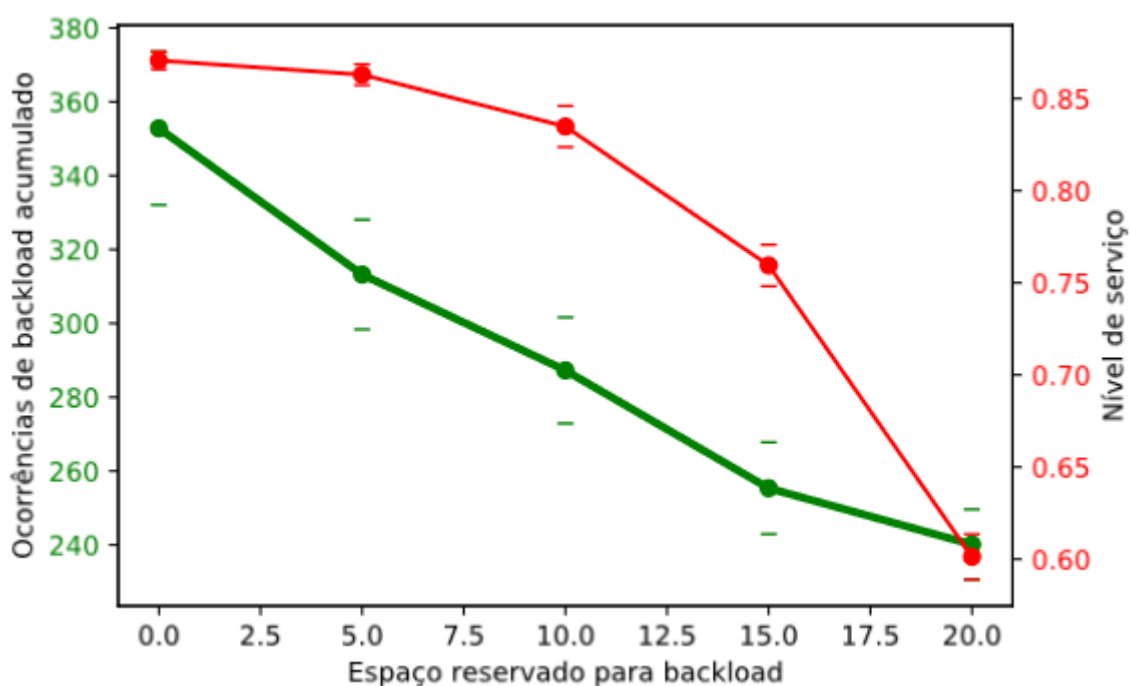


Figura 14: Nível de serviço e ocorrências de *backload* acumulado com 31 PSVs.

Com uma frota mais restritiva, de 31 PSVs, o número de ocorrências de *backload* acumulados dá um salto muito grande para as políticas com 0 e 5 espaços reservados, em compensação elas conseguem manter o nível de serviço em patamares muito elevados. A redução do nível de serviço com 15 espaços reservados é muito

acentuada se comparada a apresentada com 10, porém, apresenta uma redução considerável nas ocorrências de acúmulo de *backload*.

O tempo médio de entrega mantém o mesmo comportamento de crescimento com o aumento do espaço reservado. O espaço ocioso observado com 0 e 5 espaços reservados, os que obtêm os melhores níveis de serviço, mantendo-se praticamente no mesmo patamar, independentemente do tamanho da frota utilizada.

E por último, na Tabela 22, são apresentados os resultados para uma frota de 30 PSVs, o gráfico da Figura 15 apresenta os indicadores de ocorrências de *backload* acumulado e nível de serviço.

