



ANÁLISE DE AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA MARÍTIMO
OFFSHORE DE TRANSPORTE DE CARGA POR MEIO DE SIMULAÇÃO
PROBABILÍSTICA

Pedro Chaves Meurer Moreira

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

Orientador: Hostilio Xavier Ratton Neto

Rio de Janeiro

Abril de 2017

ANÁLISE DE AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA MARÍTIMO
OFFSHORE DE TRANSPORTE DE CARGA POR MEIO DE SIMULAÇÃO
PROBABILÍSTICA

Pedro Chaves Meurer Moreira

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 TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof. Hostilio Xavier Ratton Neto, Dr.

Prof. Glaydston Mattos Ribeiro, D.Sc.

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

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 2017

Moreira, Pedro Chaves Meurer

Análise de Aumento da Eficiência do Sistema Marítimo *Offshore* de Transporte de Carga por Meio de Simulação Probabilística/ Pedro Chaves Meurer Moreira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XIII, 98 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Hostilio Xavier Ratton Neto

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 96-98.

1. Cadeia de Suprimento *Offshore* 2. Atendimento marítimo *offshore*. 3. Simulação 4. Multipropósito I. Ratton Neto, Hostilio Xavier II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

DEDICATÓRIA

“- Eu lhe contei duas histórias sobre o que aconteceu no oceano. Nenhuma explica o que levou o navio a afundar. E ninguém pode provar qual história é verdadeira e qual não é. Nas duas histórias, o navio afunda, minha família morre e eu sofro.
- É verdade.
- Então, qual história você prefere?
- A que tem o tigre. É a melhor história.
- O mesmo vale para Deus.”

(Aventuras de PI)

Dedico ao meu filho(a).

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, de quem recebi o que existe de mais valioso: a vida.

À minha mulher Camila, com quem divido minha caminhada, meus aprendizados e meu amor.

À minha amiga Bia, com quem aprendo a cada dia.

À minha avó Vera Lúcia, minha professora desde cedo, maior exemplo de persistência nos estudos, com quem pude contar para a revisão deste texto.

Ao meu orientador, Prof. Hostilio, que me acolheu com toda a atenção, desde nosso primeiro contato.

A todos os professores e funcionários do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ. Em especial, ao Prof. Glaydston, pela sua dedicação no ensino de pesquisa operacional.

À Petrobras, em especial aos gestores Miguel Lopes e Flavio Bretanha, que me incentivaram para a realização deste mestrado. Aos colegas Pedro Lopes e Roberto Hollmann, que participaram de discussões que subsidiaram este estudo. A Ricardo Penna, pelo tratamento dos dados utilizados no trabalho. A Victor Anselmo, pelos longos dias que passamos desenvolvendo o modelo de simulação.

Por fim, agradeço a Deus, sempre presente em minha vida, de diferentes formas.

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

ANÁLISE DE AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA MARÍTIMO
OFFSHORE DE TRANSPORTE DE CARGA POR MEIO DE SIMULAÇÃO
PROBABILÍSTICA

Pedro Chaves Meurer Moreira

Abril/2017

Orientador: Hostilio Xavier Ratton Neto

Programa: Engenharia de Transportes

O objetivo desta dissertação é propor soluções para o aumento de eficiência do elo marítimo da cadeia logística *offshore* de uma empresa de petróleo brasileira. Foi construído um modelo de simulação para a avaliação de diferentes estratégias de operação envolvendo carga geral, água e diesel. Em cada cenário simulado, observou-se a frota necessária para a entrega dos produtos e os níveis de serviço associados. Todas as análises foram realizadas com base em um cenário de operação histórico da empresa. Os resultados mostram que existem modos de operação mais eficientes do que aquele adotado pela empresa no período da análise, em que é possível reduzir a frota de embarcações supridoras e aumentar o nível de serviço.

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

EFFICIENCY INCREASE ANALYSIS OF THE OFFSHORE MARITIME CARGO
TRANSPORTATION SYSTEM BY PROBABILISTIC SIMULATION

Pedro Chaves Meurer Moreira

April / 2017

Advisor: Hostilio Xavier Ratton Neto

Department: Transportation Engineering

The objective of this thesis is to propose different solutions to improve the efficiency of the maritime component of the offshore logistics chain of a Brazilian oil company. A simulation model was developed in order to evaluate different operational strategies involving general cargo, water and diesel. In each scenario, the necessary fleet for delivery the products and the service levels were evaluated. Analyses were performed, based on a historical scenario of the company. The results show that there are more efficient operational strategies than the historical one, in which it is possible to reduce the fleet of supply vessels and increase the service levels.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABELAS	xi
LISTA DE SIGLAS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Problema	2
1.3. Hipóteses	2
1.4. Premissas.....	3
1.5. Objetivo.....	3
1.6. Classificação da pesquisa	4
1.7. Justificativa	4
1.8. Delimitação da Pesquisa.....	6
2. CONTEXTUALIZAÇÃO	7
2.1. Referencial Teórico	7
2.2. Setor de Serviços de E&P e Logística de Apoio Offshore de Carga.....	11
2.2.1. Logística de apoio offshore de carga.....	12
2.2.2. Unidades Marítimas	14
2.2.3. Tipos de carga transportada.....	16
2.2.4. Embarcações.....	19
2.2.5. Portos de apoio offshore.....	22
3. ATIVIDADES PRÉ-MODELAGEM	24
3.1. Procedimento Metodológico	24
3.2. Atividades iniciais.....	25
3.3. Modelo Conceitual	26
3.3.1. Descrição do problema.....	26
3.3.2. Funcionamento geral do simulador	29
3.3.3. Parâmetros de entrada	32
3.3.4. Parâmetros de saída.....	34
3.3.5. Simplificações e premissas.....	35
3.3.6. Componentes.....	36
3.3.7. Padrões de nomeação dos componentes.....	38
3.3.8. Fluxograma de funcionamento do sistema.....	39
4.1. Tratamento dos dados de entrada	40
4.1.1. PSVs de CG e PSVs Oleiros	42

4.1.2.	Porto	43
4.1.3.	Unidades Marítimas (UMs).....	45
4.1.4.	Navio Tanque	46
4.1.5.	Outras embarcações.....	47
4.2.	Codificação	48
4.3.	Verificação	49
4.4.	Validação.....	52
4.4.1.	Técnicas de validação.....	52
4.4.2.	Procedimento de validação em duas fases	53
4.4.3.	Fase 1	54
4.4.4.	Fase 2	67
4.4.5.	Definição do Cenário Base.....	73
5.	EXPERIMENTOS REALIZADOS	74
5.1.	Contextualização e Cenários	74
5.1.1.	Contextualização	74
5.1.2.	Cenários.....	76
5.2.	Resultados e Análises.....	79
5.2.1.	Cenário 1	79
5.2.2.	Cenário 2	81
5.2.3.	Cenário 3	84
5.2.4.	Cenário 4	86
5.2.5.	Cenário 5	88
5.3.	Escolha do Cenário.....	90
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	92
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Valor do Brent em dólares	5
Figura 2: Elementos principais e auxiliares da cadeia logística de E&P	14
Figura 3: Tipos de unidades marítimas	14
Figura 4: Elementos de unitização de carga	17
Figura 5: Abastecimento de diesel de uma unidade marítima.....	18
Figura 6: Embarcação do tipo PSV	20
Figura 7: Procedimento metodológico	24
Figura 8: PSV de CG e PSV Oleeiro.....	39
Figura 9: Navio Tanque e Outras Embarcações.....	39
Figura 10: Bloco de programação de subrotina.....	48
Figura 11: Elementos de animação do modelo	52
Figura 12: Validação em fases	54
Figura 13: Porto de Imbetiba.....	55
Figura 14: Variáveis relativas às viagens de PSV Cronograma - Série histórica.....	56
Figura 15: Número de viagens total de PSV Cronograma / número de viagens com passagem no NT – Série histórica.....	57
Figura 16: Atendimento Clusters – Cenário Histórico.....	66
Figura 17: Definição todos os clusters	68
Figura 18: Definição 1 cluster.....	68
Figura 19: Ajuste de frota.....	70
Figura 20: Cenários	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Condições ambientais para operação na Bacia de Campos.....	13
Tabela 2: Influência das condições ambientais no Mar do Norte	13
Tabela 3: Características gerais por tipo de PSVs (valores médios).....	21
Tabela 4: Capacidades e consumo de diesel por tipo de PSV (valores médios)	21
Tabela 5: Parâmetros de entrada	33
Tabela 6: Parâmetros de saída.....	34
Tabela 7: Simplificações e premissas.....	35
Tabela 8: Componentes físicos	36
Tabela 9: Componentes não-físicos	38
Tabela 10: Padrões de nomeação dos componentes.....	38
Tabela 11: Critérios usuais para classificação do valor-p	40
Tabela 12: Principais distribuições	41
Tabela 13: Dados determinísticos	42
Tabela 14: Dados Estocásticos - Estatísticas.....	42
Tabela 15: Dados Estocásticos - Distribuições	43
Tabela 16: Localização dos portos	43
Tabela 17: Dados Estocásticos - Estatísticas.....	44
Tabela 18: Dados Estocásticos - Distribuições	44
Tabela 19: Dados UMs.....	45
Tabela 20: Dados Estocásticos - Estatísticas.....	46
Tabela 21: Dados Estocásticos - Distribuições	47
Tabela 22: Dados Estocásticos - Estatísticas.....	47
Tabela 23: Dados Estocásticos - Distribuições	47
Tabela 24: Descrição de parâmetros PSV Cronograma	58
Tabela 25: Descrição parâmetros PSV Oleiro.....	59
Tabela 26: Parâmetros validação - Cenário Histórico.....	59
Tabela 27: Intervalo de confiança	61
Tabela 28: Indicadores CG – Cenário Histórico	65
Tabela 29: Atendimento <i>Clusters</i> – Cenário Histórico	65
Tabela 30: Indicadores diesel – Cenário Histórico	67
Tabela 31: Atendimento <i>Clusters</i> – Cenário Ajustado.....	69
Tabela 32: Ocupação frota original.....	69
Tabela 33: Ocupação frota ajustada	71
Tabela 34: Parâmetros validação - Cenário Ajustado	71
Tabela 35: Indicadores CG – Cenário Ajustado.....	73
Tabela 36: Locais de abastecimento de diesel.....	78
Tabela 37: Indicadores frota – Cenário 1	80
Tabela 38: PSV Oleiro aguardando para operar – Cenário 1	80
Tabela 39: Indicadores CG – Cenário 1	81
Tabela 40: Indicadores diesel – Cenário 1	81
Tabela 41: Indicadores frota – Cenário 2	82
Tabela 42: PSV Oleiro aguardando para operar – Cenário 2	82
Tabela 43: Indicadores CG – Cenário 2	83
Tabela 44: Indicadores diesel – Cenário 2	83
Tabela 45: Indicadores frota – Cenário 3	84
Tabela 46: Ocupação berços e atraso viagens.....	84

Tabela 47: Indicadores CG – Cenário 3	85
Tabela 48: Indicadores diesel – Cenário 3	86
Tabela 49: Indicadores frota – Cenário 4	86
Tabela 50: Operação UMs.....	87
Tabela 51: Indicadores CG – Cenário 4.....	87
Tabela 52: Indicadores diesel – Cenário 4	88
Tabela 53: Indicadores frota – Cenário 5	89
Tabela 54: Indicadores CG – Cenário 5	89
Tabela 55: Indicadores diesel – Cenário 5	90
Tabela 56: Comparação resultados	90

LISTA DE SIGLAS

AHTS - *Anchor Handling Tug Supply*

ANM - Árvore de Natal Molhada

ANP - Agência Nacional do Petróleo

BAP - Base Adaptadora da Produção

CG - Carga Geral

E&P - Exploração e Produção

PSV - *Platform Supply Vessel*

UEP - Unidade Estacionária de Produção

UM - Unidade marítima

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

A logística de cargas de apoio *offshore* é de extrema importância para o sucesso das atividades de Exploração e Produção (E&P). As unidades marítimas (UMs) dependem do recebimento de determinados materiais e produtos nas quantidades e momentos adequados para viabilizar suas operações.

Historicamente, a logística de apoio *offshore* não vinha sendo tão valorizada quanto as demais áreas, principalmente por não se tratar de uma atividade fim de E&P. Ademais, os valores envolvidos com as operações logísticas são muito inferiores àqueles referentes a outros setores. Assim, os dispêndios logísticos são muitas vezes negligenciados em detrimento de outros custos, principalmente em épocas de aquecimento da indústria.

Já em cenários políticos e econômicos, nos quais o preço do barril do petróleo encontra-se em patamares baixos, estratégias são adotadas para manter os planos de produção de petróleo, reduzindo investimentos e custos operacionais. Por sua vez, a logística de apoio *offshore* é amplamente afetada por esse tipo de cenário. Se por um lado as empresas seguem diretrizes que visam a redução de recursos, por outro desejam manter o nível de serviço às unidades marítimas. Dessa forma, existe grande interesse em se encontrarem maneiras de melhorar a eficiência da cadeia logística de apoio *offshore*.

O elo marítimo da cadeia é aquele que apresenta os maiores custos logísticos, devido aos altos preços de afretamento das embarcações de apoio *offshore*. Dessa forma, a melhoria da eficiência da cadeia logística pode ser realizada por meio do aumento da produtividade dessas embarcações que, por sua vez, são utilizadas para o transporte dos diferentes tipos de produto, tais como: carga geral, granéis líquidos e granéis sólidos. Originalmente, elas foram concebidas para o transporte, em uma mesma viagem, de todos os tipos de produtos demandados pelas UMs.

O padrão de demanda pelos produtos varia em função de fatores, como o tipo de unidade marítima, a natureza da operação em andamento e as características da bacia. Adicionalmente, as operações de E&P possuem altos graus de incerteza, aumentando a complexidade do planejamento e programação da entrega de suprimentos às unidades marítimas.

No intuito de realizar as entregas dos produtos nos volumes, frequências e prazos requeridos, pode-se optar pela utilização de frotas específicas para o transporte de cada tipo, buscando um maior nível de serviço. No entanto, a especialização da frota pode gerar ineficiência global do sistema, pois tende a aumentar a necessidade da utilização de embarcações.

Outra fonte de ineficiência do elo marítimo da cadeia logística pode ter origem na carência de infraestrutura portuária. Nesse caso, são adotadas soluções que, apesar de resolverem o problema do suprimento às unidades marítimas, implicam em maiores custos globais.

O presente estudo teve como foco o elo marítimo da cadeia logística de apoio *offshore* de uma empresa de petróleo brasileira. Buscou-se estudar a possibilidade de aumento da eficiência, por meio de mudanças nas políticas de suprimento às unidades marítimas. Uma das políticas analisadas foi a de entrega de mais de um tipo de produto por uma mesma embarcação, dado que a referida empresa opera com frotas especializadas por tipo de carga. Para todas as diferentes políticas estudadas, foram analisados os efeitos em termos de custo e nível de serviço.

1.2. Problema

Nesta seção, são apresentadas as principais perguntas a serem respondidas pelo estudo:

1. Quais são as implicações da entrega de mais de um tipo de produto por uma mesma embarcação, em termos de custo e nível de serviço?
2. Quais são os impactos causados no elo marítimo da cadeia de apoio *offshore* resultantes de uma infraestrutura portuária precária, em termos de custo e nível de serviço?
3. Quais políticas de atendimento podem ser implementadas, com a melhoria da infraestrutura portuária?

1.3. Hipóteses

Nesta seção, são apresentadas as principais hipóteses levantadas:

- Hipótese básica
 - A entrega de mais de um produto por uma mesma embarcação é mais eficiente do que a realizada por embarcações distintas.

- Hipóteses Secundárias
 - A presença de infraestrutura portuária adequada permite o aumento de eficiência do elo marítimo da cadeia de suprimentos *offshore*.
 - A entrega de alguns produtos, por meio de um cronograma pré-determinado, supre as demandas das unidades marítimas em termos de quantidade entregue e frequência de visitas.

1.4. Premissas

Nesta seção, são apresentadas as principais premissas consideradas no estudo:

- A queda de preço do barril de petróleo faz com que as empresas busquem reduzir custos, por meio do aumento de eficiência dos seus processos.
- A logística de apoio *offshore* é uma área importante na indústria do petróleo, pois o funcionamento adequado das unidades marítimas depende da garantia de um elevado nível de serviço.
- A logística de apoio *offshore* será cada vez mais valorizada pelas empresas de petróleo.

1.5. Objetivo

Nesta seção, são apresentados os objetivos do estudo:

- Objetivo Principal:
 - Aumentar a eficiência do sistema marítimo *offshore* de transporte de carga.
- Objetivos secundários:
 - Desenvolver modelo conceitual do sistema marítimo de transporte de carga, que servirá como insumo para o desenvolvimento de um modelo de simulação.
 - Desenvolver um modelo de simulação do sistema marítimo de transporte de carga, por meio do qual será possível compreender como variações nos modelos de operação, na infraestrutura portuária e nos recursos envolvidos afetam a eficiência do sistema.
 - Aplicar o processo de racionalização do uso da frota, através do transporte de mais de um tipo de carga por uma mesma embarcação, no sistema marítimo de transporte de carga de empresa de petróleo brasileira. Utiliza-se o modelo de simulação desenvolvido como ferramenta de auxílio.

1.6. Classificação da pesquisa

Nesta seção, é realizada a classificação da pesquisa:

- **Classificação em relação à natureza**
 - Pesquisa Aplicada: O objetivo do estudo é gerar uma solução para o problema específico da movimentação e transportes de cargas de suprimento às unidades marítimas.
- **Classificação em relação à forma de abordagem do problema**
 - Pesquisa Quantitativa: Os dados coletados são numéricos. A análise dos dados será feita utilizando-se técnicas estatísticas. As entradas e saídas do modelo de simulação também são numéricas.
- **Classificação em relação aos objetivos:**
 - Pesquisa Exploratória: O trabalho tem como objetivo entender melhor o sistema de movimentação e transportes de cargas de suprimento às unidades marítimas.
 - Pesquisa Descritiva: São necessários a utilização de técnicas estatísticas e o desenvolvimento de um modelo de simulação, para encontrar relação entre variáveis.
 - Pesquisa Explicativa: Um dos objetivos do trabalho é determinar os motivos dos fenômenos verificados na prática.
- **Classificação em relação aos procedimentos técnicos**
 - Pesquisa Experimental: O modelo de simulação será desenvolvido com o objetivo de compreender como as variáveis envolvidas no problema influenciam a capacidade do sistema de transportar cargas de suprimento às unidades marítimas.

1.7. Justificativa

A logística de apoio *offshore* tem um papel importante no suporte às atividades de E&P. A entrega dos materiais corretos, nos prazos estipulados, é fundamental para manter a continuidade das operações das UMs e os níveis de produção de petróleo e gás.

Segundo o Boletim de Produção de Petróleo e Gás Natural de Dezembro de 2016 da Agência Nacional de Petróleo (ANP), as 30 plataformas mais produtivas do Brasil

atingem em média uma produção de aproximadamente 72.000 barris de petróleo por dia. Assumindo o valor do barril de petróleo tipo *brent* no mesmo período na bolsa de Nasdaq (Figura 1), que foi de aproximadamente 56 dólares, a parada de produção de uma plataforma dessa natureza poderia resultar na postergação de aproximadamente 4,1 milhões de dólares de receita. Levando em consideração que as companhias do ramo podem enfrentar problemas de fluxo de caixa, o custo da parada de produção é importante e deve ser considerado no dimensionamento do sistema logístico de apoio.

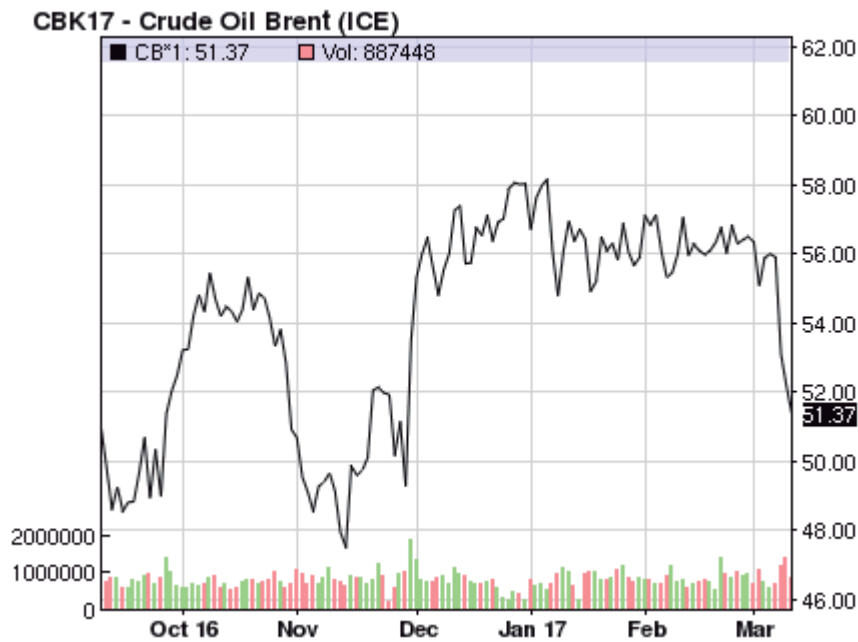


Figura 1: Valor do *Brent* em dólares¹

Além dos custos da produção, as companhias de petróleo ainda possuem afretamento de sondas e outras embarcações. O fato de os valores dos aluguéis desses recursos serem extremamente altos faz com que as empresas evitem suas paradas de operação.

Como os valores de parada de produção e de operação das unidades marítimas são muito maiores do que os custos logísticos, muitas empresas de petróleo superdimensionam seus recursos e infraestruturas de apoio em situações de aquecimento da indústria, tentando, assim, garantir o mínimo de paradas de operação por logística. Já em cenários de queda nos preços do barril, políticas de redução de custos são adotadas pelas empresas. Com relação ao setor de logística de E&P, a busca por corte de custos resulta na redução da

¹ Valor do *brent*. Disponível em <<http://www.nasdaq.com/markets/crude-oil-brent.aspx>> Acessado em: 13/03/2017

infraestrutura e dos recursos envolvidos. Todavia, essa estratégia não pode afetar o suprimento de produtos às unidades marítimas, pelos motivos descritos anteriormente.

Nesse contexto, as empresas de petróleo buscam soluções de aumento da produtividade dos sistemas logísticos, de forma a utilizar seus recursos de maneira mais eficiente, reduzindo os custos e mantendo os patamares de nível de serviço.

1.8. Delimitação da Pesquisa

A cadeia de suprimentos de cargas para as unidades marítimas envolve diversos elos, tais como: a compra de materiais, armazenagem, transporte terrestre, operação portuária e transporte marítimo. Em caso de cargas emergenciais de pequenas dimensões, pode-se utilizar o transporte aéreo para realizar a entrega. No entanto, a pesquisa desenvolvida tem como foco o transporte marítimo e sua interface com a operação portuária.

As embarcações de apoio *offshore* transportam diversos tipos de produtos com diferentes políticas de atendimento. No entanto, o presente estudo limitou-se à análise do transporte da carga geral, água e diesel, sendo os dois primeiros realizados por cronograma de atendimento pré-estabelecido.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1. Referencial Teórico

As regiões que concentram atividades de E&P apresentam características distintas no que diz respeito ao número, tipo e localização de UMs, profundidades, condições ambientais, entre outros. Dessa forma, o sistema de apoio *offshore* deve estar adaptado às características específicas de cada área. Kaiser e Snyder, (2010) apresentam, segundo eles, a primeira análise empírica do setor de serviços de E&P que consiste em um estudo sobre número de viagens necessárias para atender à demanda do Golfo do México. Kaiser (2015) desenvolve um estudo sobre a previsão de atividade de embarcações de apoio *offshore* no Golfo do México, constatando que a maioria das viagens é para águas rasas. Leite (2012) realiza uma análise empírica do transporte de carga de convés especificamente para a Bacia de Campos, identificando pontos de melhoria e propondo um método para a diminuição do tempo de entrega da carga e redução da frota. Skoko *et al.* (2013) analisam os aspectos logísticos dos *Platform Supply Vessels* (PSVs) no Oeste da África, verificando a relação entre as taxas diárias das embarcações e o preço do óleo. Os autores constatam que as empresas da África têm maior foco em atividades de produção, em detrimento às de exploração. Fagerholt e Lindstad (2000) propõem uma política eficiente de apoio *offshore* no mar da Noruega, que considera o fechamento, ou não, de determinadas unidades marítimas em horários específicos. Já Milaković *et al.* (2015) afirmam que, mesmo com a existência de políticas de atendimento bem estabelecidas no mar do Norte, é necessário uma reavaliação do modelo de apoio às atividades de Exploração e Produção no Ártico. O artigo visa identificar quais são as mudanças no modelo de apoio, para que a operação no Ártico seja economicamente e ambientalmente sustentável.

Além de análises do sistema de apoio *offshore* de diferentes regiões, grande parte da literatura existente trata de problemas relativos ao dimensionamento e programação de embarcações. Halvorsen-weare *et al.* (2012) apresentam um método de planejamento de viagem dividido em duas fases: primeiramente, verificam-se todas as viagens possíveis e, em seguida, soluciona-se o problema, encontrando o menor custo de navegação e a frota mínima. O algoritmo resolve uma viagem por vez, não considerando variabilidades dos parâmetros envolvidos. Shyshou *et al.* (2012) apresentam uma heurística de busca para o problema de planejamento de PSVs que consiste em determinar a composição da frota, assim como realizar a programação das embarcações. Aas *et al.* (2007) apresentam

um modelo determinístico de roteamento de veículos, a fim de estudar o impacto da capacidade de estoque de carga por parte do cliente. Os autores afirmam que a limitação de capacidade da unidade não foi modelada anteriormente na literatura. Albjerk *et al.* (2015) desenvolvem um modelo matemático e diferentes métodos de solução para o rompimento das atividades logísticas de apoio *offshore*, causado principalmente por condições ambientais, demandas inesperadas de UMs e incertezas nos volumes demandados. Almeida (2009) utiliza um Algoritmo Genético para estudar o sistema marítimo *offshore* de entregas de cargas. O modelo considera situações em que atrasos nas entregas das cargas não são permitidos, assim como cenários em que se admitem alguns, de acordo com o nível de serviço requerido. O objetivo do modelo é minimizar os custos de transporte, sem afetar o nível de serviço às unidades.

A maioria das referências encontradas, que abordam o problema de entrega de produtos a unidades marítimas, consideram apenas um tipo de carga, em geral a carga de convés (AAS *et al.*, 2007 ; LEITE, 2012 ; SEIXAS *et al.*, 2016 ; ALBJERK *et al.*, 2015). Seixas *et al.* (2016) abordam o problema de alocação de carga geral no convés da embarcação, tentando encontrar a configuração que otimiza sua utilização.

Apenas uma referência que considera a entrega de mais de uma carga aplicada a logística *offshore* foi encontrada. Sopot e Gribkovskaia (2014) apresentam um estudo de roteirização de veículos com entregas e coletas de várias cargas. Para a realização de uma viagem, um barco, que atenda toda a demanda, é alocado. A cada visita dessa embarcação, a demanda por um determinado produto deve ser inteiramente atendida, sendo proibida a entrega fracionada de produtos. No entanto, é possível realizar múltiplas visitas para entrega e retirada de diferentes produtos. A função objetivo está relacionada a custo. Os autores não acharam nenhuma outra referência que abordasse o problema.

Pantuso *et al.* (2014) fazem uma revisão bibliográfica sobre o dimensionamento e definição da composição de frota marítima para vários tipos de indústrias. Afirmam que os métodos existentes para dimensionamento e roteirização de veículos em geral não são aplicáveis ao transporte marítimo, já que ele apresenta naturezas distintas dos problemas comuns como, por exemplo, altos graus de incerteza e elevados valores de capital envolvidos. Segundo os autores, a maioria dos artigos existentes trata o problema de dimensionamento e composição de frota, deterministicamente. Dos 37 artigos analisados

pelos autores, dez tangenciam incertezas, sendo que destes, apenas 3 utilizam a simulação como ferramenta. Adicionalmente, constata-se que grande parte dos estudos que consideram elementos estocásticos propõe métodos de resolução de problemas determinísticos. Por fim, apontam que pesquisas futuras devem focar em métodos mais sofisticados para tratar as incertezas desse tipo de problema.

Aas *et al.* (2007) constata-se que há muitos elementos probabilísticos na operação dos PSVs e complementam que a inclusão de parâmetros estocásticos exigiria uma outra abordagem do problema em relação aos modelos determinísticos. Fagerholt e Halvorsen-Weare (2011) verificam que os cronogramas de PSVs são difíceis de serem executados na prática, resultando em replanejamentos e custos extras. Cigolini *et al.* (2014) constata-se que, apesar de planilhas e algoritmos de programação inteira mista serem muito usados no suporte à decisão em projetos de *supply chain* de óleo e gás, essas ferramentas ignoram importantes fatores dinâmicos. Shyshou *et al.* (2010) afirma que um método adequado para tratar problemas estocásticos é a simulação de eventos discretos.

Atividades de E&P têm altos graus de incerteza, tanto no que diz respeito às atividades das unidades marítimas, quanto na própria operação das embarcações de serviço. Bassi *et al.* (2012) apresentam um método de simulação-otimização para lidar com o problema de planejamento e programação de sondas que realizam serviços de perfuração e manutenção de poços. O método pode ser usado, tanto para programar uma frota existente, quanto para dimensionar o tamanho da frota. Segundo os autores, essa é a primeira abordagem estocástica para estudar esse tipo de problema. Os resultados apontam para aumento da eficiência logística, no que tange às operações com sondas.

Cigolini *et al.* (2014) estudam o problema de dimensionamento do sistema de instalação de um duto de escoamento entre um campo *offshore* e a costa. O artigo faz uma comparação entre a utilização da simulação e da planilha como ferramenta. Esta última não considera o movimento contínuo da embarcação enquanto instala o duto, nem outras variáveis estocásticas. Destacam que a simulação permite análise de sensibilidade e a construção de cenários.

Shyshou *et al.* (2010) utilizam um modelo de simulação de eventos discretos para determinar o tamanho da frota de embarcações *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS).

Essas embarcações são utilizadas para movimentar sondas de uma locação para outra, de acordo com o cronograma de atividades que devem ser realizadas nos poços. Além do cronograma de cada sonda ser realizado de forma independente com relação às demais, as operações dos AHTS estão sujeitas a condições ambientais estocásticas, o que aumenta o grau de complexidade na programação das atividades. Por essas razões, foi escolhida a simulação como método de resolução do problema.

Maisiuk e Gribkovskaia (2014) afirmam que operações associadas a movimentos de sonda são de natureza diferente das atividades de logística de apoio *offshore*. Neste caso, as embarcações de apoio realizam um serviço periódico respeitando um cronograma semanal, sendo que a viagem tem como ponto de partida uma base *onshore*. No entanto, destacam que a execução do cronograma semanal é afetada pela estocasticidade das condições climáticas que, por sua vez, influenciam nos tempos de navegação e de operação das embarcações. Os autores propõem um modelo de simulação de eventos discretos para determinar o tamanho da frota de embarcações de apoio *offshore*.

Fagerholt e Halvorsen-Weare (2011) criam uma programação robusta de PSVs. Para viagens obtidas de forma determinística, simula diferentes condições ambientais que têm influência nos tempos de viagem e, conseqüentemente, na entrega da carga. A medida de robustez da simulação é a entrega, ou não, da carga.

Norlund *et al.* (2015) desenvolvem um método de simulação-otimização que leva em consideração custos de afretamento de embarcação, custo de combustível, quantidade de emissões e nível de robustez para a geração de programação semanal de embarcações de apoio. O algoritmo se divide em três fases: 1) Gera viagens com velocidades determinísticas e, depois, com velocidades otimizadas em termos de redução de emissões; 2) Para cada viagem criada na Etapa 1, simula várias replicações sob efeito de diferentes probabilidades de condições ambientais. Os *outputs* dessa simulação são a duração das viagens e os respectivos consumos de diesel; 3) Do espaço de soluções de viagens gerado na Etapa 2, encontra uma solução que minimiza custo de afretamento e de consumo de diesel.

Há poucas referências para o dimensionamento de frota marítima usando uma abordagem estocástica, sendo mais comum a utilização de métodos analíticos, que funciona bem, em

contextos determinísticos (SHYSHOU *et al.*, 2010). No entanto, o problema de programação de PSVs é altamente estocástico, sendo inviável tratá-lo de forma analítica (MAISIUK e GRIBKOVSKAIA, 2014). Por esses motivos, o método escolhido para estudar o aumento da eficiência do sistema marítimo de transporte de carga foi a simulação por eventos discretos.

As referências levantadas, mesmo quando abordam as incertezas do problema, consideram poucas restrições e elementos estocásticos, simultaneamente. Não foi encontrado nenhum estudo que abordasse muitos desses fatores em conjunto.

O estudo realizado nesta dissertação considera as variabilidades nos tempos de operação nas unidades marítimas, de operação no porto, de navegação, além das incertezas de condições ambientais, de filas nas unidades marítimas, da demanda por produtos e de inoperâncias. O modelo permite a programação da docagem das embarcações e de trocas de tripulação. O estudo ainda aborda o transporte de mais de um tipo de carga, por uma frota heterogênea de embarcações. As capacidades dos tanques de cada unidade marítima também foram consideradas. O modelo construído permite avaliar o atendimento de até 100 unidades marítimas, fazendo com que a escala do problema de planejamento de entrega de carga analisado seja maior do que qualquer outra encontrada na pesquisa bibliográfica. O modelo ainda torna possível a avaliação de diferentes estratégias de atendimento no que diz respeito a utilização da frota de embarcações, pontos de abastecimento e políticas de suprimento às unidades marítimas.

Após a pesquisa bibliográfica realizada, não foi encontrada nenhuma outra análise que considerasse tais fatores simultaneamente. Dessa forma, o estudo proposto busca contribuir para o preenchimento da lacuna encontrada. Acredita-se que os resultados obtidos são robustos e possíveis de serem obtidos na prática.

2.2. Setor de Serviços de E&P e Logística de Apoio *Offshore* de Carga

As operações de E&P recebem o suporte do setor de Serviços de E&P. Este setor engloba os mais variados tipos de atividades, recursos e infraestruturas. Segundo Kaiser (2010), as principais atividades de Serviços de E&P são: Transporte de suprimentos e passageiros para as unidades marítimas; Movimentação e ancoragem de UMs; Suporte ao desenvolvimento de projetos de E&P; Serviços de limpeza e estimulação de poços e

Inspeção de instalações submarinas. Ainda há outras atividades no setor de Serviços de E&P, tais como a instalação e manutenção de equipamentos e dutos submarinos, combate ao derramamento de óleo e operações de SOS/prontidão.

As atividades de Logística de E&P, também conhecida como Logística de *Upstream*, estão contidas no setor de Serviços. A Logística de *Upstream* abrange as operações de suprimento de produtos às unidades marítimas, assim como o transporte de pessoas.

As principais atividades de Logística de E&P de carga são: transporte de carga da base em terra para UM (*load*); transporte de carga da UM para base em terra (*backload*); transporte de carga entre UMs (transbordo); operações portuárias e de armazenagem da carga. O transporte da carga é realizado pelos modos terrestre, marítimo e, em casos emergenciais, aéreo. O presente estudo tem como foco o modo marítimo de transporte de cargas.

2.2.1. Logística de apoio *offshore* de carga

A logística de apoio *offshore* de carga apresenta algumas particularidades em relação àquelas de outros setores. Por parte da demanda verifica-se que: 1) a falta de suprimento de produtos, nos momentos e condições adequadas, pode acarretar perdas financeiras significativas, uma vez que os valores associados a exploração e produção de óleo e gás são elevados; 2) a dinâmica inerente a esse tipo de atividade gera necessidades por produtos emergenciais; 3) o padrão de demanda entre as unidades é heterogêneo; 4) é constante a mudança do cronograma de operação das unidades marítimas; 5) a operação de movimentação de carga entre a embarcação e a unidade marítima sofre influência de condições ambientais.

As tabelas, a seguir, mostram as relações entre as condições ambientais e a operação logística. A Tabela 1 ilustra a viabilidade da operação em relação à altura de onda, velocidade do vento e bordo² da unidade marítima na Bacia de Campos (Fonte: Petrobras). A Tabela 2 mostra a influência da altura de onda na velocidade de navegação

² O bordo favorável é aquele em que as condições ambientais (corrente marítima, vento, ...) afastam a embarcação da unidade marítima. Já o bordo desfavorável é aquele em que as condições ambientais aproximam a embarcação da unidade marítima, aumentando o risco de colisão.

e no tempo de serviço entre embarcação e unidade marítima no Mar do Norte (Norlund *et al.*, 2015; Fagerholt; Halvorsen-Weare, 2011).

Tabela 1: Condições ambientais para operação na Bacia de Campos

Viabilidade da operação	Bordo Favorável		Bordo Desfavorável	
	Vento (nós)	Ondas (m)	Vento (nós)	Ondas (m)
Permissão para operar	Até 20	Até 2	-	-
Operar com atenção	De 21 a 32	De 2 a 4	Até 25	Até 3
Não é permitido operar	Acima de 32	Acima de 4	Acima de 25	Acima de 3

Tabela 2: Influência das condições ambientais no Mar do Norte

Altura de onda (m)	Decréscimo na velocidade de navegação (nós)	Aumento no tempo de serviço (%)
Até 2,5	0	0
De 2,5 a 3,5	0	20
De 3,5 a 4,5	2	30
Acima de 4,5	3	Não é permitido operar

Por parte da oferta, a cadeia logística deve ser projetada de forma a garantir elevado nível de serviço às unidades marítimas, evitando a falta de produtos nas mesmas, além de ser robusto e pouco vulnerável. A cadeia ainda deve estar preparada para responder a eventos inesperados nas unidades marítimas, em especial em sondas, que, por sua vez, podem mudar a carga demandada, dependendo da operação corrente (AAS *et al.*, 2007; AAS; HALSKAU e WALLACE, 2009). Adicionalmente, o sistema deve estar adaptado às necessidades de cada UM, no que diz respeito à quantidade de carga demanda, frequência de atendimento e necessidade de apoio extra de embarcações. Por fim, diferentes estágios no ciclo de atividades de E&P, demandam diferentes serviços logísticos (Kaiser, 2010).

A logística de apoio *offshore*, relacionada a carga, envolve uma série de recursos e infraestruturas, tais como: embarcações (podendo ser especializadas em um tipo de produto, ou não), portos, armazéns, fornecedores, carretas e tanques/silos de grãos líquidos e sólidos. Em casos em que a infraestrutura existente não é suficiente para suprir a demanda, a cadeia ainda pode contar com elementos auxiliares, tais como: os navios-tanque, os terminais especializados e as monoboias (utilizadas para amarração de navios-

tanque). A Figura 2 ilustra um exemplo de cadeia logística de produtos de E&P (Fonte: Autor).

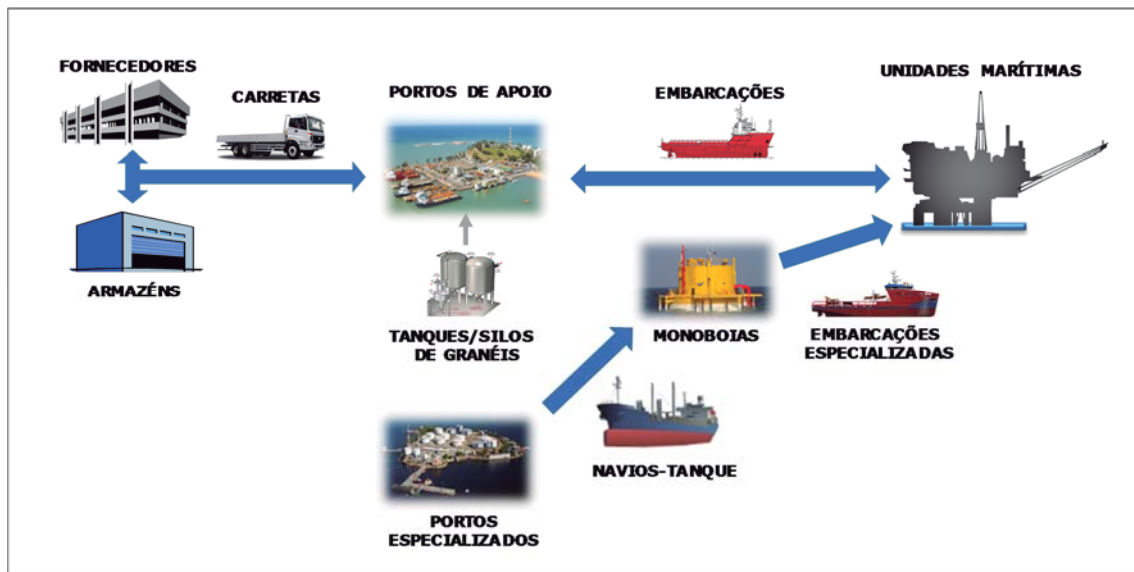


Figura 2: Elementos principais e auxiliares da cadeia logística de E&P

2.2.2. Unidades Marítimas

As unidades marítimas (UMs) são instalações *offshore* e embarcações especiais que realizam atividades relacionadas à Exploração e Produção de óleo e gás. As UMs são os “clientes” do setor de logística de E&P. A Figura 3 abaixo ilustra alguns tipos de unidades marítimas (Fonte: Petrobras).