**Tabela 22: Indicadores de carga geral e carga de *backload* com 30 PSVs.**

Indicador		Espaço reservado para <i>backload</i>					
		0	5	10	15	20	25
Ocorrências de <i>backload</i> acumulado	Inferior	418,24	376,62	340,12	320,95	288,22	253,44
	<b>Média</b>	<b>439,67</b>	<b>393,47</b>	<b>354,90</b>	<b>333,63</b>	<b>304,33</b>	<b>263,77</b>
	Superior	461,09	410,31	367,68	346,31	320,45	274,10
Nível de serviço	Inferior	84,25%	82,56%	76,22%	63,08%	44,40%	25,23%
	<b>Média</b>	<b>84,85%</b>	<b>83,26%</b>	<b>77,68%</b>	<b>64,32%</b>	<b>46,78%</b>	<b>27,32%</b>
	Superior	85,45%	83,96%	79,15%	65,55%	49,14%	29,40%
Tempo médio de entrega	Inferior	4,33	4,41	4,69	6,02	8,66	13,83
	<b>Média</b>	<b>4,36</b>	<b>4,45</b>	<b>4,80</b>	<b>6,21</b>	<b>9,16</b>	<b>14,37</b>
	Superior	4,40	4,48	4,91	6,24	9,65	14,91
Espaço ocioso no PSV	Inferior	23,66	19,03	13,99	9,47	5,54	3,18
	<b>Média</b>	<b>24,11</b>	<b>19,40</b>	<b>14,34</b>	<b>9,68</b>	<b>5,84</b>	<b>3,31</b>
	Superior	24,56	19,76	14,70	9,89	6,14	3,45

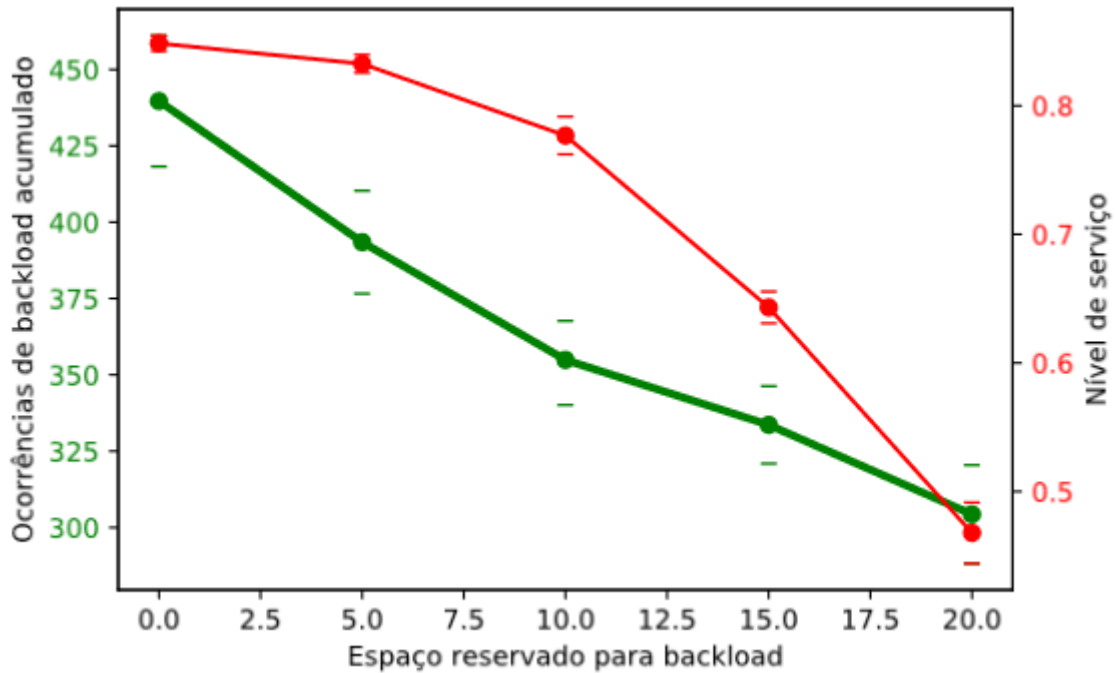


Figura 15: Nível de serviço e ocorrências de backload acumulado com 30 PSVs.

Com uma frota ainda mais restritiva, de 30 PSVs, o número de ocorrências de *backload* acumulados dá um salto maior para todos os espaços reservados, mas se intensifica ainda mais para os casos com 0 e 5, em compensação eles conseguem manter o nível de serviço em patamares muito elevados, comparáveis aos obtidos com a Estratégia 4B, presente na Tabela 9, para o mesmo tamanho de frota. A redução do nível de serviço com 15 espaços reservados é muito acentuada se comparada a apresentada com 10, porém, desta vez não apresenta uma redução compensatória no número de ocorrências de acúmulo de *backload*.

O tempo médio de entrega mantém o mesmo comportamento de crescimento com o aumento do espaço reservado. O espaço ocioso obtido com 0 e 5 espaços reservados, os que obtêm níveis de serviço em patamares muito superiores, continuam a apresentar os mesmos valores para todos os tamanhos de frota observados.

### 6.2.3 Cenário 3

Todas as reduções de frotas, realizadas nos cenários anteriores, selecionaram para retirada do sistema PSVs com tamanho médio para o transporte de carga geral, quando comparados a frota como um todo. Com o intuito de melhor avaliar os impactos da seleção de qual PSV será retirado do sistema, quando há redução de frota, foram propostas três políticas:

- i. *Política 1*: visa a retirada sempre do barco com maior capacidade de transporte de carga geral;
- ii. *Política 2*: é a utilizada até agora, retira o barco que apresenta capacidade de transporte de carga geral intermediária; e
- iii. *Política 3*: visa a retirada sempre do barco com menor capacidade de transporte de carga geral.

Ao se avaliar os resultados obtidos com estas três políticas deve-se levar em consideração que cada tamanho e tipo de PSV tem um custo financeiro diferente, então não se pode olhar apenas para os números aqui apresentados para dizer qual das políticas é melhor. Sendo, portanto, este um estudo apenas quantitativo e não qualitativo das políticas.

Para uma melhor elucidação da diferença dos cenários, seguem na Tabela 23 as capacidades de cada PSV retirado em cada uma das políticas, quando há redução da frota.

**Tabela 23: Capacidades dos PSVs retirados para cada valor de frota.**

Política	Capacidade	Redução da frota				
		35→34	34→33	33→32	32→31	31→30
1	Carga Geral	123	106	106	105	105
	Diesel (m <sup>3</sup> )	1640	1540	1390	1040	540
	Água (m <sup>3</sup> )	1650	1600	1500	1350	1250
2	Carga Geral	86	86	86	86	86
	Diesel (m <sup>3</sup> )	1015	1015	1015	1015	1015
	Água (m <sup>3</sup> )	1395	1395	1700	1395	1395
3	Carga Geral	60	65	66	66	66
	Diesel (m <sup>3</sup> )	640	640	640	640	640
	Água (m <sup>3</sup> )	640	1350	1350	1350	1350

Para todos os tamanhos de frota, variando de 34 até 30 PSVs, já que com 35 PSVs a frota para as três políticas é igual, pois ainda não houve nenhuma diminuição da frota, foram realizadas 30 replicações com duração de 180 dias de simulação com 90 dias de aquecimento. Neste cenário o espaço deixado no PSV para o primeiro *backload* foi de 10 unidades, com um total de 90 UMs divididas em 23 *clusters*, o porto possui 6 berços com um total de 46 cronogramas disponíveis por semana. Além disso, todos os indicadores foram obtidos com um intervalo de 95% de confiança.

Novamente, foi escolhida a Estratégia 3B para a realização destes experimentos, por apresentar resultados muito próximos dos obtidos com o otimizador da Estratégia 4B, porém, com um menor tempo de simulação, tornando-a vantajosa, também, para a realização das experimentações deste cenário.

Para poder analisar qual o impacto que as diferentes políticas causaram nas operações é necessário a escolha de indicadores que melhor retratem as mudanças. Como as políticas mexem com as capacidades dos três produtos, faz-se necessário que o principal indicador de cada produto seja avaliado: nível de serviço para carga geral; ocorrências de *stockout* de diesel; e ocorrências de *stockout* de água. Além dos principais indicadores, também se mostra interessante a análise das capacidades ociosas dos PSVs para cada um dos produtos.

Na Tabela 24 seguem todos os indicadores dos resultados obtidos para as três políticas com um tamanho de frota de 34 PSVs.