Figura 3: Tipos de unidades marítimas

As unidades marítimas podem ser classificadas da seguinte forma:

Unidades Estacionárias de Produção:

- Plataforma Fixa – Possui uma estrutura de metal, conhecida como jaqueta, apoiada sobre solo marinho, sendo o tipo de plataforma mais estável. Opera em lâmina d'água rasa, de até 300 metros de profundidade e não possui capacidade de armazenamento de hidrocarbonetos.
- Semissubmersível – Se apoia em flutuadores submersos através de colunas. Em geral, é ancorada na localização desejada. Opera em lâminas d'água profundas e ultra profundas, de 300 a 3000 metros. Possui pouca capacidade de armazenamento de hidrocarbonetos.
- FPSO (*Floating, Production, Storage, Offloading*) – São unidades marítimas que, além de produzir, possuem grande capacidade de armazenagem de hidrocarbonetos. Apresentam o formato de um navio petroleiro, o que implica em menor estabilidade, devido ao tamanho do casco, sobretudo em condições ambientais adversas. Quando ancoradas, podem utilizar um equipamento conhecido como *Turret* (torre instalada no FPSO, que recebe as linhas de produção e de ancoragem). Operam em lâminas d'água profundas e ultra profundas.
- TLWP (*Tension Leg Wellhead Producer*) – Apoia-se em tendões de aço verticais ancorados em solo marinho, que ficam esticados pelo empuxo sofrido pela plataforma, aumentando a sua estabilidade. Opera em lâminas d'água profundas e ultraprofundas. Diferentemente de outros tipos de unidades que operam em lâminas d'água desse tipo, as árvores de natal (o conjunto de válvulas de controle dos poços) ficam na superfície.
- FPSO Monocoluna/SPAR – Apoia-se em um grande cilindro flutuante de armazenamento de hidrocarbonetos. Este cilindro serve para estabilizar a plataforma e é ancorado no solo marinho, por meio de cabos e âncoras. Opera em lâminas d'água profundas e ultraprofundas.

Sondas

- Autoelevável (*jack-up*) – Em geral, possui três pernas que se movimentam verticalmente. Para a movimentação da unidade, as pernas são suspensas, diminuindo a resistência com a água. Quando chega na locação em que vai operar,

a unidade desce as pernas, até que toquem o leito marinho. Operam em lâminas d'água de até 90 metros.

- Semissubmersível – Possui estrutura semelhante à UEP Semissubmersível. Possui torre de perfuração, o que permite sua diferenciação da UEP. Opera em laminas d'água profundas e ultraprofundas. Pode ser ancorada ou realizar seu posicionamento por meio do sistema de *Dynamic Position*³.
- Navio-Sonda – Sonda em formato de navio, com características operacionais semelhantes à sonda Semissubmersível.

Outras unidades

- UMS (Unidade de Manutenção e Segurança) – Unidade de apoio à manutenção de outras unidades marítimas. Possuem grande capacidade para acomodar pessoas. Conectam-se a unidade que está apoiando através de rampa.
- PLSV (*Pipe Lay Supply Vessel*) – Embarcação que realiza carregamento, transporte, lançamento e recolhimento de linhas flexíveis, utilizadas na interligação de sistemas submarinos.
- SESV (*Subsea Equipment Supply Vessel*) - Embarcação especializada em instalação de equipamentos submarinos, tais como: Árvores de Natal Molhada (ANM), Bases Adaptadoras de Produção (BAP), *Manifolds* etc.

2.2.3. Tipos de carga transportada

As unidades marítimas demandam diversos tipos de produtos em quantidade e frequência distintas. Segundo Aas, Halskau e Wallace (2009), os produtos podem ser divididos em duas categorias principais: Carga de convés (ou Carga geral) e Granéis. Estes últimos podem ser divididos em Granéis líquidos e Granéis sólidos.

Carga de convés ou Carga geral

A carga geral é transportada no convés da embarcação. Ela abrange uma vasta categoria de itens, que vão desde um pequeno parafuso até grandes equipamentos. Tem-se como exemplo de carga geral: equipamentos, ferramentas, peças sobressalentes, alimentos,

³ Sistema que verifica a todo momento a posição da unidade marítima ou embarcação e, caso identifique algum deslocamento indevido, aciona os propulsores principais e secundários, de forma a restaurar a posição original.

tubos de perfuração e de revestimento, produtos químicos, itens de hotelaria, dentre outros. Lixos e resíduos produzidos nas unidades marítimas também pertencem a essa categoria e devem ser trazidos para terra para tratamento e descarte.

A carga geral pode ser unitizada por meio de containers, *skids*, cestas, amarrados de tubo, *big bags*, além de equipamentos adaptados como *pallets* especiais. Adicionalmente, certos alimentos devem ser mantidos em contentores refrigerados. Neste caso, é necessário que a embarcação utilizada possua tomadas para manter o contentor ligado. A Figura 4 mostra alguns tipos de equipamentos utilizados para unitizar a carga (Fonte: Petrobras).



Figura 4: Elementos de unitização de carga

Há cargas que são transportadas sem a necessidade de equipamentos para a unitização. Como exemplo, tem-se os grandes equipamentos, como ANMs e *risers*.

A prioridade de entrega da carga varia de acordo com o tipo de produto, com o de operação das unidades marítimas ou com outras circunstâncias. Como exemplo de prioridade por tipo de produto, destaca-se o alimento da tripulação da unidade marítima. Caso não se consiga repor o alimento consumido pelas equipes, a UM em questão é evacuada, interrompendo a sua atividade. Um exemplo de prioridade por tipo de operação é a entrega de tubos de perfuração. Respeitar o prazo é essencial para que a sonda inicie ou mantenha sua atividade de perfuração. Eventuais atrasos podem fazer com que a sonda fique ociosa, causando enormes prejuízos. Por fim, existem produtos que podem tornar-se prioritários, devido a determinadas circunstâncias. É o caso de um sobressalente de

equipamentos de segurança da unidade marítima. Caso o equipamento falhe e não haja peças para repará-lo, a unidade marítima pode ficar desenquadrada perante a legislação e ter que interromper suas atividades. Adicionalmente, existem equipamentos cuja taxa diária é elevada e, assim, não devem ficar ociosos, aguardando o transporte para as unidades marítimas (AAS; HALSKAU e WALLACE, 2009).

Granéis líquidos

Os granéis líquidos transportados são a água, diesel, salmoura, fluidos sintéticos, dentre outros. São armazenados em tanques apropriados, que ficam abaixo do convés das embarcações. Assim como a carga geral, os tipos de granéis líquidos demandados e respectivas quantidades e frequências de atendimento dependem do tipo da unidade marítima e da atividade em curso.

Na maioria das vezes, o fluido é entregue como *load*, ou seja, da base terrestre para a unidade marítima. No entanto, há casos de *backload* e transbordo de granéis líquidos. Tem-se como exemplo o caso do fluido sintético que, após ser utilizado, pode ser reaproveitado por outra unidade marítima ou, então, deve voltar para a estação de tratamento de fluidos em terra, a fim de recuperar suas propriedades antes de ser reutilizado. A Figura 5 mostra o abastecimento de diesel de uma unidade marítima (Fonte: Autor).



Figura 5: Abastecimento de diesel de uma unidade marítima

Granéis Sólidos

Os granéis sólidos transportados para as unidades marítimas são a baritina, bentonita, calcário e cimento. São transportados em silos apropriados que ficam abaixo do convés das embarcações.

Na maioria dos casos, o granel sólido é transportado como *load*. As quantidades, frequências e prioridades de entrega também variam de acordo com o tipo de unidade marítima, atividade e circunstâncias em questão.

O cimento possui uma particularidade em relação à sua armazenagem e transporte. Ele é produzido em lotes que, em geral, não devem ser misturadas, para que o produto não perca as suas propriedades. Assim, após o transporte e entrega de um determinado lote, o silo da embarcação deve ser limpo para que possa receber outro lote.

2.2.4. Embarcações

As diferentes atividades no setor de E&P demandam o apoio de diversos tipos de embarcação especializadas. As principais embarcações do setor de serviços de E&P são:

- *Anchor Handling Supply Vessel (AHTS)* – Realizam o serviço de ancoragem, desancoragem e reboque de unidades marítimas. Possuem motores de alta potência, que permitem a operação em condições ambientais adversas. Podem ser utilizadas para entrega de suprimento às unidades marítimas, em determinadas situações.
- *Crewboat* – Realizam o transporte de passageiros. Mais utilizadas em situações de maior proximidade das unidades marítimas da costa.
- *Diving Support Vessel* – Embarcações utilizadas nas operações de mergulho.
- *Line Handling (LH)* – Pequena embarcação utilizada para o manuseio de cabos de amarração. Apoia operações de descarregamento de navios-tanque (*offloading*), recolhimento de óleo, dentre outras. Também pode ser utilizada para movimentação de cargas, em geral de transbordo entre unidades marítimas.
- *Oil Spill Response Vessel (OSRV)* – Embarcação especializada no combate ao derramamento de óleo no mar, sendo que, em geral, é um PSV adaptado a essa função. Devem permanecer na bacia fazendo a cobertura de determinada área.

- *Platform Supply Vessel (PSV)* – Embarcação utilizada para o transporte dos materiais de suprimentos às unidades marítimas. Possui grande capacidade de armazenamento de produtos.
- *ROV Support Vessel (RSV)* – Embarcação que possui um *Remotely Operated Vehicle (ROV)*: veículo utilizado para inspeção e manutenção submarina.
- *Utility Vessel (UT)* – Embarcação de menor porte utilizada para entregas emergenciais. Podem ser feitas em alumínio, o que diminui o peso. Possuem alta velocidade de navegação. No entanto, devido ao seu tamanho, não conseguem transportar todo o tipo de carga.
- *Well Stimulation Support Vessel (WSSV)* – Utilizada para aumentar a produtividade dos poços.

A principal embarcação para o transporte de carga para as plataformas é o PSV. Estas embarcações são conhecida como os caminhões dos mares (Kaiser, 2010). A Figura 6 mostra uma embarcação do tipo PSV⁴.



Figura 6: Embarcação do tipo PSV

Os PSVs devem possuir características, tais como: a capacidade de transportar carga; navegabilidade; confiabilidade e capacidade de manter a posição, no momento da operação de carga e descarga dos produtos (AAS; HALSKAU e WALLACE, 2009).

A operação de transferência de produtos entre a embarcação e a unidade marítima é realizada por meio de guindaste da UM, no caso da carga geral, ou, então, por meio de

⁴ Fonte: <http://www.nauticexpo.com/prod/simek-as/product-32363-379273.html>, Acessado em 02/04/2017

mangotes, no caso dos granéis. Para manter posição e realizar a operação de transferência de carga em segurança, os PSVs são equipados com o sistema de *Dynamic Position*.

Existem PSVs de diferentes tamanhos e capacidades. Essas embarcações são divididas em famílias, de acordo com a sua capacidade de transporte de tonelada bruta. No Brasil, uma categorização comum é a de PSVs 1500, 3000 e 4500, podendo essas embarcações transportarem as respectivas quantidades de produtos em toneladas. As Tabelas 3 e 4 ilustram algumas características relevantes dos PSVs no que tange as dimensões, capacidades de água e diesel, velocidades de navegação, dentre outros (Leite, 2012).

Tabela 3: Características gerais por tipo de PSVs (valores médios)

Tipo de Embarcação	Área de convés (m ²)	Área útil de convés (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Calado máximo (m)	Resistência do convés (t/m ²)	Armazenamento de água (m ³)	Vazão de água (m ³ /h)	Velocidade de Serviço (nós)
PSV 1500	394	295	62	15	4,7	4,0	565	96	10,0
PSV 3000	575	431	70	16	5,7	5,1	972	68	10,0
PSV 4500	880	660	87	18	6,2	5,0	1379	81	10,2

Tabela 4: Capacidades e consumo de diesel por tipo de PSV (valores médios)

Tipo de Embarcação	Capacidade de diesel (m ³)	Vazão de diesel (m ³ /h)	Consumo de diesel navegando (ton/dia)	Consumo de diesel aguardando (ton/dia)	Consumo de diesel no porto (ton/dia)
PSV 1500	485	93	11,4	4,3	1,1
PSV 3000	652	70	13,3	4,3	1,3
PSV 4500	1832	91	16,7	5,7	1,3

Destaca-se que não é possível utilizar a área total do convés da embarcação, por diversos motivos. Leite (2012) constata que: 1) é necessário que haja espaço livre para o trânsito da tripulação no convés; 2) o alto grau de heterogeneidade da carga de convés dificulta a otimização da sua alocação no convés; 3) há a necessidade de manter as cargas de uma mesma unidade, próximas umas das outras, para facilitar a operação no mar e 4) a utilização do convés depende do tipo de operação realizada, ou ainda das condições ambientais no mar. Segundo o autor, a área útil pode ser considerada em torno de 75% da área total.

Na maioria dos casos, os PSVs são concebidos para transportar todos os tipos de produtos. No entanto, há casos em que pode haver uma conversão de tanques e silos para um determinado tipo de produto, mais comum no caso das empresas que trabalham com frota especializada. Destaca-se ainda que, neste caso, raramente se atinge a capacidade da embarcação, em peso. Assim, as maiores restrições com relação à capacidade de armazenagem de produtos são a área de convés e o volume dos tanques e silos.

Segundo Aas, Halskau e Wallace (2009), a localização geográfica, onde a atividade *offshore* ocorre, é um indicador importante na escolha do tipo de embarcação. Fatores como condições ambientais, quantidade de carga demandada e distância da costa, são importantes na determinação da composição da frota. O autor ainda destaca que essas embarcações são geralmente afretadas pelas empresas de petróleo. No entanto, é a própria empresa que decide como utilizará a embarcação.

2.2.5. Portos de apoio *offshore*

Os portos devem ser adaptados para atender às demandas das áreas que estão apoiando. Suas características podem variar, significativamente, de um porto para o outro. As principais características de um porto *offshore* são as seguintes (Leite, 2012):

1. Número de berços deve atender às demandas das unidades marítimas
2. Lâmina d'água, comprimento e resistência de solo do berço
3. Equipamentos, como guindastes, pontes rolantes, linhas de movimentação de granéis líquidos e sólidos, entre outros
4. Área de armazenamento temporário para a carga geral, tanto para a carga que tem como destino final as unidades marítimas (*load*), quanto para aquelas que têm as UMs como origem (*backload*)
5. Áreas segregadas para armazenamento temporário de produtos químicos e resíduos, de acordo com requisitos legais
6. Tanques e silos para o armazenamento de granéis líquidos e sólidos
7. Licenças legais para a operação dos diversos produtos
8. O canal de acesso marítimo ao porto deve ser compatível com o porte das embarcações (lâmina d'água, largura, bacia de evolução, ...)

9. Acessos rodoviários e ferroviários devem ser compatíveis com o fluxo de veículos necessários para abastecer o porto
10. É desejável que os armazéns fiquem próximos ao porto.

3. ATIVIDADES PRÉ-MODELAGEM

3.1. Procedimento Metodológico

A Figura 7 resume o procedimento metodológico utilizado para conduzir o estudo (Fonte: Autor).

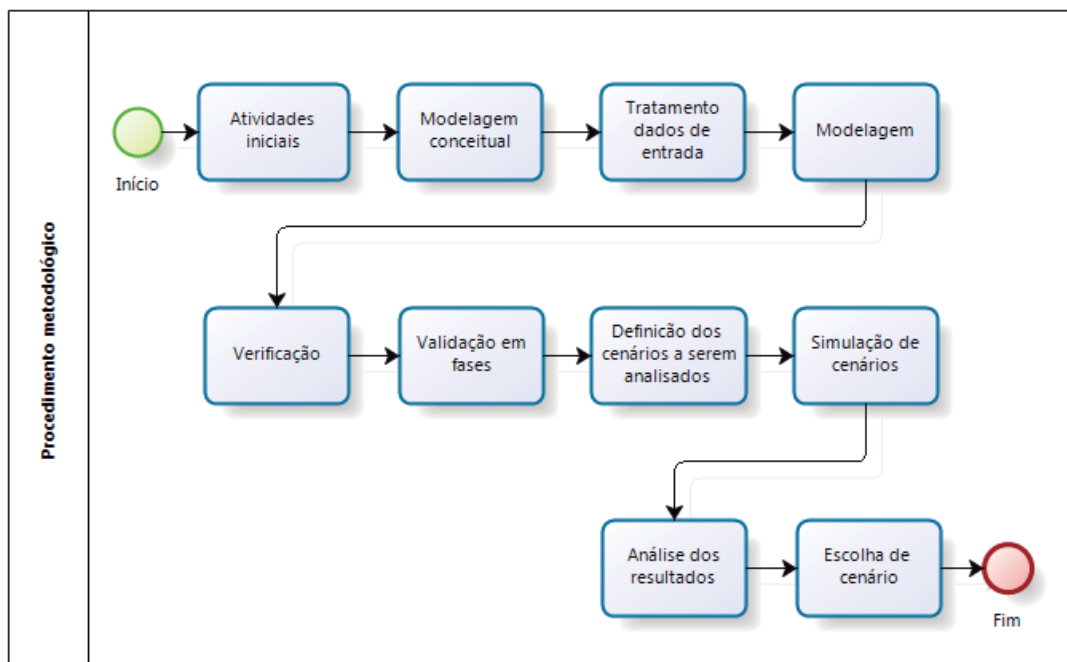


Figura 7: Procedimento metodológico

Descrição das etapas

- **Atividades iniciais:** Etapa inicial do estudo que envolveu a identificação das principais bases de dados, visita aos portos considerados no estudo, reunião com as equipes operacionais, discussão sobre indicadores, entre outros. Nesta etapa, também foi definido o período da análise, e realizada a coleta dos dados.
- **Modelagem conceitual:** Desenvolvimento do modelo conceitual, de forma a auxiliar na melhor estratégia de modelagem e evitar retrabalho durante a etapa de codificação.
- **Tratamento dos dados de entrada:** Realização de análises e testes estatísticos, nas diferentes bases de dados, para gerar as distribuições de entrada no modelo.
- **Modelagem:** Etapa de transcrição do modelo conceitual para o software escolhido.
- **Verificação:** Aplicação de técnicas de verificação, com o objetivo de confirmar se o modelo está livre de erros e inconsistências de lógica

- **Validação:** Constatação se os resultados obtidos por meio da simulação representam a realidade. A validação foi realizada em duas etapas. Primeiramente foi simulado o cenário de operação de forma similar àquele praticado pela empresa estudada, no período escolhido para a análise. Em seguida foram avaliados alguns resultados de nível de serviço e, devido a premissas adotadas no estudo, foi necessária a realização de uma segunda etapa de validação. Nesta etapa, foi definido o Cenário Base, que seria parâmetro de comparação com os outros cenários simulados no estudo.
- **Definição dos cenários a serem analisados:** Escolha da configuração dos outros cenários envolvidos na análise.
- **Simulação de cenários:** Etapa em que se realizam as rodadas dos diferentes cenários e se coletam os resultados.
- **Análise dos resultados:** Comparação dos resultados de cada cenário, em termos de parâmetros relacionados às frotas, custos e nível de serviço dos diferentes produtos.
- **Escolha do cenário:** Recomendação do cenário que apresenta melhores combinações, entre todos os resultados envolvidos.

3.2. Atividades iniciais

Foram realizadas visitas técnicas aos portos de Imbetiba e do Açú para conhecer os processos relativos às operações portuárias. Essas visitas foram necessárias para identificar eventuais restrições a serem levadas em consideração no momento da proposta dos cenários.

Também foram realizadas reuniões com equipes de operação das embarcações, dos portos, das unidades marítimas, de SMS e de engenheiros navais técnicos, com o intuito de identificar a viabilidade das soluções propostas.

O modelo recebeu, como entrada, diversos parâmetros operacionais. Assim, foi necessária a identificação das principais fontes desses registros. Foram levantadas diversas bases de dados, que continham informações acerca dos produtos entregues, tempos de operação no porto e no mar, consumo e capacidades das unidades marítimas e

embarcações, parâmetros de inoperância e docagem, entre outros. Muitas vezes foi necessária a análise de consistência entre as diferentes bases de dados.

3.3. Modelo Conceitual

Os trabalhos de Robinso (2008a, 2008b) foram utilizados como base para desenvolvimento do modelo conceitual. Ressalta-se que nem toda a estruturação proposta pelo autor está empregada na modelagem conceitual. Outros elementos foram adicionados, de acordo com a necessidade de representação.

3.3.1. Descrição do problema

As UMs demandam diversos produtos, a fim de realizarem as atividades de E&P. Os produtos são entregues por embarcações do tipo PSV, que, geralmente, são concebidos para transportar e movimentar diversos deles em uma mesma viagem. No entanto, há casos em que a empresa de petróleo adota a estratégia de entrega-los utilizando frotas especializadas.

O modelo proposto se restringe à análise do transporte e movimentação de carga geral, água e diesel, comparando diferentes estratégias de operação.

Carga geral e água

A carga geral e a água são transportadas por uma embarcação denominada PSV de Carga Geral (PSV de CG). Com relação à carga geral, existem três fluxos possíveis: 1) Do porto para a UM (*load*); 2) Da UM para o porto (*backload*); 3) Entre UMs (transbordo). Apenas os dois primeiros casos serão abordados na análise. As cargas de *load* e *backload* podem ser transportadas por embarcações que seguem, ou não, uma programação semanal pré-definida. O estudo considera apenas os casos das embarcações de carga geral que respeitam um cronograma definido. Dessa forma, os PSVs de CG podem ser denominados PSVs Cronograma.

As UMs são agrupadas em *clusters* de atendimento, recebendo um número fixo de visitas por semana. Os *clusters* são definidos de acordo com fatores tais como o tipo da UM (Unidades de Produção, Sondas, Embarcações Especiais), as proximidades entre as UMs, o tempo de ciclo da viagem e a demanda por carga. Neste caso, a demanda por cargas de

um *cluster* não pode exceder a quantidade de carga que os PSVs de CG conseguem transportar.