**Tabela 24: Indicadores para as três políticas com 34 PSVs.**

Política	Carga geral		Diesel		Água		
	Nível de serviço	Espaço ocioso	<i>Stockouts</i>	Espaço ocioso	<i>Stockouts</i>	Espaço ocioso	
1	Inferior	88,10%	14,57	0,00	678,70	0,47	10,03
	<b>Média</b>	<b>88,30%</b>	<b>14,67</b>	<b>0,07</b>	<b>681,04</b>	<b>0,80</b>	<b>10,77</b>
	Superior	88,49%	14,78	0,16	683,38	1,13	11,51
2	Inferior	88,09%	15,26	0,00	687,76	0,70	10,15
	<b>Média</b>	<b>88,27%</b>	<b>15,37</b>	<b>0,20</b>	<b>690,39</b>	<b>1,03</b>	<b>10,78</b>
	Superior	88,46%	15,48	0,43	693,01	1,37	11,41
3	Inferior	88,19%	15,69	0,00	693,81	0,18	10,29
	<b>Média</b>	<b>88,33%</b>	<b>15,79</b>	<b>0,10</b>	<b>695,94</b>	<b>0,43</b>	<b>11,09</b>
	Superior	88,48%	15,90	0,21	698,06	0,69	11,90

Como apenas um PSV foi retirado, o impacto no nível de serviço ainda não foi representativo, apresentando valores próximos. Os valores de *stockouts* não parecem ser influenciados pelas capacidades, apresentando valores que não seguem uma lógica clara. Para os espaços ociosos já se pode observar valores crescentes da Política 1 até a Política 3, com exceção do espaço ocioso de água que não aparenta ter grandes variações.

Vale ressaltar, que ao contrário do que foi observado na Seção 6.2.1.2 sobre as vantagens de um maior espaço ocioso de diesel quanto a melhor gestão do recurso diesel, aqui este aumento é devido apenas a maiores capacidades de transporte de diesel que a frota possui.

Na Tabela 25 seguem todos os indicadores dos resultados obtidos para as três políticas com um tamanho de frota de 33 PSVs.

**Tabela 25: Indicadores para as três políticas com 33 PSVs.**

Política	Carga geral		Diesel		Água		
	Nível de serviço	Espaço ocioso	<i>Stockouts</i>	Espaço ocioso	<i>Stockouts</i>	Espaço ocioso	
1	Inferior	87,26%	14,31	0,00	669,31	0,57	10,50
	<b>Média</b>	<b>87,56%</b>	<b>14,42</b>	<b>0,13</b>	<b>672,06</b>	<b>0,90</b>	<b>11,16</b>
	Superior	87,85%	14,53	0,26	674,80	1,23	11,81
2	Inferior	87,64%	15,68	0,02	697,42	0,37	9,69
	<b>Média</b>	<b>87,87%</b>	<b>15,78</b>	<b>0,20</b>	<b>699,63</b>	<b>0,63</b>	<b>10,46</b>
	Superior	88,09%	15,89	0,38	701,85	0,90	11,24
3	Inferior	87,89%	16,84	0,03	713,80	0,54	11,01
	<b>Média</b>	<b>88,10%</b>	<b>16,93</b>	<b>0,07</b>	<b>715,82</b>	<b>0,83</b>	<b>11,85</b>
	Superior	88,30%	17,02	0,16	717,85	1,13	12,69

Com 33 PSVs, ou seja, dois PSVs retirados seguindo as políticas propostas, já é observado uma pequena diferença nos níveis de serviço, porém ainda tímida. Os valores de *stockouts* continuam não apresentando um comportamento claro. A crescente nos espaços ociosos de carga geral e diesel se acentuam com o aumento da capacidade dos PSVs da frota, como esperado, mas o espaço ocioso de água não parece ser tão sensível a variações da frota.

Na Tabela 26 seguem todos os indicadores dos resultados obtidos para as três políticas com um tamanho de frota de 32 PSVs.