Em seguida, rotas são definidas, levando em consideração distâncias percorridas, unidades marítimas que demandam atendimento prioritário e restrições operacionais. O PSV de CG deve seguir a rota pré-estabelecida de forma a aumentar a previsibilidade dos horários de chegada nas UMs e realizar o tempo de ciclo planejado. Em cada visita, o PSV de CG entrega e recebe a carga geral programada. Os PSVs de CG armazenam água em seus tanques. Assim, caso a UM necessite, ainda é realizada a entrega de água no momento da visita.

Após atender a última UM do *cluster*, o PSV de CG verifica se deve abastecer de diesel e, em caso positivo, segue para um dos navios-tanque (NTs) a fim de realizar tal operação. Os NTs funcionam como pontos de abastecimento de diesel e ficam localizados na bacia. Ao final de todas as operações na bacia, o PSV de CG volta para o fundeio do porto e fica disponível para realizar uma próxima viagem.

Uma viagem tem início no momento da atracação da embarcação. Quando o PSV de CG está atracado, as cargas de *backload* da viagem anterior são descarregadas, e as de *load* da próxima viagem são carregadas no seu convés. As viagens possuem dias e horários fixos ao longo da semana, para iniciarem. É desejável que os intervalos entre atendimentos a um *cluster* possuam durações semelhantes. Assim, se um *cluster* está programado para receber duas viagens por semana, o espaço entre viagens deve ser por volta de 3,5 dias (7 dias / 2 viagens na semana). Os horários das viagens para os diferentes *clusters* ainda dependem da disponibilidade de atracação dos berços.

Os PSVs de CG devem trocar a tripulação (troca de turma) de tempos em tempos. Essa atividade é realizada no momento em que a embarcação atraca no porto para realizar suas viagens.

O planejamento das viagens deve considerar que há ocasiões em que a embarcação fica inoperante por um período de tempo, voltando a operar após passar por manutenção corretiva. Ainda há situações em que a embarcação sofre manutenção preventiva, passando por um período de docagem em um estaleiro. Ao contrário da natureza

imprevisível de ocorrência da inoperância, a embarcação segue para docagem, de acordo com um planejamento pré-definido.

A definição de *clusters* de atendimento, programação de viagens e definição de horários de atracação são realizadas por meio de heurísticas desenvolvidas pela equipe de programação.

Diesel

O diesel é entregue para as unidades marítimas por um PSV especializado, denominado PSV Oleeiro. As embarcações designadas para esse tipo de atividade são aquelas que possuem maior capacidade de armazenamento de diesel.

As entregas são realizadas sem que haja uma programação pré-definida de atendimento. Os PSVs Oleeiros ficam distribuídos na bacia, aguardando um pedido de diesel. Quando uma UM precisa de diesel, um pedido é criado e uma embarcação é programada para realizar o atendimento. Ao final da entrega, o PSV Oleeiro verifica se precisa reabastecer de óleo diesel e, em caso positivo, a embarcação segue para abastecer em um navio-tanque. Caso contrário, o PSV Oleeiro aguarda um novo pedido de diesel.

De forma análoga ao PSV de CG, o PSV Oleeiro precisa trocar sua tripulação de tempos em tempos. Nesse caso, idas extras ao porto devem ocorrer para realizar tal atividade. Os PSVs Oleeiros também passam por períodos de inoperância e de docagem.

Abastecimento de diesel para embarcações supridoras

Uma solução para o abastecimento de diesel dos PSVs é por meio de navios-tanque (NT), que são petroleiros com capacidade de armazenamento de diesel em torno de 18.000 m³. Os NTs atracam em boias distribuídas em pontos estratégicos ao longo da bacia.

O NT abastece diversos tipos de embarcações como os PSVs, *os Anchor Handling Supply Vessel* (AHTS), embarcações de combate à poluição, entre outras. Um NT permanece atracado na boia até não possuir mais diesel para fornecer. Nesse momento, o NT deixa a bacia e vai a um terminal especializado para receber diesel. Uma vez o NT abastecido, ele retorna a bacia.

O abastecimento de diesel por meio de navios-tanque é uma solução alternativa, principalmente em situações em que a infraestrutura portuária para fornecimento de diesel a embarcações supridoras é precária. Esta solução também implica em menores distâncias percorridas pelos PSVs, uma vez que o NT se posicionam próximos às unidades marítimas. No entanto, além de essa solução demandar um dispêndio adicional com o afretamento dos NTs, há maior risco de descontinuidades operacionais, devido a condições ambientais adversas. Adicionalmente, o NT tem a limitação de atender uma embarcação por vez, o que pode resultar em longas filas e tempos de espera para o abastecimento.

3.3.2. Funcionamento geral do simulador

Neste modelo conceitual, são representados os locais e os recursos envolvidos na operação real. Os locais considerados foram o porto com seu respectivo fundeio, a bacia com suas unidades marítimas, as boias de atracação dos navios-tanque e os portos especializados em diesel para o abastecimento dos NTs. Como artifício de modelagem, também foram criados alguns locais auxiliares como, por exemplo, os locais de inoperância e docagem de embarcações. Já com relação aos recursos, foram representados os PSVs de CG, PSVs Oleeiros, navios-tanque e outras embarcações que abastecem diesel no NTs.

O modelo foi concebido para permitir a simulação de diferentes cenários de operação. A entrega de carga geral, água e diesel pode ser simulada com frotas especializadas, ou com uma frota única, denominada frota multipropósito. Já com relação ao abastecimento de diesel dos PSVs, pode-se optar pelo abastecimento nas boias ou no porto. Neste caso, ao invés de irem para as boias, os NTs se destinam ao porto e descarregam o diesel nos tanques portuários.

Entrega de carga geral e água

As viagens de carga geral seguem um cronograma de atendimento definido previamente. No momento da programação de uma viagem para determinado *cluster*, são verificados quais PSV de Cronograma se encontram disponíveis no fundeio, e um destes é escolhido para o atendimento.

A programação de um atendimento de carga geral consiste em alocar virtualmente pedidos das unidades marítimas à embarcação escolhida. Estes são representados em uma lista de pedidos.

Uma vez finalizado o processo de programação, a embarcação aguarda a disponibilidade de berços e que o canal de acesso ao porto esteja livre, seguindo para atracação quando essas duas condições são satisfeitas.

Ao chegar ao porto, a embarcação realiza a operação de carregamento e descarregamento de carga geral. Para os cenários em que se deseja simular o abastecimento de diesel por meio do porto, essa operação também é realizada durante a atracação, caso haja necessidade. Em seguida, a embarcação segue para a bacia, onde realizará o atendimento das unidades marítimas, seguindo a rota do *cluster*.

Na bacia, a operação em cada UM consiste em: 1) Navegar até a UM da vez; 2) Aguardar na fila, se houver outra embarcação operando na UM; 3) Aguardar condições ambientais favoráveis para a operação, caso seja necessário e 4) Movimentar a carga programada (*load e backload*).

Destaca-se que a água não foi modelada como um elemento separado. No entanto, o abastecimento do PSV Cronograma no porto e a entrega deste produto na UM são considerados de forma conjunta com a carga geral. Os tempos históricos de operação para carga geral já refletem as operações com água.

Nos cenários de simulação em que o PSV Cronograma não recebe diesel no porto, ao final do atendimento, verifica-se a necessidade da embarcação abastecer diesel. Em caso positivo, o PSV navega até uma boia, que conte com a presença de um NT. A sequência de eventos para a operação do PSV no NT é análoga àquela realizada na UM.

Antes de a embarcação retornar ao fundeio do porto e ficar disponível para uma próxima viagem, verifica-se se ela deve ficar inoperante e, em caso positivo, um tempo de inoperância é sorteado. Apesar da inoperância poder acontecer a qualquer momento na realidade, o modelo considera que esse evento só ocorre no fim da viagem. Em seguida,

de acordo com uma programação, procura-se saber se existe a necessidade de a embarcação seguir para docagem. Caso a isso ocorra, um tempo também é considerado.

Para os PSVs Cronograma, assume-se que as trocas de turma são realizadas durante a atracação no porto.

Entregas de diesel

Os PSVs Oleiros ficam distribuídos na bacia, aguardando um pedido de diesel. No momento em que o estoque da unidade encontra-se abaixo do ponto de ressuprimento, um pedido é gerado e verificam-se quais PSVs Oleiros estão disponíveis para realização do atendimento, sendo um deles selecionado para entregar diesel à UM. A operação consiste na transferência do diesel necessário para que o estoque da UM atinja seu ponto de topo. Mesmo nos casos em que o diesel disponível no PSV Oleiro não seja suficiente para suprir a toda a demanda da UM, a operação ocorre. Nesse caso, todo o diesel do PSV Oleiro é transferido para a UM, mesmo que o ponto de topo não seja atingido. A sequência de eventos para a operação do PSV Oleiro na UM é análoga àquela realizada pelo PSV Cronograma.

Ao final do atendimento, é verificado se o PSV Oleiro necessita reabastecer o tanque de diesel, utilizando o mesmo conceito de ponto de ressuprimento. Em caso positivo, o PSV Oleiro segue para o NT, ou para o porto, dependendo da estratégia escolhida para simulação. Caso contrário, a embarcação fica disponível para a programação, ao lado da UM que acabou de atender.

Ao longo da simulação, de forma análoga aos PSVs Cronograma, é verificado se o PSV Oleiro vai ficar inoperante, ou se deve docar. Caso uma dessas atividades ocorra, o PSV Oleiro segue para o respectivo local auxiliar, permanecendo indisponível para realizar qualquer outra atividade.

Nos cenários em que o PSV Oleiro abastece no NT, considera-se a necessidade de visitas adicionais ao porto para realizar a troca de turma. Já nos cenários de abastecimento de diesel no porto, assume-se que as trocas de turma são realizadas durante as atracções.

Viagens Multipropósito – Entrega de carga geral, água e diesel

O modelo permite a simulação de cenários em que, na mesma viagem, haja a entrega de carga geral, água e diesel (viagens multipropósito).

As viagens multipropósito seguem a mesma programação (*clusters*, rotas, horários, ...) das viagens de carga geral e água. A diferença entre ambas é a possibilidade de entregar os três produtos. Na viagem multipropósito, além da operação com a carga geral programada, o diesel também é fornecido, caso seja verificada necessidade desse produto por parte da UM.

Navios-tanque

Os navios-tanque podem ser destinados à bacia ou ao porto, de acordo com o cenário de simulação pelo qual se optou. No primeiro caso, o NT escolhe uma boia livre e destina-se a ela. Uma vez atracado na boia, o NT atende uma embarcação por vez, permanecendo na bacia até o momento em que não tenha mais diesel para fornecer. Já no segundo caso, o NT segue para o porto na hora programada para a sua atracação. Quando isso acontece, o NT descarrega todo o seu diesel nos tanques do porto. Em ambos os casos, uma vez finalizada a operação de entrega de diesel, o NT segue para o seu porto especializado, abastece-se de diesel, iniciando um novo ciclo.

Para os cenários em que isso acontece na bacia, o NT deve abastecer não só os PSVs, mas todas as outras embarcações que demandam diesel.

Outras embarcações

Apesar de não serem objeto do estudo, essas embarcações exercem grande influência no sistema, tanto na concorrência na fila para abastecer, quanto no próprio consumo do diesel do NT. Dessa forma, elas foram representadas no modelo. As embarcações chegam para abastecer no NT de tempos em tempos, seguindo a mesma sequência de eventos para a operação dos PSVs de CG e PSVs Oleeiros.

3.3.3. Parâmetros de entrada

Nesta seção são apresentados os parâmetros de entrada utilizados no modelo computacional.

Tabela 5: Parâmetros de entrada

PSVs de CG e PSVs Oleiros
<ul style="list-style-type: none"> • Número de embarcações de cada tipo • Capacidade de diesel • Capacidade de carga geral (tamanho do convés) • Velocidades de navegação • Taxas de inoperância • Programação de docagem • Programação de troca de turma (quando o PSV Oleiro abastece no NT)
Porto
<ul style="list-style-type: none"> • Localização (coordenadas) • Velocidade de movimentação de carga geral • Vazões de diesel • Capacidade de armazenamento de diesel • Cronograma semanal de atracações • Operações de diferentes produtos: Série ou paralelo
UMs
<ul style="list-style-type: none"> • Localizações (coordenadas) • Demanda semanal de carga geral de entrega - <i>load</i> • Demanda semanal de carga geral de retorno - <i>backload</i> • Taxa de consumo de diesel • Velocidade de movimentação de carga geral • Vazões de diesel • Capacidade de armazenamento de diesel • Indisponibilidade de operação devido a condições ambientais • <i>Cluster</i> • Operações de diferentes produtos: Série ou paralelo
NTs
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidades de diesel • Vazão de diesel • Tempos de ciclo • Indisponibilidade devido a condições ambientais
Outras embarcações
<ul style="list-style-type: none"> • Taxa de chegada no NT • Volumes de diesel consumidos

3.3.4. Parâmetros de saída

Nesta seção são apresentados os parâmetros de saída do modelo computacional.

Tabela 6: Parâmetros de saída

PSV de CG
<ul style="list-style-type: none">• Ocupação da frota• Tempo de ciclo (porto + bacia + fundeio)• Tempo de viagem (porto + bacia)• Tempo de berço• Tempo de fundeio• Tempo de operação na UM• Tempo aguardando condição ambiental favorável para operar na UM• Tempo aguardando na fila para operar na UM• Consumo próprio de diesel no ano• Diesel entregue por visita (Cenário multipropósito)• Diesel entregue no ano (Cenário multipropósito)• Quantidade total de carga geral movimentada (<i>load</i> e <i>backload</i>)• Quantidade total de carga geral entregue à UM (<i>load</i>)• Quantidade total de carga geral recebida da UM (<i>backload</i>)• Percentual da frota inoperante• Tempo de inoperância• Percentual da frota docada• Tempo de docagem
PSVs Oleiros
<ul style="list-style-type: none">• Ocupação da frota• Tempo de operação na UM• Tempo aguardando condição ambiental favorável para operar na UM• Tempo aguardando na fila para operar na UM• Consumo próprio de diesel no ano• Diesel entregue por visita• Diesel entregue no ano• Percentual da frota inoperante• Tempo de inoperância• Percentual da frota docada• Tempo de docagem
Bacia
<ul style="list-style-type: none">• Consumo de diesel das UMs no ano

Porto
<ul style="list-style-type: none"> • Atraso máximo no horário de atracação • % de cronogramas com atraso na atracação • % de berços ocupados
Variáveis de nível de serviço
<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de entrega (<i>leadtime</i>) médio CG • Tempo de entrega (<i>leadtime</i>) máximo CG • Tempo de entrega (<i>leadtime</i>) médio diesel • Tempo de entrega (<i>leadtime</i>) máximo diesel • Ocorrências estoque abaixo mínimo • Ocorrências estoque zero

3.3.5. Simplificações e premissas

Nesta seção são descritas as simplificações e premissas adotadas no modelo.

Tabela 7: Simplificações e premissas

Simplificações
<ul style="list-style-type: none"> • Não há o detalhamento das operações portuárias envolvendo movimentação de cargas dentro de pré-embarques ou retroportos. Exemplo: movimentações com caminhões e carretas. • Para as viagens que seguem cronogramas, não é permitida a realização de duas visitas a uma UM dentro da mesma viagem. • As atividades fim das outras embarcações não são representadas; apenas sua interferência no abastecimento de diesel. • As inoperâncias das embarcações ocorrem ao final da viagem • A água não foi modelada de forma separada. A operação com a água é considerada em conjunto com a de carga geral. • Não foram consideradas restrições de horários nas UMs. • Não foram consideradas viagens extra cronograma e viagens de emergência para entrega de CG e água.
Premissas
<ul style="list-style-type: none"> • As viagens multipropósito seguem o cronograma das viagens de carga geral • As capacidades de transporte de carga geral e diesel não são restringidas pelo peso dos produtos, mas sim pelos volumes. • Para os cenários em que não haja NTs na bacia, as outras embarcações abastecem de diesel em seus próprios portos. • Sempre há diesel disponível nos portos especializados para abastecer os NTs. • As áreas de armazenagem de carga geral no porto e nas UMs são suficientes.

- Para as embarcações que operam no porto, as trocas de turma são realizadas no momento da atracação, sem que haja a necessidade de vindas adicionais ao porto.
- Heurística de seleção de embarcações supridoras são do tipo FIFO (*first-in first-out*)

3.3.6. Componentes

Nesta seção é apresentada a tabela dos componentes considerados no modelo. A coluna “Incluir/excluir” indica se um elemento deve estar presente, ou não, no modelo.

Tabela 8: Componentes físicos

Componente	Incluir/excluir	Representação	Justificativa
Embarcação PSV (CG e Oleeiro)	Incluir	Recurso	Contabilizar automaticamente aspectos tais como tamanho de frota, utilização e regras de chamada.
Embarcação PSV (CG e Oleeiro)	Incluir	Entidade	Ter controle pleno sobre as atividades da embarcação.
Embarcação Extra cronograma e de Emergência	Excluir	-	Premissa de que toda carga pode ser entregue por meio do cronograma
Estoques da embarcação	Incluir	Matriz	Ter controle de estoques do barco.
Berço	Incluir	Local	Local em que as entidades do tipo barco operam carga.
Fundeio	Incluir	Local	Controlar a formação de filas.
Área de armazenagem de carga geral no porto	Excluir	-	Adotou-se como premissa que a área do porto é suficiente para a armazenagem da carga geral.

Estoque de diesel no porto	Incluir	Tanque	Ter controle (incluindo visual) sobre as operações com diesel no porto.
UMs	Incluir	Matriz	Elementos consumidores de cargas.
Área de armazenagem de carga geral na UM	Excluir	-	Adotou-se a premissa que a gestão da área de armazenagem realizada pela UM é refletida na demanda.
Estoque de diesel na UM	Incluir	Matriz	Utilizar a estrutura já definida para controle de estoques.
Estoque de água na UM	Excluir	-	A água não foi modelada como um elemento separado.
Bacia	Incluir	Local	Local em que as entidades do tipo barco realizam as operações para as UMs.
NT	Incluir	Entidade	Ter controle sobre as operações dos NTs.
Porto especializado para atendimento de NTs	Incluir	Local	Local em que as entidades do tipo NT operam abastecem diesel.
Estoques do NTs	Incluir	Matriz	Ter controle de estoques do NTs.
Estoque dos NTs	Incluir	Tanque	Ter controle (incluindo visual) dos estoques dos NTs, quando estão nas boias

Boia	Incluir	Local	Local na bacia em que os NTs atracam para operar.
Outras embarcações	Incluir	Entidades	Ter controle sobre as atividades de abastecimento de diesel das outras embarcações.

Tabela 9: Componentes não-físicos

Componente	Incluir/excluir	Representação	Justificativa
Pedidos de carga geral	Incluir	Matriz	Registrar pedidos e acompanhar seus <i>status</i> .
Atendimentos	Incluir	Matriz	Registrar atendimentos e acompanhar seus <i>status</i> .

3.3.7. Padrões de nomeação dos componentes

Na Tabela 10, a seguir, são apresentadas regras para a padronização da nomeação de componentes empregados no desenvolvimento do simulador.

Tabela 10: Padrões de nomeação dos componentes

Elemento	Nomeação	Exemplos
Local	Local	Porto, Fundeio
Entidade	eEntidade	ePSV
Atributo	aAtributo	aID_PSV
Recurso	rRecurso	rPSV, rPSV_Oleiro
Matriz	mMatriz	mStatus_UM
Variável	vVariavel	vEstoque_UM1
Variável local	vlVariavel_Local	vlVolume_Total
Variável índice de coluna de matriz	vCol_NomeColuna_Nome Matriz	vCol_IDAtendimento_mStatus_Barcos

3.3.8. Fluxograma de funcionamento do sistema

As Figuras 8 e 9 ilustram os eventos seguidos pelas entidades do modelo, sendo a primeira relativa aos PSVs de CG e PSVs Oleiros e a segunda relativa aos Navios Tanque e as Outras embarcações (Fonte: Autor).

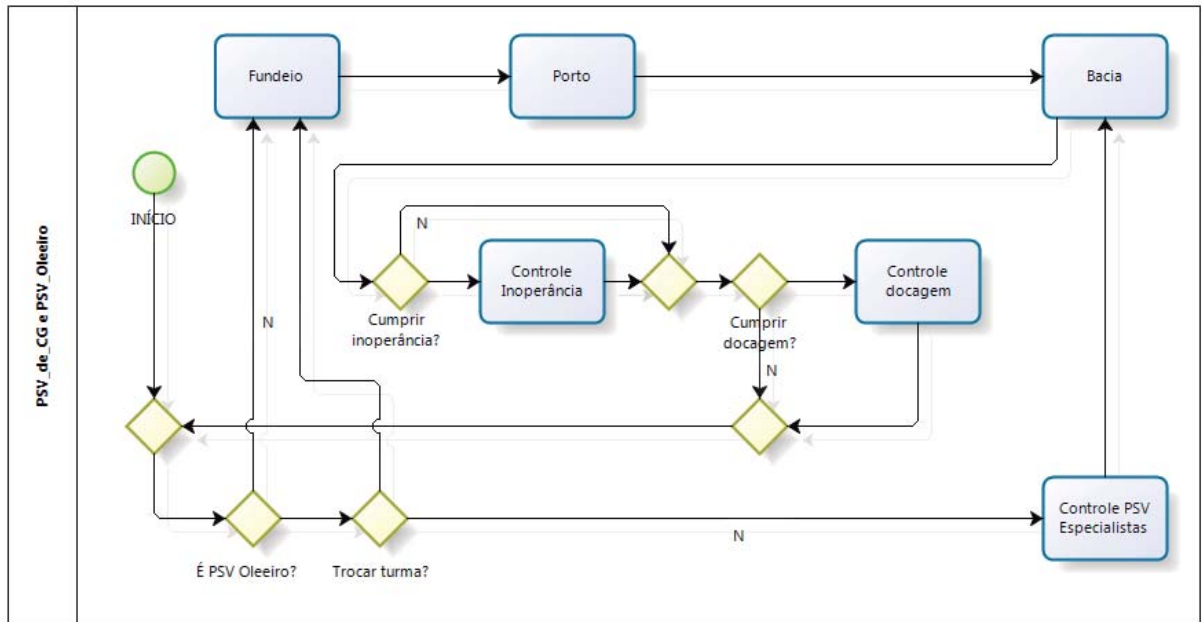


Figura 8: PSV de CG e PSV Oleiro

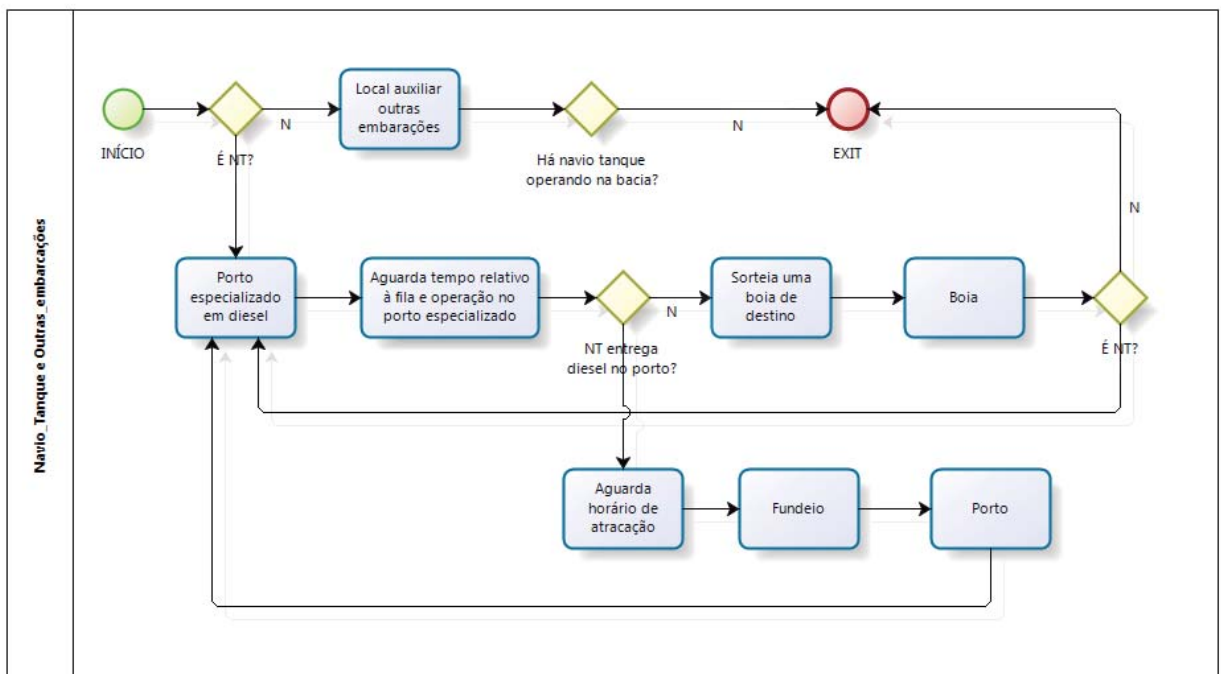


Figura 9: Navio Tanque e Outras Embarcações

MODELAGEM

4.1. Tratamento dos dados de entrada

Neste capítulo, foram detalhados os principais dados de entrada utilizados. Alguns dados foram traduzidos para o modelo, como distribuições de probabilidade. Para encontrar as distribuições, realizaram-se testes de Kolmogorov-Smirnoff com nível de significância de 5%. Utilizou-se como ferramenta de auxílio o *software* Statfit, da empresa ProModel Corporation (2015). No caso de mais de uma opção de distribuição, foi escolhida aquela que apresentava o maior valor-p. Segundo Chwif e Medina (2010), o valor-p representa o menor nível de significância que pode ser assumido para se rejeitar a hipótese de aderência, ou seja:

- Se $\text{valor-p} \leq \alpha$, então, H_0 é rejeitada ao nível de significância de α ;
- Se $\text{valor-p} > \alpha$, então, H_0 não é rejeitada ao nível de significância de α ;

No presente caso, foi adotado $\alpha = 0,05$. Os autores ainda apresentam critérios usuais para classificação do valor-p, conforme ilustrado na Tabela 11.

Tabela 11: Critérios usuais para classificação do valor-p

Valor	Critério
$\text{valor-p} < 0,01$	Evidência forte contra a hipótese de aderência
$0,01 \leq \text{valor-p} < 0,05$	Evidência moderada contra a hipótese de aderência
$0,05 \leq \text{valor-p} < 0,10$	Evidência moderada contra a hipótese de aderência
$0,10 \leq \text{valor-p}$	Evidência fraca ou inexistente contra a hipótese de aderência

Apesar da diferença entre os módulos dos valores-p obtidos, nenhuma distribuição, apresentada a seguir, foi rejeitada nos testes de aderência. Destaca-se, ainda, que todos os valores-p mostrados são maiores que 0,10, o que, de acordo com a Tabela 11, apresentaria uma evidência fraca ou inexistente contra a hipótese de aderência. A Tabela 12 mostra as principais distribuições que foram usadas no estudo, com seus respectivos parâmetros (Fonte: StatFit User Guide, Versão 2).

Tabela 12: Principais distribuições

Nome	Distribuição	Parâmetros
Beta	$f(x) = \frac{1(x - \min)^{p-1}(\max - x)^{q-1}}{(\max - \min)^{p+q-1}} \frac{1}{\beta(p, q)}$	<ul style="list-style-type: none"> - Min: mínimo de x - Max: máximo de x - p: parâmetro de forma inferior > 0 - q: parâmetro de forma superior > 0 - $\beta(p, q)$: Função beta
Johnson SB	$f(x) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi}y(1-y)\lambda} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{y}{1-y}\right)\right)^2\right)$ <p>Em que: $y = \frac{x - \min}{\lambda}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Min: mínimo de x - λ: faixa de x acima do mínimo - γ: parâmetro de assimetria - δ: parâmetro de forma > 0
LogLogistic	$f(x) = \frac{\rho\left(\frac{x - \min}{\beta}\right)^{\rho-1}}{\beta\left[1 + \left(\frac{x - \min}{\beta}\right)^\rho\right]^2}$	<ul style="list-style-type: none"> - Min: mínimo de x - ρ: parâmetro de forma > 0 - β: parâmetro de escala > 0
Lognormal	$f(x) = \frac{1}{(x - \min)\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{[(\ln(x - \min)) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right)$	<ul style="list-style-type: none"> - Min: mínimo de x - μ: média da distribuição normal - σ: desvio padrão da distribuição normal
Pearson 5	$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)(x - \min)^{\alpha+1}} \exp\left(-\frac{\beta}{[x - \min]}\right)$	<ul style="list-style-type: none"> - Min: mínimo de x - α: parâmetro de forma > 0 - β: parâmetro de escala > 0
Rayleigh	$f(x) = \frac{(x - \min)}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x - \min)^2}{2\sigma^2}\right)$	<ul style="list-style-type: none"> - Min: mínimo de x - σ = parâmetro de escala > 0
Weibull	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x - \min}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{[x - \min]}{\beta}\right)^\alpha\right)$	<ul style="list-style-type: none"> - Min: mínimo de x - α: parâmetro de forma > 0 - β: parâmetro de escala > 0

4.1.1. PSVs de CG e PSVs Oleiros

Os dados de entrada foram divididos, considerando diferentes graus de detalhamento, da seguinte forma: 1) Relativos a todas as embarcações; 2) Relativos a um tipo de embarcação (PSV de CG ou PSV Oleiro); 3) Relativos a uma embarcação específica. Cada tipo de dado de entrada foi enquadrado em uma categoria. O critério utilizado na classificação levou em consideração a relevância do detalhamento e a facilidade de coleta do dado. As Tabelas 13, 14 e 15 resumem os dados de entrada relativos aos PSVs. Todos os dados apresentados foram fornecidos pela empresa estudada.

Tabela 13: Dados determinísticos

Parâmetro	Classificação	Descrição
Capacidade de diesel	Individual	Os PSVs de CG apresentam capacidade de 450 a 1700 m ³ . Já os PSVs Oleiros possuem de 783 a 2680 m ³ .
Capacidade de carga geral	Individual	Os PSVs de CG apresentam capacidade entre 60 e 123 lingadas (unidade de carga. Uma lingada equivale a um contentor) de área total. Para embarcações cujos dados não foram conseguidos, utilizou-se a média de capacidade.
Programação de troca de turma	Tipo	Apesar de ambas embarcações (PSVs de CG e PSVs Oleiros) terem que trocar a tripulação, foi considerada apenas a troca de turma dos PSVs Oleiros, realizada a cada 28 dias. No caso dos PSVs de CG, considerou-se que a troca ocorria no momento da atracação.

Tabela 14: Dados Estocásticos - Estatísticas

Parâmetro	Detalhamento	Amostra	Média	Desvio padrão	Máximo
Velocidade navegação (km/h)	Distância abaixo de 18km	32	11,38	4,27	21,33
	Distância acima de 18km	121	15,18	2,79	19,02
Inoperância	Duração (dias)	591	2,41	4,12	31,00
	Ocorrência	60	3,79%	1,52%	6,76%
Docagem	Duração (dias)	46	13,39	9,33	47,30
	Ocorrência	Embarcações seguem para docagem uma vez a cada dois anos			

Tabela 15: Dados Estocásticos - Distribuições

Parâmetro	Detalhamento	Tipo Distribuição	Parâmetros Distribuição	Valor-p
Velocidade navegação (km/h)	Distância abaixo de 18km	Johnson SB	- Mínimo: 2 - λ : 17,6 - γ : -0,124 - δ : 0,788	0,997
	Distância acima de 18km	Weibull	- Mínimo: 5 - α : 4,4 - β : 11,5	0,805
Inoperância	Duração (dias)	Lognormal	- Mínimo: 0 - μ : -0,0215 - σ : 1,38	0,147
Docagem	Duração (dias)	Weibull	- Mínimo: 0 - α : 1,5 - β : 14,9	0,826

Os dados de ocorrências de inoperância foram utilizados como probabilidade de a embarcação se tornar inoperante em um dado momento. Caso isso aconteça, é realizado um sorteio da duração, conforme a distribuição apresentada. Já a docagem ocorre conforme uma programação pré-estabelecida, envolvendo todas as embarcações. No momento da docagem, é sorteada uma duração, conforme a distribuição.

4.1.2. Porto

O estudo envolveu dois portos de apoio *offshore*: o porto de Imbetiba e o Porto do Açú. As Tabelas 16, 17 e 18 resumem os dados de entrada relativos aos portos.

Tabela 16: Localização dos portos

Porto	Latitude	Longitude
Imbetiba	-22,38	-41,77
Açú	-21,83	-41,01

Tabela 17: Dados Estocásticos - Estatísticas

Porto	Faixa de lingadas (unidade de carga)	Amostra	Média (número)	Desvio padrão (número)	Máximo (número)
Imbetiba	0 a 1	57	134,1	152,9	864,6
	11 a 30	57	25,7	18,4	103,2
	31 a 70	166	10,9	3,4	20,9
	Acima 70	642	7,6	2,1	25,6
Açu	Faixa Única	71	7,2	2,8	16,9

Tabela 18: Dados Estocásticos - Distribuições

Porto	Faixa de lingadas (unidade de carga)	Tipo Distribuição	Parâmetros Distribuição	Valor-p
Imbetiba	0 a 1	LogLogistic	- Mínimo: 7 - p: 1,4 - β : 71,6	0,956
	11 a 30	LogLogistic	- Mínimo: 6 - p: 1,79 - β : 13,7	0,981
	31 a 70	Beta	- Mínimo: 4 - Máximo: 25,7 - p: 2,42 - q: 5,26	0,731
	Acima 70	LogLogistic	- Mínimo: 4 - p: 3,41 - β : 3,15	0,416
Açu	Faixa única	Johnson SB	- Mínimo: 3 - λ : 23,7 - γ : 2,07 - δ : 1,19	0,928

Com relação ao diesel, a capacidade de armazenamento considerada foi de 18.000 m³. As distribuições das vazões de abastecimento de diesel consideradas foram uma triangular, T(500,600,700) para o abastecimento dos tanques do porto pelo navio tanque, e uma uniforme U(100,120) para o abastecimento das embarcações (valores das distribuições em m³). Destaca-se que essas distribuições foram estimadas uma vez que não havia dados históricos disponíveis dessas operações, na época do desenvolvimento do estudo. Considerou-se ainda que a operação de diesel no porto ocorreria de forma paralela a de

carga geral, no caso dos PSVs que abastecem no porto. Por fim, os cronogramas semanais de atendimento foram passados por meio de uma planilha de entrada, constando o dia e hora de atracação de um determinado *cluster*.

4.1.3. Unidades Marítimas (UMs)

Analogamente aos PSVs, as unidades marítimas possuem certas características comuns e outras específicas dependendo do tipo de UM e, ainda, aquelas características inerentes a cada UM individualmente. O motivo pelo não detalhamento de alguns dados relativos às UMs é em função da confidencialidade das informações. As unidades marítimas foram divididas de acordo com os seguintes tipos: Fixa, FPSO Afretado, FPSO Próprio, FSO, Semissubmersível, Sondas, UMS, Embarcação Especial. Todas as UMs encontram-se na Bacia de Campos. A Tabela 19 descreve alguns elementos relativos às unidades marítimas.

Tabela 19: Dados UMs

Parâmetro	Classificação	Descrição
Localização	Individual	Foram levantadas as coordenadas (latitude e longitude) de cada unidade marítima. Em seguida, foi construída uma matriz distância, abrangendo todos os locais envolvidos (UMs, portos, boias,...)
Demanda semanal de carga geral de entrega – <i>load</i>	Individual	Foram levantadas as demandas semanais de <i>load</i> de cada UM. Os valores foram passados para o modelo, como distribuições de probabilidade. Quando o teste de hipótese realizado era rejeitado, escolhia-se uma distribuição de outra UM, com estatísticas semelhantes (média, mediana)
Demanda semanal de carga geral de retorno – <i>backload</i>	Individual	Foram levantadas as demandas semanais de <i>backload</i> de cada UM. Os valores foram passados para o modelo como distribuições de probabilidade. Quando o teste de hipótese realizado era rejeitado, escolhia-se uma distribuição de outra UM, com estatísticas semelhantes (média, mediana)
Taxa de consumo de diesel	Individual	Foram levantados os consumos diários de diesel de cada UM. Na grande maioria dos casos, os testes de aderência eram rejeitados. Dessa forma, optou-se por passar os dados como histograma.
Vazões de diesel	Todas	Foram levantadas as vazões de abastecimento das unidades marítimas, considerando todas as unidades. As vazões foram divididas por faixas: volumes menores que 700m ³ , entre 700m ³ e 2000m ³ e maiores que 2000m ³ . Dessa forma, seleciona-se uma distribuição de vazões específicas, dependendo da quantidade de diesel a ser bombeada.

Capacidade de armazenamento de diesel	Individual	Foram levantadas as capacidades de armazenamento de diesel de cada unidade marítima.
Velocidade de movimentação de carga geral	Tipo	Foram levantadas as velocidades de movimentação de carga geral entre a embarcação e a unidade marítima. De forma análoga ao diesel, os dados de velocidade foram divididos em faixas.
Indisponibilidade de operação devido a condições ambientais	Tipo	Foram levantados os parâmetros relativos à indisponibilidade de operação, devido a condições ambientais por tipo de unidade marítima. De forma análoga ao caso da inoperância, foram levantados os dados de probabilidades de ocorrências e as durações dos períodos em que as embarcações aguardam para operar com a unidade marítima devido as condições ambientais.
Cluster	Individual	Cluster ao qual a unidade pertence
Operações de diferentes produtos: Série ou paralelo	Todas	Foi considerado que a operação de mais de um produto em uma mesma visita ocorreria em série independente da unidade marítima.

4.1.4. Navio Tanque

A capacidade de todos os navios tanque foi considerada de 18.000m³. As vazões de carregamento dos PSVs nos NTs são mostradas nas Tabelas 20 e 21.

Tabela 20: Dados Estocásticos - Estatísticas

Parâmetro	Detalhamento	Amostra	Média	Desvio padrão	Máximo
Vazão (m ³ /h)	Volume menor que 700m ³	16	66,59	28,51	154,28
	Volume entre 700m ³ e 2000m ³	195	91,11	16,72	135,68
	Volume maior que 2000m ³	99	100,90	21,62	236,38
Tempos (dias)	Ida ao terminal para carregamento	36	13,32	6,12	28,03

Tabela 21: Dados Estocásticos - Distribuições

Parâmetro	Detalhamento	Tipo Distribuição	Parâmetros Distribuição	Valor-p
Vazão (m ³ /h)	Volume menor que 700m ³	Weibull	- Mínimo: 34 - α : 1,18 - β : 34,4	0,857
	Volume entre 700m ³ e 2000m ³	Weibull	- Mínimo: 44 - α : 3,05 - β : 52,5	0,637
	Volume maior que 2000m ³	LogLogistic	- Mínimo: 47 - p: 4,85 - β : 51,6	0,291
Tempos (dias)	Ida ao terminal para carregamento	LogLogistic	- Mínimo: 2 - p: 2,9 - β : 10	0,959

4.1.5. Outras embarcações

As Tabelas 22 e 23 representam os dados relativos às Outras embarcações que abastecem no NT.

Tabela 22: Dados Estocásticos - Estatísticas

Parâmetro	Detalhamento	Amostra	Média	Desvio padrão	Máximo
Taxa (embarcações /dia)	Chegada no NT	38	1,21	0,88	4,15
Volume (m ³)	Volume consumido no NT	553	394	237,8	1.588,0

Tabela 23: Dados Estocásticos - Distribuições

Parâmetro	Detalhamento	Tipo Distribuição	Parâmetros Distribuição	Valor-p
Taxa (embarcações /dia)	Chegada no NT	Pearson 5	- Mínimo: 0 - p: 3,42 - β : 2,95	0,943
Volume (m ³)	Volume consumido no NT	Rayleigh	- Mínimo: 0 - σ : 286	0,051

4.2. Codificação

O programa escolhido para a implementação do modelo foi o Promodel 9.2⁵, da empresa ProModel Corporation (2015). Este é um *software* de eventos discretos, que pode ser utilizado para representar processos existentes da logística, da manufatura e outros sistemas operacionais.

O Promodel foi escolhido, pois apresenta algumas vantagens, tais como: Fácil comunicação com o Microsoft Excel, facilitando a entrada de dados no modelo; oferece pacote de análise estatística de dados, tanto para os dados de entrada, quanto para os de saída; envolve uma linguagem de programação, que permite maior liberdade para a codificação do modelo conceitual. Destaca-se que a empresa estudada ofereceu uma licença do programa para o desenvolvimento do estudo. A Figura 10 mostra parte de um bloco de programação de uma subrotina (Fonte: Autor).