**Tabela 26: Indicadores para as três políticas com 32 PSVs.**

Política	Carga geral		Diesel		Água		
	Nível de serviço	Espaço ocioso	<i>Stockouts</i>	Espaço ocioso	<i>Stockouts</i>	Espaço ocioso	
1	Inferior	86,09%	14,00	0,13	662,53	0,33	9,77
	<b>Média</b>	<b>86,52%</b>	<b>14,11</b>	<b>0,33</b>	<b>665,17</b>	<b>0,57</b>	<b>10,53</b>
	Superior	86,96%	14,22	0,54	667,80	0,80	11,30
2	Inferior	86,28%	15,93	0,00	702,36	0,56	10,41
	<b>Média</b>	<b>86,67%</b>	<b>16,03</b>	<b>0,13</b>	<b>704,27</b>	<b>0,87</b>	<b>11,09</b>
	Superior	87,05%	16,14	0,26	706,19	1,17	11,76
3	Inferior	86,98%	17,76	0,00	733,49	0,49	10,79
	<b>Média</b>	<b>87,29%</b>	<b>17,89</b>	<b>0,07</b>	<b>736,04</b>	<b>0,73</b>	<b>11,48</b>
	Superior	87,61%	18,01	0,16	738,58	0,97	12,17

Com a retirada de três PSVs, a diferença no nível de serviço das Políticas 1 e 2 ainda não apresenta grandes diferenças, já a Política 3 alcança um nível de serviço superior as outras. As ocorrências de *stockouts* continuam com valores próximos para todas as políticas. O espaço ocioso de diesel e de carga geral demonstra ser bem sensível as capacidades da frota, já o espaço ocioso de água, mesmo também tendo um crescimento, não apresenta mudanças tão significativas.

Na Tabela 27 seguem todos os indicadores dos resultados obtidos para as três políticas com um tamanho de frota de 31 PSVs.

**Tabela 27: Indicadores para as três políticas com 31 PSVs.**

Política	Carga geral		Diesel		Água		
	Nível de serviço	Espaço ocioso	<i>Stockouts</i>	Espaço ocioso	<i>Stockouts</i>	Espaço ocioso	
1	Inferior	80,74%	12,86	0,00	658,47	0,61	10,00
	<b>Média</b>	<b>82,01%</b>	<b>13,09</b>	<b>0,10</b>	<b>660,83</b>	<b>0,97</b>	<b>10,84</b>
	Superior	83,27%	13,32	0,21	663,19	1,33	11,68
2	Inferior	82,37%	15,81	0,05	703,15	0,49	10,19
	<b>Média</b>	<b>83,49%</b>	<b>16,04</b>	<b>0,23</b>	<b>705,74</b>	<b>0,83</b>	<b>10,88</b>
	Superior	84,60%	16,28	0,42	708,34	1,17	11,56
3	Inferior	85,34%	18,35	0,00	748,18	0,76	11,24
	<b>Média</b>	<b>85,96%</b>	<b>18,63</b>	<b>0,13</b>	<b>751,90</b>	<b>1,10</b>	<b>11,89</b>
	Superior	86,58%	18,90	0,30	755,62	1,44	12,55

Com uma frota mais restritiva de 31 PSVs, os impactos da seleção dos PSVs a serem retirados já começam a mostrar resultados no indicador de nível de serviço, com as diferenças entre as políticas se acentuando. As diferenças entre os espaços ociosos de diesel e de carga geral, comparando as diferentes políticas com os resultados obtidos com 32 PSVs, também aumentaram. Os valores para o espaço ocioso de água se mantem na mesma faixa. Novamente os valores de *stockouts* não tiveram mudanças sensíveis.

Na Tabela 28 seguem todos os indicadores dos resultados obtidos para as três políticas com um tamanho de frota de 30 PSVs.



**Tabela 28: Indicadores para as três políticas com 30 PSVs.**

Política	Carga geral		Diesel		Água		
	Nível de serviço	Espaço ocioso	<i>Stockouts</i>	Espaço ocioso	<i>Stockouts</i>	Espaço ocioso	
1	Inferior	72,00%	10,88	0,00	666,71	0,61	9,86
	<b>Média</b>	<b>73,64%</b>	<b>11,20</b>	<b>0,07</b>	<b>669,72</b>	<b>1,00</b>	<b>10,46</b>
	Superior	75,27%	11,53	0,16	672,74	1,39	11,06
2	Inferior	76,22%	13,99	0,07	693,71	0,69	10,43
	<b>Média</b>	<b>77,68%</b>	<b>14,34</b>	<b>0,23</b>	<b>696,98</b>	<b>1,10</b>	<b>11,01</b>
	Superior	79,15%	14,70	0,39	700,25	1,51	11,59
3	Inferior	83,10%	17,49	0,02	757,69	0,58	11,20
	<b>Média</b>	<b>83,78%</b>	<b>17,87</b>	<b>0,20</b>	<b>761,38</b>	<b>1,00</b>	<b>11,82</b>
	Superior	84,45%	18,25	0,38	765,07	1,42	12,44