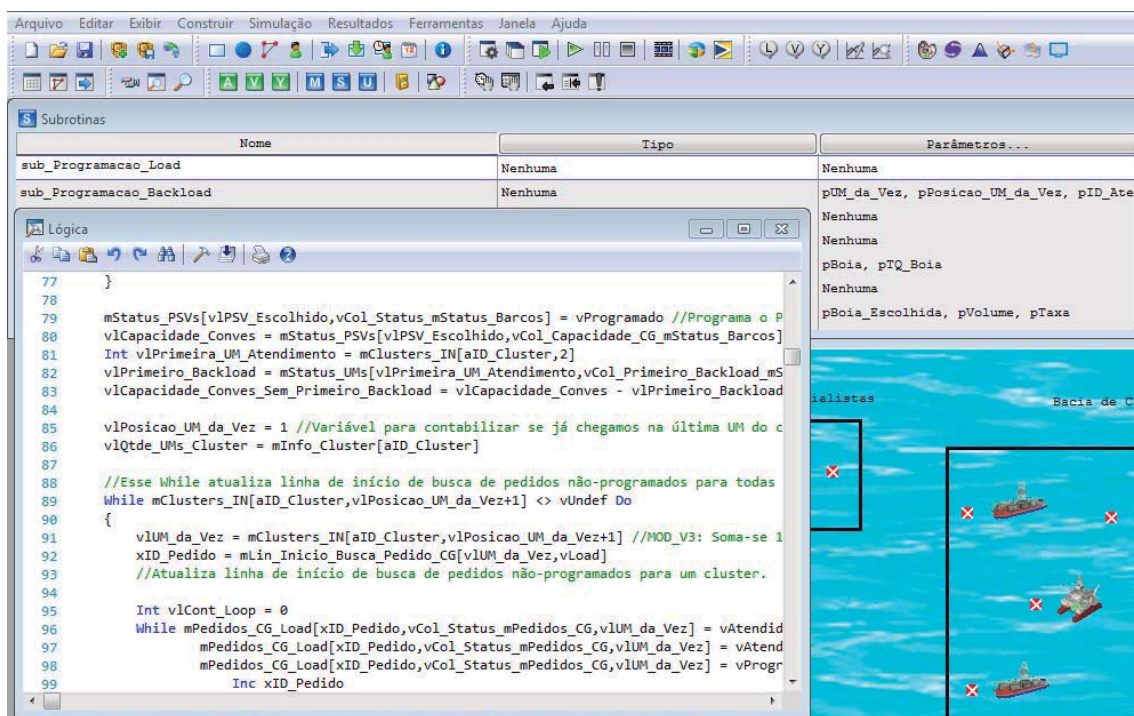


Figura 10: Bloco de programação de subrotina

⁵ Maiores informações em <http://www.promodel.com/onlinehelp/ProModel/92/C-01%20-%20Welcome%20to%20Promodel.htm>

4.3. Verificação

A verificação é uma etapa importante da simulação, cujo objetivo é garantir que o modelo não possua erros de implementação ou de lógica. Existem diversas técnicas de verificação de modelos de simulação (FREITAS FILHO, 2008; CHWIF; MEDINA, 2010):

- 1) Uso de modelos determinísticos;
- 2) Emprego de testes de degenerescência ou robustez;
- 3) Variações sobre os dados de entrada;
- 4) Execução de casos simplificados;
- 5) Uso de rotinas de rastreamento;
- 6) Rotinas de verificação;
- 7) Animação gráfica;
- 8) Independência de sementes geradoras de números aleatórios;
- 9) Verificação de consistência;
- 10) Aplicação de testes de continuidade;

O processo de verificação do modelo em questão envolveu as sete primeiras técnicas da lista acima.

- **Uso de modelos determinísticos**

Essa técnica foi aplicada para a verificação do fluxo dos pedidos de carga geral, desde a geração, até sua entrega no destino final. Os pedidos de carga geral são criados numa matriz, em frequências pré-definidas de acordo com a unidade marítima. O fluxo dos pedidos é representado por meio da mudança do *status* dos pedidos.

Os pedidos são gerados no *status* “Liberado para a programação”, estando aptos a serem programados. No momento em que uma viagem de atendimento é criada, ocorre a programação de alguns pedidos da lista. Estes são alocados em uma embarcação e seus *status* mudam para “Programado”. Assim que o pedido é entregue na UM, o mesmo muda para seu *status* final podendo ser “Atendido no prazo” ou “Atendido fora do prazo”. O fluxo dos pedidos de *backload* é análogo aos pedidos de *load*.

A geração dos pedidos das unidades marítimas foi considerada determinística, facilitando as mudanças de *status* do pedido ao longo da simulação. Também foi verificado se havia mudanças de *status* de outros pedidos em momentos indevidos. Por fim, essa técnica

ainda permitiu verificar se a programação dos pedidos numa determinada viagem respeitava restrições pré-estabelecidas, como, por exemplo, o tamanho de convés.

- **Emprego de testes de degenerescência ou robustez**

Esta técnica consiste em realizar testes extremos e verificar se o modelo pode ser executado sem apresentar problemas ou erros. Entende-se como teste extremo aquele em que os valores assumidos pelos parâmetros são extremamente pequenos, ou grandes, quando comparados com a situação real.

A técnica foi realizada variando diversos parâmetros, tais como: frota de PSV Cronograma, frota de PSV Oleeiro, frota de Navio Tanque, quantidade das boias de atracação, frequência de chegada das outras embarcações no NT, tamanho de convés das embarcações, capacidade de tanques de diesel do porto e das UMs, consumo de diesel e geração de pedidos de CG das UMs.

- **Variações sobre os dados de entrada**

Esta técnica consiste em variar os dados de entrada e verificar se as saídas obtidas são coerentes com as modificações realizadas. Os parâmetros utilizados foram os mesmos que na etapa de “Emprego de testes de degenerescência ou robustez”.

- **Execução de casos simplificados**

Nesta etapa, são realizadas simulações, considerando um número reduzido de recursos, facilitando o entendimento da execução da lógica e dos resultados obtidos.

Esta técnica foi aplicada com os PSVs Cronograma e PSVs Oleiros, por meio da simulação individual de cada frota. O modelo foi construído de forma que pudessem ser simulados apenas o transporte de carga geral ou o transporte de diesel.

Além de ter sido utilizada para a verificação do modelo, a execução dessa etapa permitiu aumentar o entendimento dos impactos que uma frota tem sobre a outra, ao longo da simulação.

- **Uso de rotinas de rastreamento**

As rotinas de rastreamento ou acompanhamento são módulos existentes na maioria das linguagens de simulação, que permitem uma visualização da lista de eventos ocorridos, ordenados pelo tempo de sua ocorrência. (FREITAS FILHO, 2008). No modelo em questão, foi utilizado esse recurso, disponibilizado pelo *software* em diversos momentos da modelagem.

Adicionalmente, foram realizadas verificações linha a linha de código. Para isso, uma determinada entidade era acompanhada durante todo o seu percurso, sendo possível verificar se as lógicas eram executadas de forma coerente e se as variáveis e atributos assumiam valores esperados.

- **Rotinas de verificação**

Durante toda a construção do modelo, foram inseridos elementos de verificação nos blocos de código. Esses elementos eram adicionados toda vez em que se identificava uma possibilidade de erro de lógica ao longo da simulação. Caso a lógica ocorra de forma equivocada, a simulação para e o erro é reportado.

- **Animação gráfica**

Esta técnica permite a identificação de erros na lógica, por meio da observação da animação gráfica. O modelo conta com gráficos de entidades que se movem, assim como representações de tanques e variáveis, para realizar a verificação ao longo da simulação. Ainda foram acompanhadas as séries temporais relativas aos estoques de diesel das embarcações e das unidades marítimas, durante a execução da simulação. A Figura 11 mostra os elementos de animação utilizados no modelo (Fonte: Autor).

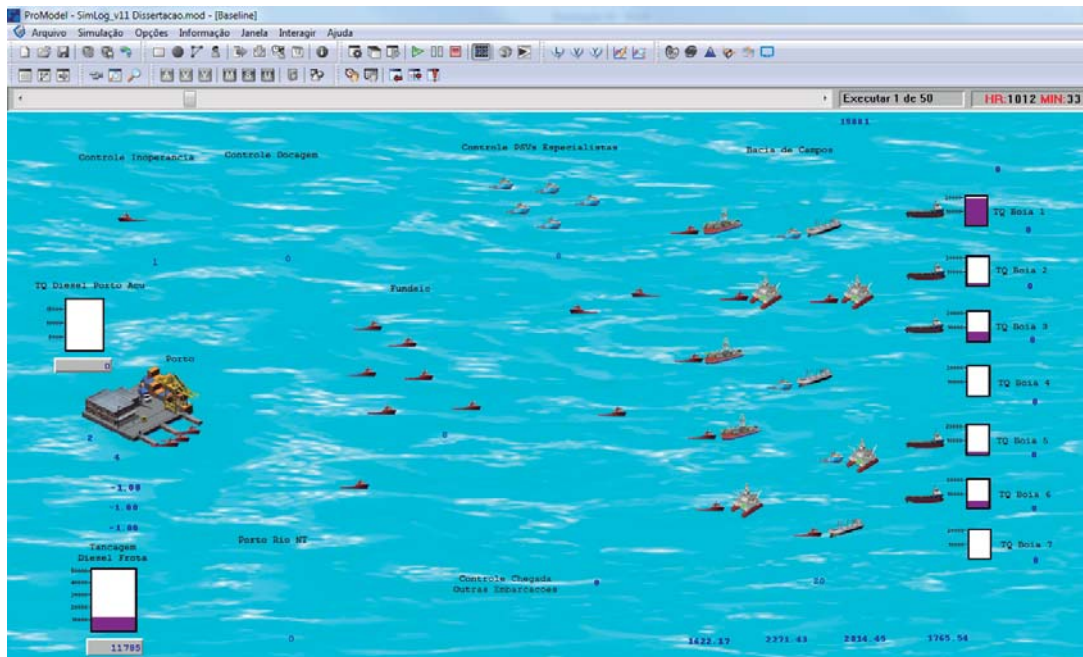


Figura 11: Elementos de animação do modelo

4.4. Validação

4.4.1. Técnicas de validação

A validação é a etapa seguinte à verificação, cujo objetivo é garantir que o modelo esteja aderente à realidade. Segundo Chwif e Medina (2010) existem três erros que podem ser cometidos nesta etapa:

- *Erro do Tipo I.* O modelo é válido, mas rejeita-se, pensando ser inválido.
- *Erro do Tipo II.* O modelo é inválido, mas aceita-se como um modelo válido.
- *Erro do Tipo III.* O modelo se desvia dos objetivos estabelecidos (pode até ser válido, mas não é capaz de responder às perguntas em questão).

De acordo com os autores, os erros mais comuns são aqueles do Tipo II. Ainda segundo os autores, as principais técnicas de validação são:

- **Testes de Turing** - Os resultados reais e simulados são mostrados para especialistas, que tentam identificar diferenças entre ambos. Caso eles não consigam identificar a origem dos resultados, o modelo pode ser considerado validado. Estes testes foram aplicados para o modelo em questão.

- **Comparação com modelos anteriores** - É possível utilizar modelos anteriores para buscar indícios de validação do atual. Foi feita a comparação dos resultados obtidos com modelos estocásticos, que a empresa estudada utiliza para realizar o dimensionamento da frota de carga geral e diesel.
- **Validação “face a face”** - O desenvolvedor do modelo e o especialista do processo discutem sobre o modelo conceitual e sobre os resultados. Esta técnica também foi utilizada para a validação do modelo em questão.
- **Análise de sensibilidade** - Esta técnica consiste em observar as influências dos parâmetros de entrada, nos resultados obtidos a partir do modelo. Diversas análises de sensibilidade foram realizadas, inclusive durante algumas etapas da verificação.
- **Duplicação de modelos** - Esta é uma técnica extremamente eficiente mas, em geral, muito custosa, pois supõe a existência de duas equipes independentes desenvolvendo modelos do mesmo sistema. O desenvolvimento de modelos similares por parte de ambas equipes é um indicador de sua validação. Esta técnica não foi aplicada no modelo em questão.

4.4.2. Procedimento de validação em duas fases

A etapa de validação ocorreu em duas fases. A primeira considerou um cenário operacional real, envolvendo a comparação dos resultados simulados, com os resultados históricos. Nesta fase, os parâmetros utilizados para validação foram aqueles relativos às frotas de PSVs Cronograma e de PSVs Oleiros.

A segunda fase de validação ocorreu por meio da simulação de um cenário ajustado em relação ao cenário histórico. O ajuste foi necessário em função da premissa de que toda a carga geral seria entregue por meio de viagens de cronograma. Na realidade, a carga geral pode ser entregue às unidades marítimas por meio de outros serviços, tais quais o de embarcações extras cronograma e embarcações de emergência. Ao longo do processo de validação, notou-se que o cenário histórico real havia sido planejado, considerando esses tipos de serviço, fazendo com que a adoção da referida premissa trouxesse resultados de

nível de serviço não aderentes à realidade. Dessa forma, foi necessário um ajuste no planejamento das embarcações, para que os indicadores de nível de serviço assumissem valores razoáveis, permitindo que fossem utilizados na análise de cenários. A validação do cenário ajustado se deu por meio da comparação com os resultados do cenário histórico. A Figura 12 descreve o processo de validação em fases (Fonte: Autor).

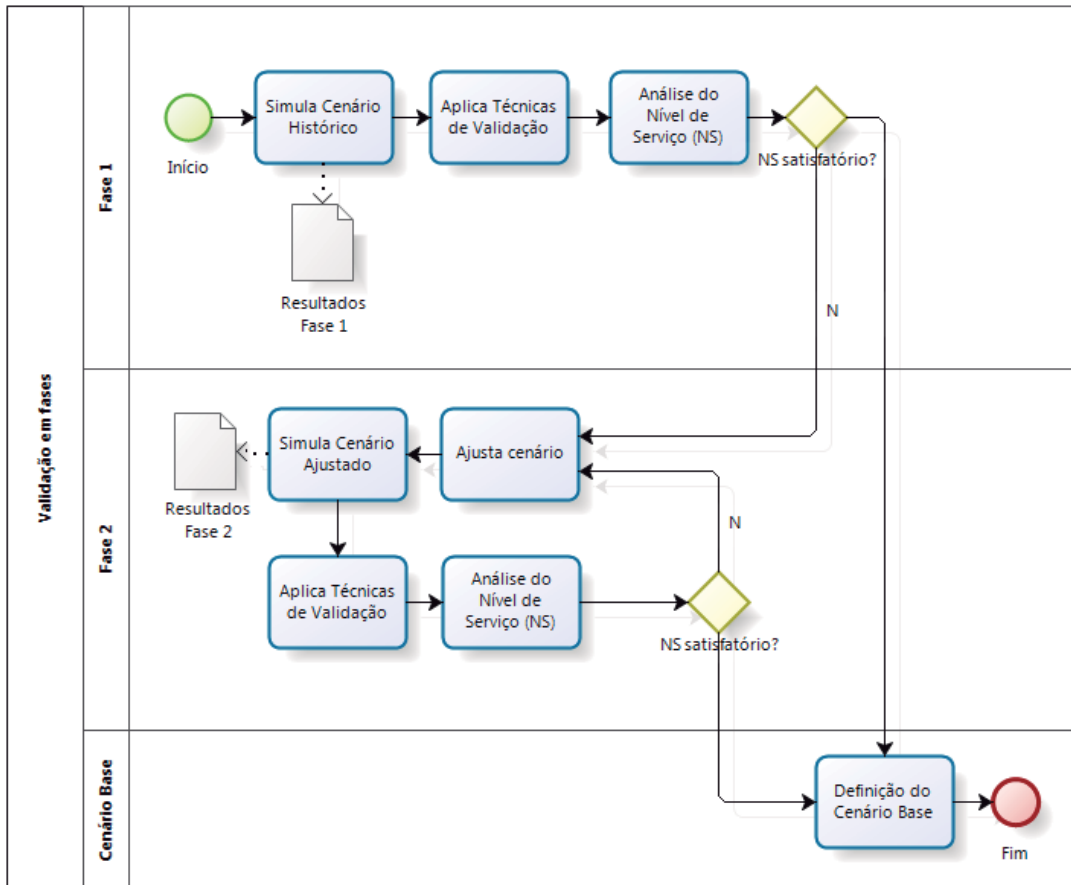


Figura 12: Validação em fases

4.4.3. Fase 1

Simulação do Cenário Histórico

Para a definição do cenário histórico, foram levantados, em um determinado período, os atendimentos às unidades marítimas da Baía de Campos, tendo como base de apoio o porto de Imbetiba, representado na Figura 13. Devido a motivos de confidencialidade, o período da análise não foi especificado (Fonte: Googlemaps).



Figura 13: Porto de Imbetiba

Parâmetros, como número e posição das unidades marítimas, demanda por carga geral e consumo de diesel de cada UM, número de embarcações e suas respectivas capacidades de transporte, foram considerados no modelo, de acordo com o período analisado.

No que tange ao planejamento e à operação da logística de carga geral, foram reproduzidos, tanto os *clusters* e rotas de atendimento, quanto o cronograma semanal das embarcações adotados pela empresa nesse período. O planejamento da época contemplava 20 *clusters*, cada um com duas viagens por semana, totalizando 40 viagens.

Já no caso do diesel, o atendimento é realizado toda vez em que existe algum pedido, não havendo um cronograma de atendimento pré-definido. O modelo foi ajustado para que o volume médio de diesel entregue em cada visita fosse similar ao praticado na realidade. Por fim, foram levantados alguns indicadores operacionais históricos para comparação com os resultados simulados.

Definição do período de aquecimento

Antes de se realizar a simulação do Cenário Histórico para a coleta de resultados, foram feitas análises no intuito de determinar o período de aquecimento. Para tal, foram

executadas 50 replicações com duração de um ano cada. Em seguida, analisou-se as séries temporais de diversos parâmetros, buscando-se identificar o momento em que os valores se estabilizam, a fim de se definir um período de aquecimento adequado. As Figuras 14 e 15 ilustram exemplos de séries temporais de alguns dos parâmetros avaliados (Fonte: Autor). Na primeira figura, referente às variáveis de viagem de PSVs Cronograma, verifica-se que, a partir de 60 dias, os valores apresentam um comportamento estável. A segunda figura representa uma variável que é o resultado da divisão entre 1) o número total de viagens realizadas por PSVs Cronograma e 2) o número de viagens de PSVs Cronograma em que houve passagem pelo NT. O valor dessa variável só se estabiliza após 180 dias. Dessa forma, seis meses foi o período de aquecimento utilizado nas replicações ao longo do estudo, dado que esta variável apresentou o maior período de estabilização de valores dentre todos os parâmetros analisados.

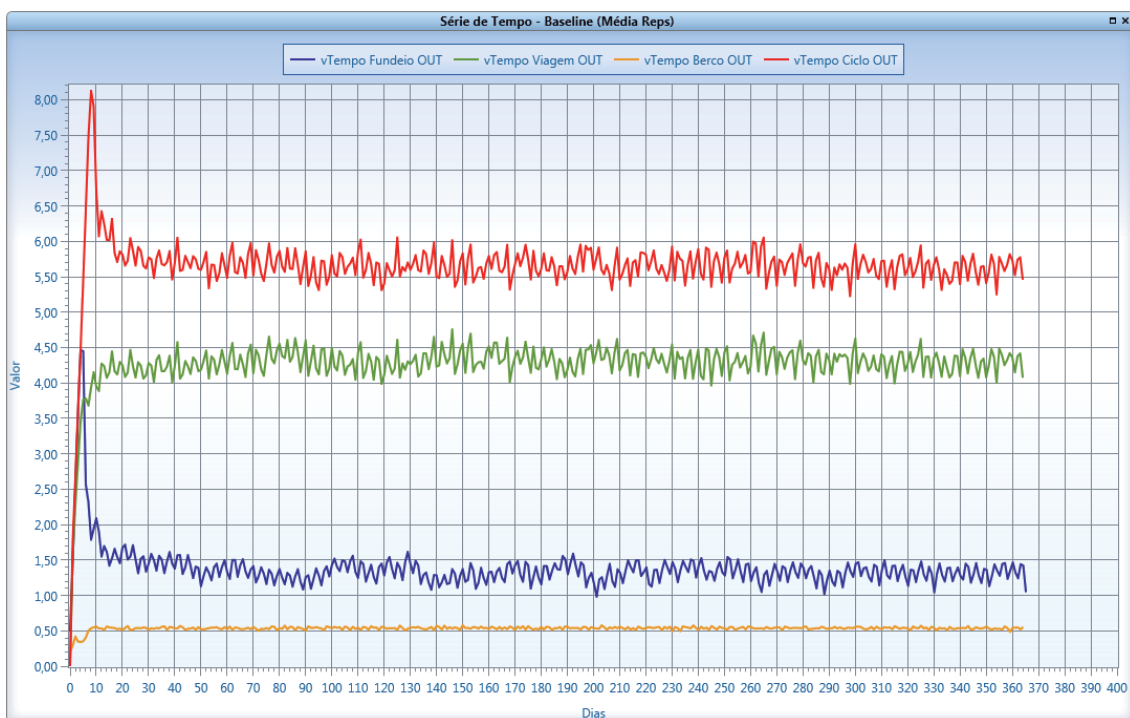


Figura 14: Variáveis relativas às viagens de PSV Cronograma - Série histórica

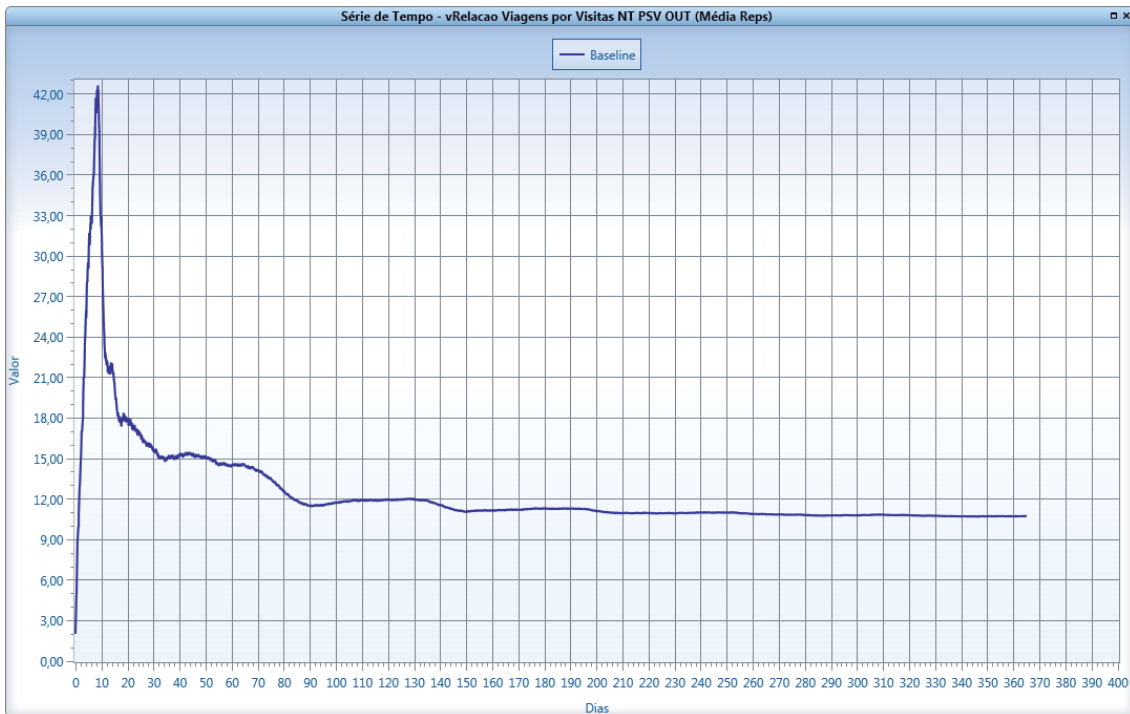


Figura 15: Número de viagens total de PSV Cronograma / número de viagens com passagem no NT – Série histórica

Comparação de resultados históricos e simulados

Uma vez definido o período de aquecimento, foi possível simular o Cenário Histórico. Cada replicação teve a duração de um ano e meio, sendo os primeiros seis meses utilizados como período de aquecimento.

A seguir, são comparados os resultados históricos reais com os obtidos pelo modelo. Para os dois tipos de frota de PSVs avaliados, foram escolhidos alguns indicadores conhecidos, sendo que muitos deles são acompanhados pelas equipes operacionais. As Tabelas 24 e 25 mostram os parâmetros relativos à frota de PSV Cronograma (ou PSV de CG) e de PSVs Oleiro, respectivamente.

Tabela 24: Descrição de parâmetros PSV Cronograma

Categoria	Parâmetro	Descrição
Tempo	Ciclo	É a soma dos tempos de Viagem e de Fundeio. Tem início quando o PSV chega ao fundeio no final da viagem “n”, e fim, no momento em que o PSV chega ao fundeio, ao final da viagem “n+1”
	Viagem	É a soma dos tempos de Berço e de Viagem Marítima. Tem início no momento em que o PSV atraca no berço, e fim no momento em que o PSV retorna para o fundeio.
	Berço	Período de tempo em que a embarcação está atracada no berço.
	Fundeio	Período de tempo em que a embarcação se encontra no fundeio. Tem início no momento da chegada no fundeio, e fim no momento da atracação.
	Operação nas UMs	Período de tempo em que a embarcação está operando junto à unidade marítima. No caso dos PSV Cronograma, a operação consiste na carga e descarga dos materiais transportados.
	Aguardando para operar UMs	Período de tempo em que a embarcação aguarda para operar com a unidade marítima. Esse aguardo pode ser de duas naturezas: Devido a condições ambientais ou a restrições na própria UM. Destaca-se que o aguardo não ocorre em todas as visitas.
Número Lingadas	Totais	Número total de lingadas no ano. Lingada (unidade de carga) é o movimento de carga ou descarga realizado pelo guindaste. É equivalente ao número de contentores transportados.
	<i>Load</i>	Número de lingadas de carga no ano.
	<i>Backload</i>	Número de lingadas de descarga no ano.
Inoperância	Percentual Frota	Percentual médio da frota inoperante. A embarcação é considerada inoperante, quando fica impossibilitada de operar por um período de tempo (em geral curto) devido a uma avaria, sendo necessária a realização de manutenção corretiva.
Docagem	Percentual Frota	Percentual médio da frota docada. A docagem consiste na realização das manutenções preventivas. Normalmente, respeitam um cronograma. Em geral, os períodos de tempo de docagem são mais longos do que aqueles envolvidos na inoperância.

Tabela 25: Descrição parâmetros PSV Oleiro

Categoria	Parâmetro	Descrição
Tempo	Operação UMs	Período de tempo em que a embarcação está operando junto à unidade marítima. No caso dos PSVs Oleiros, a operação consiste na transferência de diesel.
	Aguardando para operar UMs	Idem caso dos PSVs Cronograma.
Quantidade movimentada	Por visita	Quantidade de diesel transferida para as UMs a cada visita.
	Por ano	Quantidade total de diesel transferida para as UMs no ano.
Inoperância	Percentual Frota	Idem caso dos PSVs Cronograma.
Docagem	Percentual Frota	Idem caso dos PSVs Cronograma.

A Tabela 26 ilustra os resultados da simulação e a validação das frotas de PSV Cronograma e de PSV Oleiros.

Tabela 26: Parâmetros validação - Cenário Histórico

Embarcação	Parâmetro	Real	Simulado	Diferença % (Simulado – Real)
PSV Cronograma	Ciclo (dias)	5,65	5,67	0,4%
	Viagem (dias)	4,27	4,34	1,6%
	Berço (dias)	0,54	0,54	0,3%
	Fundeio (dias)	1,38	1,33	-3,3%
	Operação UMs (dias)	0,27	0,28	-3,6%
	Aguardando para operar UMs (dias)	0,48	0,46	-4,2%
	Lingadas Totais	273.787	265.328	-3,1%
	Lingadas <i>Load</i>	140.902	135.162	-4,1%
	Lingadas <i>Backload</i>	132.884	130.167	-2,0%
	% frota inoperante	3,79%	3,96%	4,5%
% frota docada	1,77%	1,68%	-4,9%	
PSV Oleiro	Operação UMs (dias)	0,28	0,30	6,5%
	Aguardando para operar UMs (dias)	0,52	0,49	-5,0%

	Volume diesel movimentado por visita (m ³)	372	365	-1,8%
	Volume diesel movimentado no ano (m ³)*	-	-	2,2%
	% frota inoperante	3,79%	3,70%	-2,4%
	% frota docada	1,77%	1,88%	-6,3%

*Por motivos de confidencialidade, os valores dos volumes de diesel movimentados no ano não foram mostrados em números absolutos, mas sim a diferença percentual entre o real e o simulado.

Dos 17 indicadores utilizados, 41% apresentaram o módulo da diferença real-simulado menor que 2,5%; 80% apresentaram o módulo da diferença real-simulado menor que 5%; e todos ficaram abaixo de 7,5%.

Por meio do modelo, ainda foi calculado o indicador de ocupação das frotas por meio da fórmula:

$$Ocupação Frota = \frac{Frota Ocupada}{Frota Total}$$

Os valores de ocupação encontrados foram:

- Ocupação PSV Cronograma - 78,57%
- Ocupação PSV Oleeiro - 82,17%

Este indicador foi utilizado como parâmetro de comparação entre os diferentes cenários, que foram simulados ao longo do estudo. Dependendo do cenário a ser simulado, a ocupação da frota pode aumentar ou diminuir, indicando uma eventual possibilidade de aumento ou redução do número de embarcações da frota.

Conforme citado anteriormente, foi estipulado que a simulação seria iniciada executando 50 replicações para o cenário de validação. Considerando a variável de ocupação da frota, para saber se o número de replicações foi adequado, estipulou-se que:

- Para uma confiança de 95%, a metade do intervalo de confiança da variável deveria ser menor que 1%, em ambas as frotas.

- Para uma confiança de 99%, a metade do intervalo de confiança da variável deveria ser menor que 2%, em ambas as frotas.

Em seguida, foram calculados os intervalos de confiança da variável de ocupação da frota, conforme representado na Tabela 27.

Tabela 27: Intervalo de confiança

Frota	Média Ocup. (μ)	Desv. pad Ocup. (S)	Confiança	α	$t_{n-1,\alpha/2}$	Metade do intervalo de confiança (h)	Intervalo confiança
PSV Cronograma	78,57%	1,23%	80%	0,2	1,3	0,23%	$78,34\% \leq \mu \leq 78,80\%$
			90%	0,1	1,68	0,29%	$78,28\% \leq \mu \leq 78,86\%$
			95%	0,05	2,01	0,35%	$78,22\% \leq \mu \leq 78,92\%$
			99%	0,01	2,68	0,47%	$78,10\% \leq \mu \leq 79,04\%$
PSV Oleeiro	82,17%	3,49%	80%	0,2	1,3	0,64%	$81,53\% \leq \mu \leq 82,81\%$
			90%	0,1	1,68	0,83%	$81,34\% \leq \mu \leq 83,00\%$
			95%	0,05	2,01	0,99%	$81,18\% \leq \mu \leq 83,16\%$
			99%	0,01	2,68	1,32%	$80,85\% \leq \mu \leq 83,49\%$

A metade do intervalo de confiança (h) foi calculada por meio da fórmula:

$$h = t_{n-1,\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

em que:

- S é o desvio padrão da amostra;
- n é o tamanho da amostra, ou seja, o número de replicações;
- α é a confiança desejada;
- $t_{n-1,\alpha/2}$ é o valor crítico da distribuição de *t-Student*.

Para uma confiança de 95%, a metade do intervalo de confiança da variável é menor que 1% nas frotas de PSV Cronograma e PSV Oleeiro. Já para uma confiança de 99%, a metade do intervalo de confiança obtida é menor que 1,5% para ambas as frotas. Sendo assim, foi considerado que os resultados são confiáveis e que o número de replicações é suficiente para avaliação e comparação com outros cenários.

Análise do nível de serviço

Conforme descrito anteriormente, o elo marítimo da cadeia apoio *offshore* é composto por diversos tipos de embarcações que, por sua vez, realizam inúmeros tipos de serviços distintos. O atendimento de *load* e *backload* da carga geral pode ser realizado por PSVs, respeitando cronogramas ou realizando atendimentos extras, e embarcações de emergência do tipo UT. Já o atendimento do diesel é realizado por meio dos PSVs Oleeiros, toda a vez em que um pedido é criado.

Diferentes estratégias de atendimento podem permitir eventuais redução de frota. No entanto, muitas vezes, não é possível quantificar o real impacto que a redução traria no nível de serviço. Dessa forma, foi proposta uma análise de nível de serviço para as entregas de carga geral e diesel.

Especificamente no caso da carga geral, foi adotada a premissa que só haveria o serviço de cronograma. Buscou-se averiguar qual seria o impacto no nível de serviço, caso essa premissa fosse adotada.

Escolha dos Indicadores de Nível de Serviço

Existem diversas possibilidades de medir o nível de um serviço. Diferentes indicadores são usados, de acordo com o aspecto que se deseja analisar. Muitas vezes, as empresas utilizam mais de um indicador para o mesmo serviço, de forma a aumentar a compreensão do seu desempenho.

No que tange à carga geral, o indicador de nível de serviço escolhido foi *leadtime*: período de tempo entre a geração do pedido e a sua entrega no destino final. Foi avaliado apenas o *leadtime* dos pedidos de *load*, dado que, em geral, são mais críticos que os pedidos de *backload*.

No caso do diesel, buscou-se investigar, não só os parâmetros relativos a entrega do produto, mas também os níveis de estoque de diesel nas unidades marítimas. O diesel é um produto extremamente importante para as operações das UMs, e sua falta pode ocasionar grandes perdas. Assim, além do *leadtime*, também foram contabilizados dois indicadores de estoque das UMs: 1) o número de vezes em que o estoque da UM fica

abaixo do seu estoque de segurança; 2) o número de vezes em que o estoque da UM chega a zero.

As unidades marítimas são muito diferentes entre si, no que tange aos padrões de necessidade de carga geral, consumo de diesel, dentre outros. Indicadores globais médios poderiam ocultar valores indesejáveis de uma determinada UM. Dessa forma, foram obtidos os indicadores médios e máximos para cada UM, sendo realizadas análises estatísticas dos resultados.

Valores de referência dos indicadores de nível de serviço

Em geral, existe uma relação indireta entre quantidade de recursos utilizados e o nível de serviço obtido. Não há um valor fixo de nível de serviço padrão, visto que um mesmo nível de atendimento pode atender aos requisitos de uma situação e não aos de outra. As empresas tendem a definir seus próprios pontos de equilíbrio, entre os níveis de serviço desejados e os gastos com os recursos.

Não foram encontrados valores de referência para os indicadores propostos. Assim, foram estimados alguns valores de referência para cada indicador, conforme descrito a seguir. Os valores de referência são os valores máximos que a variável poderia assumir.

Com relação à carga geral foi estipulado que o *leadtime* médio aceitável de cada unidade marítima deve ser de até sete dias. Em termos médios, as unidades marítimas teriam uma semana de antecedência para se planejar. Já o *leadtime* máximo aceitável foi considerado de até 20 dias.

Na maioria dos casos, a entrega de diesel é considerada mais prioritária do que a de carga geral. Estimou-se que os valores aceitáveis de *leadtime* de diesel seriam a metade daqueles de carga geral, ou seja, 3,5 dias para o *leadtime* médio e dez dias para o *leadtime* máximo.

Os controles de estoque de diesel são realizados muito atentamente pelas áreas operacionais. Os impactos da falta de diesel são muito significativos. Tem-se como exemplo que a falta de diesel pode ocasionar a parada da produção, no caso das UEPs.

Dessa forma, indicadores relativos a estoques ainda possuem maior importância do que aqueles relativos aos tempos de entrega.

Primeiramente, foi criado o indicador do número de vezes em que o estoque da UM fica abaixo do seu estoque de segurança. Foi considerado que o estoque de segurança de cada UM era correspondente à sua respectiva autonomia de uma semana. Para calcular a autonomia, multiplicou-se o consumo médio diário de diesel por sete dias. Apesar de não ser desejável ficar abaixo do estoque de segurança, a sua ocorrência não implica em impactos significativos, necessariamente. Assim, não se estipularam valores de referência para esse indicador, sendo que ele foi utilizado apenas para comparação entre os cenários.

Por fim, é discutido o indicador do número de vezes em que o estoque da UM chega a zero. Na prática, não se poderia aceitar o estoque zero em nenhuma situação. Quando se identifica uma situação que pode ocasionar a falta de diesel de uma determinada UM, toda a cadeia se mobiliza para realizar seu abastecimento, não sendo rara a priorização do atendimento em questão em relação a outros. Muitas vezes não existe um processo bem estruturado para situações extremas. A tentativa de modelagem do processo de decisão real envolveria previsões de consumo por partes das UMs, análise dos estoques das embarcações, estimativas de chegada da embarcação na unidade, dentre outros. No entanto, o modelo de simulação utiliza a regra *first in – first out* (FIFO) de atendimento, ou seja, a primeira UM que pede diesel é a primeira a ser atendida. Assim, no modelo, pode acontecer que a UM em uma situação emergencial não seja atendida de forma prioritária. Visto que o consumo de diesel picos de consumo e a heurística de seleção de embarcações não é a que melhor representa a realidade, foi assumido valor de referência para esse indicador de 10% (ou 0,1) em relação ao número de replicações. Assim, na simulação em questão, a cada 50 replicações, seria aceitável que uma determinada UM ficasse sem diesel em até no máximo cinco vezes.

O desenvolvimento de uma heurística mais detalhada ficará como recomendação futura. Vale ressaltar que os valores de referência não foram utilizados para aceitar ou rejeitar cenários, mas, sim, para aumentar a compreensão das relações entre recursos, nível de serviço e estratégias de operação.

Resultados dos Indicadores de Carga geral

A Tabela 28 resume os valores de *leadtime* (em dias) de carga geral, obtidos no cenário de validação.

Tabela 28: Indicadores CG – Cenário Histórico

Estatística	<i>leadtime</i> médio CG	<i>leadtime</i> máximo CG
Média	17,3	27,7
Percentil 90	59,8	89,4
Percentil 99	108,9	162,9

Observa-se que as médias dos valores de *leadtime* (médio e máximo) estão muito acima daqueles estipulados como razoáveis. A análise dos Percentis 90 e 99 mostra valores extremamente altos, que não são verificados na prática.

Para a investigação dos motivos pelos quais obteve-se tais resultados, foram calculadas as médias dos valores de *leadtime* de cada *cluster*, assim como seu respectivo número de ligadas por atendimento, conforme ilustrado na Tabela 29 e na Figura 16.

Tabela 29: Atendimento *Clusters* – Cenário Histórico

<i>Cluster</i>	<i>Leadtime</i> médio (dias)	Ligadas por atendimento	<i>Cluster</i>	<i>Leadtime</i> médio (dias)	Ligadas por atendimento
1	59,6	90,2	11	4,3	64,1
2	4,9	66,7	12	31,1	84,4
3	4,6	63,0	13	4,7	65,5
4	4,7	64,5	14	90,8	99,9
5	4,6	61,8	15	14,3	77,8
6	3,7	54,1	16	3,6	58,4
7	4,7	70,9	17	15,9	77,8
8	4,2	64,4	18	17,7	77,7
9	4,1	42,7	19	16,1	77,9
10	32,7	83,4	20	3,5	18,7

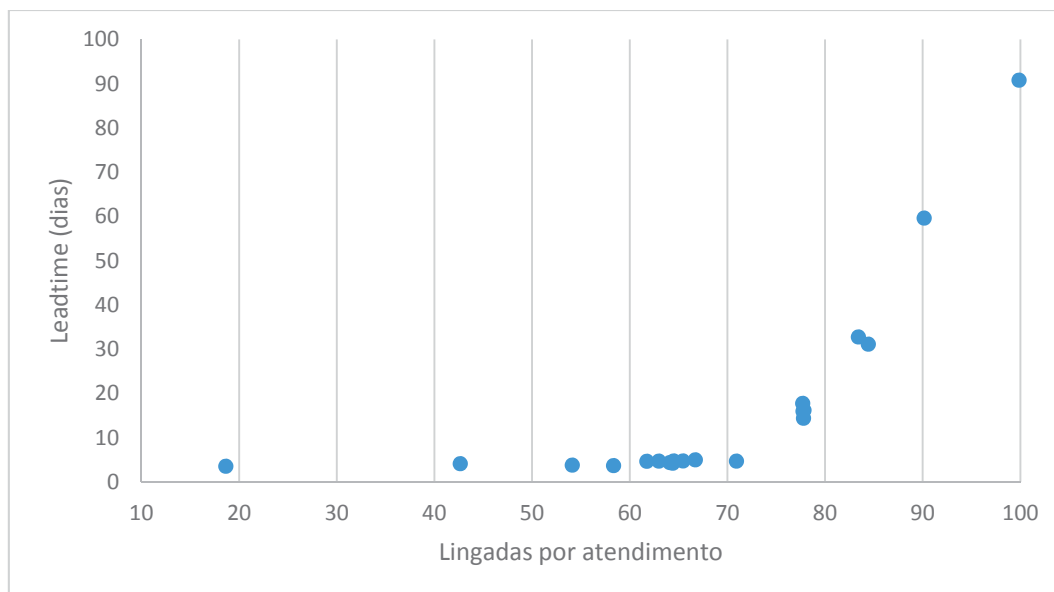


Figura 16: Atendimento *Clusters* – Cenário Histórico

Conforme pode ser observado, para valores inferiores a 71 lingadas, aproximadamente, o *leadtime* médio para as unidades do *cluster* se mantém dentro dos valores esperados, ou seja, abaixo de sete dias. Já para número de lingadas acima de 77, verifica-se um grande aumento de *leadtime*.

Em seguida, foi levantado o tamanho de convés útil, já descontada a área do *backload* da primeira UM da rota. O desconto dessa área é importante, devido às restrições de espaço nas unidades marítimas. Em geral, a UM necessita que a operação de *backload* seja realizada antes da operação de *load*, a fim de ter espaço para receber novas cargas. Por sua vez, a embarcação precisa de um espaço disponível para receber a carga de *backload* antes de entregar a de *load*.

Verifica-se que a média do convés útil para *load* é de 76 lingadas. Sendo assim, se a demanda média de lingadas por atendimento de um *cluster* for maior que a média do convés útil para *load* da frota, é esperado que não se consiga atender a todos os pedidos gerados, criando um passivo de carga. Dessa forma, é possível explicar os valores de *leadtime* obtidos.

Os resultados confirmam que a divisão de *clusters* utilizada pela empresa estudada contava com outros serviços de entrega de carga geral (embarcações extras, embarcações

de emergência), além do cronograma. Esses serviços permitem o controle do passivo de carga gerado ao longo do tempo.

No entanto, foi adotada como premissa do modelo que toda a carga demandada deveria ser entregue por PSVs Cronograma. Assim, foi necessário realizar uma segunda etapa de validação do modelo, por meio de um rearranjo de *clusters*.

Resultados dos Indicadores de Diesel

A Tabela 30 resume os indicadores do transporte de diesel.