Com 30 PSVs a diferença fica substancial ao se comparar os níveis de serviço. A Política 3 obteve valores muito altos, comparáveis aos obtidos pela Estratégia 4B, com o mesmo tamanho de frota, disponíveis na Tabela 9. Já a Política 1 teve resultados muito degenerados, comparáveis aos obtidos pela Estratégia 1 com o mesmo tamanho de frota, também disponíveis na Tabela 9. Os espaços ociosos seguiram os padrões observados para os outros tamanhos de frota.

Como esperado devido aos resultados do Cenário 1, os valores de *stockouts* não tiveram relação direta com a queda do tamanho da frota nem com a diminuição das capacidades dos PSVs.

## 7 Conclusões e trabalhos futuros

O objetivo principal almejado nesse trabalho, de comparar diferentes estratégias de alocação de PSVs às cargas e aos *clusters*, foi alcançado, com a obtenção de resultados consistentes para todas as estratégias.

Para este objetivo ser alcançado, alguns secundários também foram concluídos com êxito. O simulador foi desenvolvido e apresentou bons desempenhos nos tempos de execução quando comparados aos obtidos com o simulador do modelo base. Houve êxito no desenvolvimento das heurísticas gulosas, sendo capazes de atingir valores muito próximos dos valores ótimos, porém, com um tempo de execução menor.

Os valores obtidos para o nível de serviço, principal indicador aqui observado, foram muito próximos para as Estratégias 2, 3B e 4B de 35 até 32 PSVs. Com frota menor que isto, 30 e 31 PSVs, a Estratégia 4B obteve resultados melhores, motivados também pelos fatores já mencionados anteriormente. A Estratégia 1 apresentou resultados muito piores para todos os tamanhos de frota apresentados, se configurando como ineficiente.

As heurísticas das Estratégias 2 e 3B se mostravam competitivas com o método de otimização exata, configurando-se como boas estratégias para serem utilizadas para uma resposta rápida e de fácil execução, sem a necessidade da utilização de programas mais elaborados, pra situações reais de alocação, podendo ser expandidas para outras localidades e não apenas a estudada aqui.

Também pôde ser observado que os valores de *stockout* de diesel e de água não são impactados por diferentes tamanhos e nem composições de frota, apresentando valores que giram sempre em torno dos mesmos patamares. Só se apresentou como exceção os valores de *stockout* de água das estratégias que tentavam programar a água a ser abastecida baseado na demanda no momento que o PSV é programado para serem entregues quando o PSV chegasse na respectiva UM, esse modo de carregamento não gerou bons resultados e foi abandonado.

As análises referentes ao espaço reservado de *backload* mostraram que o seu impacto é muito grande tanto no nível de serviço quanto nas ocorrências de acúmulos de *backload*, sendo um importante fator a ser considerado para uma melhor alocação de cargas. Uma análise dinâmica, para determinar qual seria esse espaço reservado para o primeiro *backload*, dependente da demanda da primeira plataforma se mostra como uma alternativa interessante a ser estudada futuramente.

A análise da utilização de frotas com diferentes capacidades também gerou resultados importantes para os níveis de serviço, principalmente para casos com frotas mais restritas, e merece um estudo mais detalhado dos seus impactos, levando o fator monetário em conta.

A necessidade de manter um nível de serviço elevado na entrega dos insumos para as unidades marítimas é de grande importância para a cadeia logística *offshore* de petróleo, já que uma paralização das atividades da mesma, por motivos de falta de algum produto, acarreta grandes prejuízos para as empresas envolvidas. Baseado nisso, é de grande importância estratégias ou políticas que possam aumentar os níveis de serviço de toda a cadeia logística, como os apresentados nesse trabalho.

O simulador de eventos discretos, aqui desenvolvido, propicia um horizonte com uma gama muito grande de possibilidades para o desenvolvimento de outras ferramentas relacionadas ao setor de logística *offshore* em outras áreas não abordadas nessa dissertação.

O primeiro passo para trabalhos futuros, no que tange ao aprimoramento do APOLO, é o desenvolvimento e acoplamento de um módulo que leve em consideração os efeitos das mudanças meteorológicas nos tempos de operação nas UMs e nos tempos de navegação.

Os passos seguintes desse aprimoramento consistirão no acoplamento de outras ferramentas disponíveis ou o desenvolvimento das mesmas, permitindo assim o estudo dos impactos que outros tipos de programação possam ter nos indicadores das operações. Podem ser citados como exemplos de ferramentas a serem acopladas: uma que permita a programação do porto; e outra que, a partir da demanda das UMs, refaça o roteamento e até a clusterização do sistema.

Outra alternativa para futuros estudos é o desenvolvimento de uma heurística baseada na utilizada nas Estratégias 2 e 3B que selecione o PSV levando em conta, além dos pedidos de carga geral, os pedidos de diesel.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAS, B., Upstream Logistics in Offshore Petroleum Production. Diss. PhD Thesis, Molde University College, 2008.
- AAS, B., GRIBKOVSKAIA, I., HALSKAU SR, Ø., SHLOPAK, A., Routing of supply vessels to petroleum installations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 37, n. 2, p. 164-179, 2007.
- ANEICHYK, T., Simulation model for strategical fleet sizing and operational planning in offshore supply vessels operations. Master's thesis, Høgskolen i Molde, 2009.
- ARES, G. Logística de apoio offshore - integração e sincronização da cadeia de atendimento às unidades marítimas. ILOS artigos, 2013. <http://www.ilos.com.br/web/logistica-de-apoio-offshore-integracao-e-sincronizacao-da-cadeia-de-atendimento-as-unidades-maritimas/>
- BANKS, J., CARSON, J.S., NELSON, B.L., NICOL, D. M. Discrete-Event System Simulation. 5 ed. New Jersey, Prentice Hall, 2009.
- BASÍLIO, R., Analysis of offshore transportation logistics by discrete event simulation. PhD Thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.
- BRANSKI, R. M. Logística na Cadeia da Petróleo: Uma Revisão Sistemática. XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANTEP, Ouro Preto, 2015.
- BRASSARD, G. BRATLEY, P., Algorithmics theory & practice. New Jersey. Prentice-Hall, 1988.
- CHAGAS, R. D. S.; BITTENCOURT, G. C.; SILVA, V. A.; VIANNA, I. G. P.; LONGHI, R. P.; RIBAS, P. C.; FILHO, V. J. M. F.. Programação de Cargas em Barcos de Suprimento de Unidades Marítimas. L SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, At Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.
- CUESTA, E. F., ANDERSSON, H., FAGERHOLT, K., LAPORTE, G., Vessel routing with pickups and deliveries: An application to the supply of offshore oil platforms. *Computers & Operations Research*, v. 79, p. 140-147, 2017.
- DIUANA, D. L., MOREIRA, P. C. M., SILVA, V. A., HOLLMANN, R., LONGHI, R., FERREIRA FILHO, V.J.M., Avaliação de políticas de suprimento de óleo diesel a unidades marítimas de uma bacia petrolífera. In: *Rio Oil & Gas*, Rio de Janeiro, Brazil, 2016.
- ESKANDARI, H., MAHMOODI, E., A simulation-based multi-Objective optimization study of the fleet sizing problem in the offshore industry. *Maritime Economics and Logistics* 18, 436–457, 2016.
- FAGERHOLT, K., LINDSTAD, H., Optimal policies for maintaining a supply service in the Norwegian Sea. *Omega*, v. 28, n.3, p. 269-275, 2000.

- GRIBKOVSKAIA, I., LAPORTE, G., SHLOPAK, A., A tabu search heuristic for a routing problem arising in servicing of offshore oil and gas platforms. *Journal of the Operational Research Society*, v. 59, n. 11, p. 1449-1459, 2008.
- 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.
- KISIALIOU, Y., GRIBKOVSKAIA, I., LAPORTE, G., Robust supply vessel routing and scheduling. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 90, 366–378, 2018a.
- KISIALIOU, Y., GRIBKOVSKAIA, I., LAPORTE, G., The periodic supply vessel planning problem with flexible departure times and coupled vessels. *Computers and Operations Research* 94, 52–64, 2018b.
- KREY, S., ALBJERK, N. B., DANIELSEN, T. K., Operational Planning and Disruption Management in Offshore Logistics, Master's thesis, NTNU, 2015.
- LARA, T. L., Dimensionamento de frota de navios rebocadores de apoio marítimo offshore, PhD Thesis, Universidade de São Paulo, 2018.
- LEITE, R. P., Maritime transport of deck cargo to Petrobras fields in Campos Basin: an empirical analysis, identification and quantification of improvement points. PhD Thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.
- 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.
- MOREIRA, P. C. M., Análise de aumento da eficiência do sistema marítimo offshore de transporte de carga por meio de simulação probabilística. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.
- NORLUND, E.K., GRIBKOVSKAIA, I., LAPORTE, G., Supply vessel planning under cost, environment and robustness considerations. *Omega* 57, 271–281, 2015.
- NORLUND, E.K., GRIBKOVSKAIA, I., Environmental performance of speed optimization strategies in offshore supply vessel planning under weather uncertainty. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 57, 10–22, 2017.
- NORSTAD, I., GRIBKOVSKAIA, V., JOHNSEN, T., LINDSTAD, H.E., UTHAUG, E., Simulation-Based Evaluation of Upstream Logistics System Concepts for Offshore Operations in Remote Areas, in: Volume 8: Polar and Arctic Sciences and Technology; Petroleum Technology, ASME. p. V008T07A003, 2017.
- PANTUSO, G., FAGERHOLT, K., HVATTUM, L. M., A survey on maritime fleet size and mix problems. *European Journal of Operational Research*, v. 235, n. 2, p. 341-349, 2014.

- PINTO, G.D.L., VITORUGO, L.R., ROSA, R.D.A., ARPINI, B.P., CAPRINI, L.A., Planning the transport of loads to oil platforms considering the arrangement of the loads on the ship's deck. *Computers and Industrial Engineering* 119, 289–300, 2018.
- 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.
- SHYSHOU, A., GRIBKOVSKAIA, I., LAPORTE, G., FAGERHOLT, K., A large neighbourhood search heuristic for a periodic supply vessel planning problem arising in offshore oil and gas operations. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, v. 50, n. 4, p. 195-204, 2012.
- SILVA, V. A.; BITTENCOURT, G. C.; VIANNA, I. G. P.; CHAGAS, R. D. S.; LONGHI, R. P.; RIBAS, P. C.; FILHO, V. J. M. F.. Decision support tool applied to supply vessel scheduling in offshore logistics. Rio Oil & Gas, RJ, Brazil, 2018.
- SILVA, V. A., LIANG, D. A., YUBA, D. G. T., ROSSETTO, R., KOVALSKI, S., Logistics Planning for Critical Cargos Related to Hydrogen Sulfide Removal Processes in Pre-Salt Basin Fields. In: *OTC Brasil*, Rio de Janeiro, Brazil, Oct., 2015.
- SILVA, V. A., MOREIRA, P. C. M., LEITE, R. P., Estimation of Diesel Supply Vessels in Offshore Oil & Gas Activities Through Dynamic Simulation. In: *OTC Brasil*, Rio de Janeiro, Brazil, Oct., 2017.
- SINAVAL. Frota de apoio marítimo em detalhes. Notícias da semana, 08/06/2017. <http://sinaval.org.br/2017/06/frota-de-apoio-maritimo-em-detalhes/>
- SOARES, J. B. C. D. O., Transporte marítimo de carga na bacia de campos: uma abordagem por clusterização capacitada e roteirização de embarcações. PhD Thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.
- TAKAHASHI, M. T., VASCONCELOS, R. V. J. D. C., Uma proposta para o dimensionamento da frota de embarcações especiais tipo AHTS. In: *XLI SBPO - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento*, p.1342-1352, 2009.