Tabela 30: Indicadores diesel – Cenário Histórico

Estatística	<i>leadtime</i> médio	<i>leadtime</i> máximo	Ocorrências Estoque abaixo mínimo	Ocorrências estoque zero
Média	1,49	6,66	0,08	0,04
Percentil 90	1,67	7,89	0,19	0,06
Percentil 99	1,91	8,32	0,27	0,08

Os indicadores assumiram valores dentro do limite aceitável, mesmo para valores de Percentil 99. De forma contrária à carga geral, não se identificou necessidade de ajuste no modelo de atendimento de diesel.

4.4.4. Fase 2

Ajustes de *clusters*

Para se realizar os ajustes dos *clusters*, foi desenvolvida uma heurística própria de definição dos mesmos. Os *clusters* são definidos um de cada vez, sendo o processo repetido até todas as UMs fazerem parte de um *cluster*. As Figuras 17 e 18 representam a lógica de definição de *cluster* (Fonte: Autor).

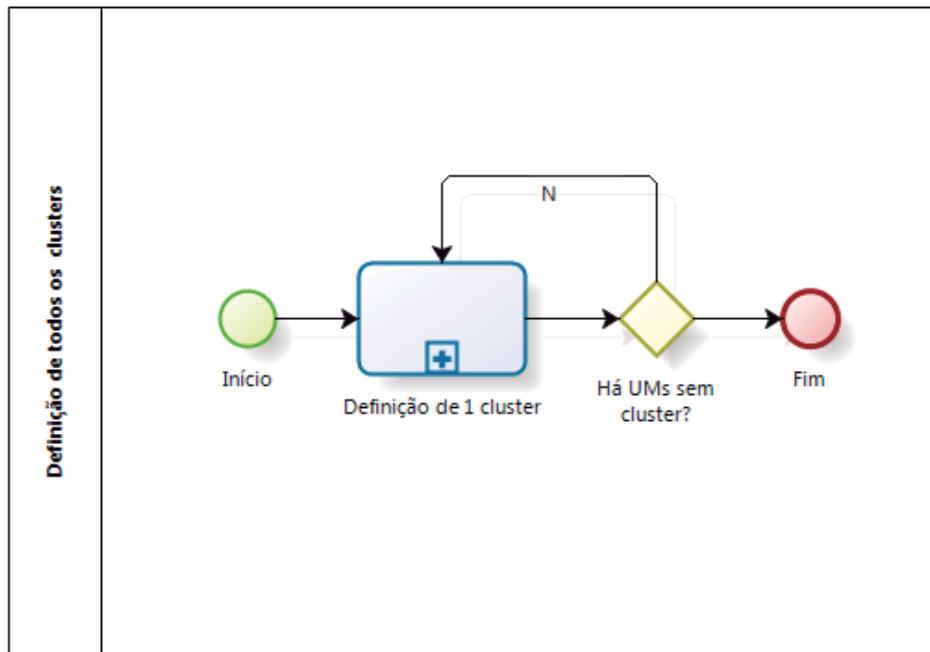


Figura 17: Definição todos os *clusters*

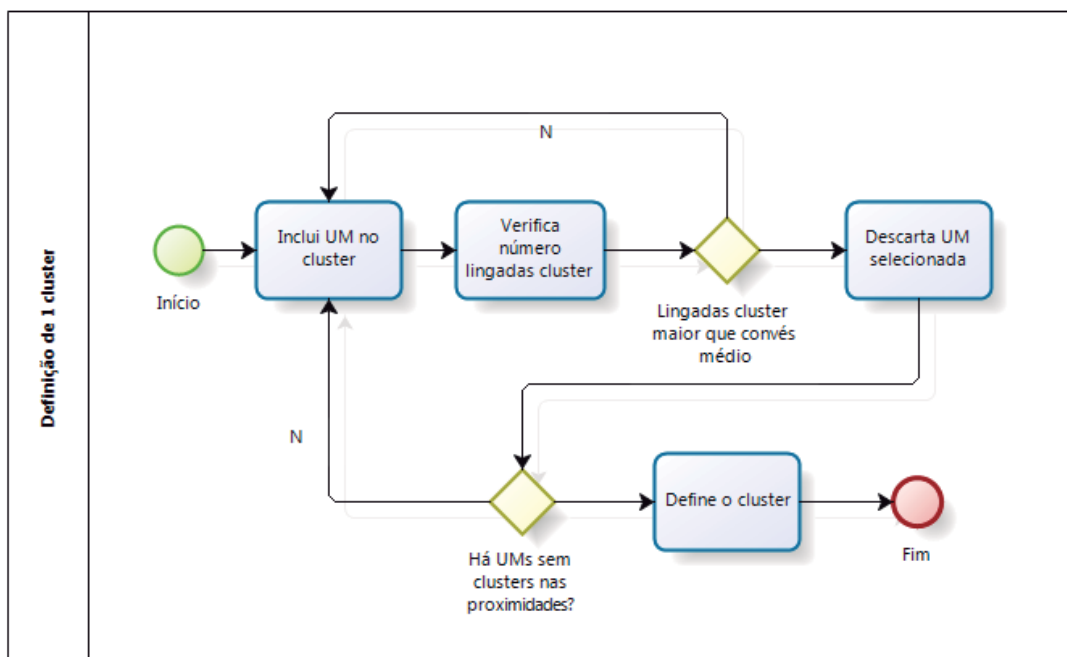


Figura 18: Definição 1 *cluster*

O resultado da aplicação da heurística de divisão de *clusters* pode ser verificado na Tabela 31. Nota-se que houve a necessidade de aumentar o número de *clusters* de 20 para 23, o que implica um número maior de viagens planejadas por semana.

Tabela 31: Atendimento *Clusters* – Cenário Ajustado

Cluster	Lingadas por atendimento	Cluster	Lingadas por atendimento	Cluster	Lingadas por atendimento
1	72,6	9	42,7	17	58,3
2	66,6	10	61,5	18	58,3
3	63,1	11	58,5	19	61,0
4	64,6	12	64,1	20	58,3
5	61,8	13	50,9	21	58,5
6	72,4	14	56,4	22	58,5
7	70,8	15	58,2	23	18,6
8	64,4	16	58,3	-	-

Visto que o número médio de lingadas do *cluster* planejado por atendimento é sempre menor do que a média do convés útil para *load* da frota, é esperado que os indicadores do modelo ajustado se mantenham dentro ou muito próximos dos limites estipulados.

Simulação do Cenário Ajustado

Primeiramente, foi simulado o cenário ajustado com a frota original. A Tabela 32 mostra a ocupação da frota do cenário ajustado com o cenário de validação original. Por motivos de confidencialidade, as frotas de PSVs Cronograma e PSVs Oleiros, serão mostradas em termos percentuais, ao longo de toda a análise. Nesse caso, a frota do cenário de referência assumirá o valor 1.

Tabela 32: Ocupação frota original

Cenário	PSVs Cronograma	% Ocupação PSV Cronograma	PSVs Oleiros	% Ocupação PSV Oleiros
Original	1	79%	1	82%
Ajustada	1	84%	1	83%

Os resultados apontam uma ocupação maior de embarcações do tipo PSV Cronograma, no cenário ajustado. Isso porque os ajustes realizados resultaram em um número maior

de *clusters* e de viagens semanais, resultando no aumento do uso da embarcação. Já a ocupação da frota de PSVs Oleiros não sofreu variações significativas.

Buscou-se determinar o tamanho da frota dos diferentes cenários, usando a ocupação, como parâmetro de comparação. De forma a atingir a mesma taxa de ocupação entre os dois cenários, foi empregada a heurística representada na Figura 19 (Fonte: Autor). Nota-se que dificilmente a ocupação da frota em diferentes cenários será exatamente a mesma. No entanto, busca-se que as diferenças dos valores das ocupações entre os diferentes cenários sejam as menores possíveis.

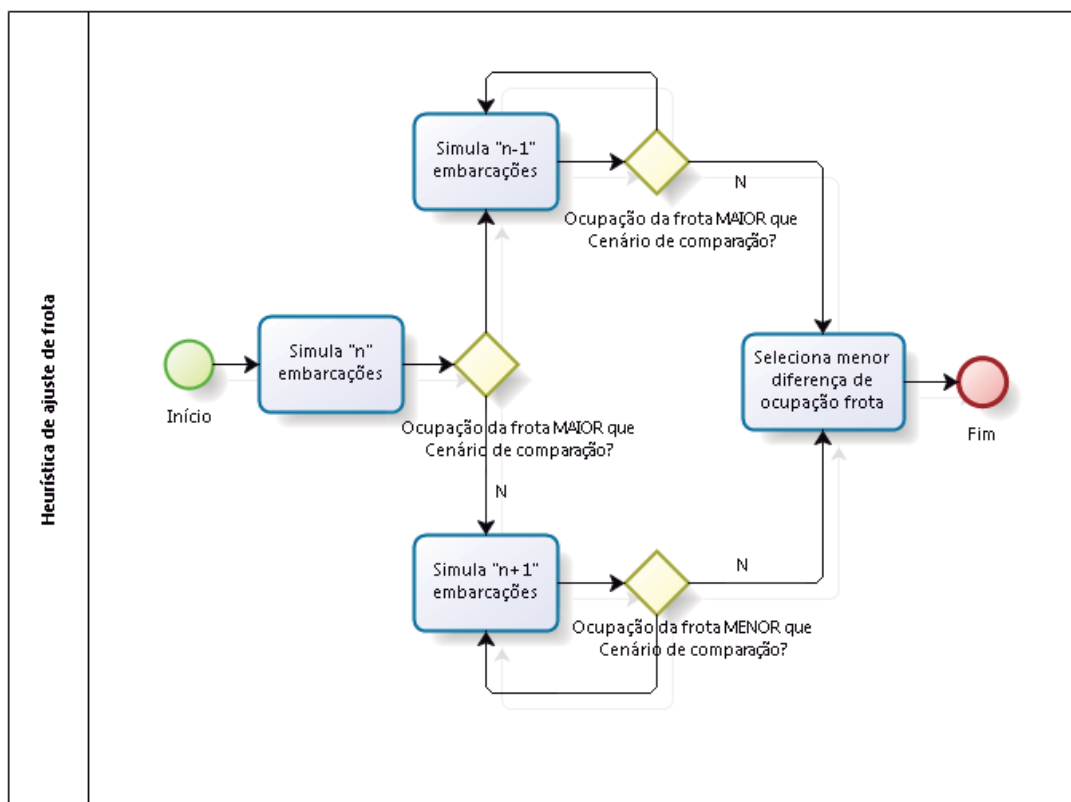


Figura 19: Ajuste de frota

A Tabela 33 mostra os resultados relativos à frota de PSV Cronograma e de PSVs Oleiros do modelo ajustado, em relação àqueles da validação original, após a aplicação da heurística de ajuste de frota. Devido ao aumento do número de viagens, foi necessário utilizar uma frota 6% maior do que a do cenário de validação original.

Tabela 33: Ocupação frota ajustada

Validação	PSV Cronograma	% Ocupação PSV Cronograma	PSVs Oleeiros	% Ocupação PSV Oleeiros
Original	1	79%	1	82%
Ajustada	1,06	80%	1	83%

Aplicação de técnicas de validação

Os resultados, obtidos na simulação do Cenário Ajustado, foram comparados com aqueles do Cenário Original, conforme ilustrado na Tabela 34.

Tabela 34: Parâmetros validação - Cenário Ajustado

Embarcação	Parâmetro	Validação Original	Validação Ajustado	Diferença % (Ajustado - Original)
PSV Cronograma	Ciclo (dias)	5,67	5,2	-8,4%
	Viagem (dias)	4,34	4,06	-6,5%
	Berço (dias)	0,54	0,49	-9,6%
	Fundeio (dias)	1,33	1,14	-14,6%
	Operação UMs (dias)	0,28	0,29	1,8%
	Aguardando para operar UMs (dias)	0,46	0,46	0,5%
	Ligadas Totais	265.328	274.756	3,6%
	Ligadas <i>Load</i>	135.162	141.831	4,9%
	Ligadas <i>Backload</i>	130.167	132.925	2,1%
	% frota inoperante	3,96%	4,42%	11,6%
% frota docada	1,68%	1,76%	4,3%	
PSV Oleeiro	Operação UMs (dias)	0,30	0,3	1,0%
	Aguardando para operar UMs (dias)	0,49	0,49	-0,1%
	Volume diesel movimentado por visita (m ³)	365	371	1,6%
	Volume diesel movimentado por visita (m ³)	-	-	0%
	% frota inoperante	3,70%	3,58%	3,3%
	% frota docada	1,88%	1,71%	9,1%

As maiores variações são verificadas nos indicadores de PSV Cronograma, em particular naqueles relativos a tempos, número de ligadas e percentual de frota inoperante e docada.

No primeiro caso, as diminuições dos tempos podem ser explicadas pela redução do número de UMs do *cluster* de atendimento. Dessa forma, os tempos de Viagem, Berço e Ciclo tendem a ser menores. Os tempos de fundeio também tendem a ser menores, dado que, para uma mesma ocupação, estão correlacionados diretamente com o tempo de viagem.

No segundo caso, verifica-se um aumento de número de ligadas entregues. Com o ajuste dos *clusters*, o sistema consegue entregar todos os pedidos gerados. Essa conclusão ainda foi confirmada com a análise do nível de serviço, realizada em seguida.

No caso do percentual de frota inoperante e docada, verificou-se uma variação considerável. No entanto, em termos práticos, essa variação não apresenta grande impacto na ocupação da frota, visto que os valores desses parâmetros são pequenos.

Com relação aos PSVs Oleeiros, não houve mudanças significativas nos resultados da frota, com exceção do parâmetro de percentual de frota docada. No entanto, pelo mesmo motivo explicado acima, essa variação tem pouco impacto na ocupação da frota.

Análise do nível de serviço

A Tabela 35 mostra os resultados de nível de serviço de carga geral. Os resultados confirmam que não está sendo gerado passivo de carga geral, dado que os tempos de *leadtime* se mantêm dentro de níveis aceitáveis.

Tabela 35: Indicadores CG – Cenário Ajustado

Indicador	Estatística	Modelo Original	Modelo Ajustado
<i>leadtime</i> médio CG	Média	17,3	4,3
	Percentil 90	59,8	5,4
	Percentil 99	108,9	6,8
<i>leadtime</i> máximo CG	Média	27,7	8,5
	Percentil 90	89,4	10,4
	Percentil 99	162,9	15,8

4.4.5. Definição do Cenário Base

No cenário de validação ajustado, os parâmetros inerentes às unidades marítimas e às embarcações são os mesmos que no cenário de validação original.

A grande diferença entre ambos cenários de validação original e ajustado é com relação ao planejamento das operações logísticas: o cenário ajustado contempla três *clusters* e seis viagens por semana a mais, o que aumenta a demanda por embarcações.

Adotou-se o cenário de validação ajustado como Cenário Base. Assim, os resultados dos outros cenários simulados podem ser comparados ao Base. Para facilitar as análises de comparação entre os cenários, as frotas de PSV Cronograma e PSV Oleeiro assumem o valor de referência 1.

5. EXPERIMENTOS REALIZADOS

5.1. Contextualização e Cenários

5.1.1. Contextualização

Durante o período escolhido para a análise, o atendimento de carga geral e água para as unidades das bacias de Campos era realizado por meio de uma frota de PSVs de CG, utilizando o porto de Imbetiba como base de apoio. O abastecimento de diesel para essas unidades marítimas era realizado por PSVs Oleiros. Os carregamentos dos PSVs Oleiros eram realizados por navios-tanque, que, por sua vez, atracavam nas boias, em alto mar. Os PSVs de CG também abasteciam diesel para consumo próprio nos NTs.

Apesar de ter sido usado como principal base de apoio *offshore* à Bacia de Campos, o porto de Imbetiba apresentava restrições, no que diz respeito às operações com diesel. O abastecimento do porto era realizado por meio de embarcações, operação conhecida como bombeio reverso. As restrições de infraestrutura do porto de Imbetiba eram as seguintes:

- Baixa capacidade de armazenamento de diesel;
- Alta taxa de ocupação dos berços, impedindo atracações adicionais para recebimento de mais diesel;
- Impossibilidade de receber petroleiros de maior capacidade, por conta da lâmina d'água e das dimensões dos píeres, limitando o porto à operação de embarcações de pequena capacidade de diesel.
- Incapacidade de realizar operações simultâneas de movimentação de carga geral e diesel, o que aumenta o tempo de atracação nos berços.

Dessa forma, não só o diesel para as unidades marítimas não era carregado no porto, mas o abastecimento para consumo próprio dos PSVs de CG de maior porte também não poderia ser realizado no momento da atracação. Apenas embarcações menores, como *Line Handlings* (LHs) e *Utilities* (Uts), eram abastecidas de diesel quando atracadas no porto de Imbetiba.

No que tange ao abastecimento de diesel, a solução adotada pela empresa foi a de carregar os NTs em terminais como o da Ilha d'Água (RJ), de Alemoa (Santos) e posicioná-los em boias localizadas em pontos estratégicos das bacias. Dessa forma, embarcações do tipo PSVs (CG e Oleiro) abasteciam o diesel diretamente nos NTs, seja para consumo

próprio, seja para a distribuição para as UMs. Além disso, outras embarcações de maior porte também abasteciam nos NTs para consumo próprio.

Esta solução, se por um lado garante o fornecimento de diesel para toda a bacia, por outro, apresenta os seguintes problemas:

- As UMs recebem cargas em visitas diferentes, dificultando gerenciamento e aumentando a probabilidade de coincidência de embarcações nas UMs, ocasionando perda de tempo de embarcações e da própria UM;
- Dificuldade de abastecer os PSVs a partir dos NTs, quando as condições ambientais estiverem ruins;
- Fila de embarcações nos NTs, dado que só uma embarcação é abastecida por vez;
- Maior tempo de viagem dos PSVs de carga geral, por terem que passar nos NTs para reabastecimento;
- Maior tempo de ciclo dos NTs, por terem que ser disponibilizados vários dias nas boias, em vez de fazer apenas descarregamentos no porto;
- Falta de NTs na bacia, em alguns momentos.

A contratação do porto do Açú, pela empresa estudada, permitiu que fossem avaliadas diferentes estratégias operacionais. Além de estar mais próximo da maioria das unidades marítimas, este porto possui grande capacidade de armazenamento de diesel, alta vazão de movimentação e tomadas de abastecimento de diesel em todos berços. Dessa forma, vislumbrou-se a possibilidade de avaliar quais ganhos a utilização desse porto traria para a companhia. Usando o porto do Açú como base de apoio, haveria a possibilidade de utilizá-lo para o reabastecimento dos PSVs de CG, assim como para o carregamento do diesel que será entregue às UMs. A entrega pode ser feita por meio de frota especializada, ou por frota multipropósito.

O modelo de simulação foi concebido para permitir a avaliação de diferentes estratégias de operação, de forma a investigar aquela que apresenta aumento de eficiência do sistema marítimo de transporte de carga, no período considerado na análise.

5.1.2. Cenários

Além do Cenário Base, foram simulados cinco cenários de operação, levando em consideração a presença, ou não, de frotas especializadas e políticas de suprimento de óleo diesel.

As mudanças em relação ao Cenário Base (Cenário 0) foram realizadas de forma gradual. As particularidades de cada cenário são explicitadas abaixo, com auxílio da Tabela 36 e Figura 20:

- Cenário 0
 - Porto de apoio: Imbetiba
 - PSVs Cronograma transportam a CG para as UMs, a partir do porto. Quando necessário, passam no NT para abastecer diesel, apenas para consumo próprio.
 - PSVs Oleiros transportam diesel para as UMs. Quando necessário, abastecem no NT.
 - NTs abastecem em portos especializados e levam o diesel, para a bacia.
- Cenário 1
 - Porto de apoio: Açú
 - PSVs Cronograma transportam a CG para as UMs a partir do porto. Quando necessário, passam no NT para abastecer diesel, apenas para consumo próprio.
 - PSVs Oleiros transportam diesel para as UMs. Quando necessário, abastecem no NT.
 - NTs abastecem em portos especializados e levam o diesel para a bacia.
- Cenário 2
 - Porto de apoio: Açú
 - PSVs Cronograma transportam a CG para as UMs a partir do porto. Quando necessário, abastecem diesel no porto, apenas para consumo próprio.
 - PSVs Oleiros transportam diesel para as UMs. Quando necessário, abastecem no NT.
 - NTs abastecem em portos especializados e levam o diesel para a bacia e para o porto.

- Cenário 3
 - Porto de apoio: Açú
 - PSVs Cronograma transportam a CG para as UMs a partir do porto. Quando necessário, abastecem diesel no porto, apenas para consumo próprio.
 - PSVs Oleiros transportam diesel para as UMs. Quando necessário, abastecem no porto.
 - NTs abastecem em portos especializados e levam o diesel para a porto.
- Cenário 4
 - Porto de apoio: Açú
 - PSVs Cronograma transportam a CG e diesel para as UMs a partir do porto. Quando necessário, abastecem diesel no porto.
 - PSVs Oleiros – Não há
 - NTs abastecem em portos especializados e levam o diesel para a porto.
- Cenário 5
 - Porto de apoio: Açú
 - PSVs Cronograma transportam a CG e diesel para as UMs a partir do porto. Quando necessário, abastecem diesel no porto.
 - PSVs Oleiros transportam diesel para as UMs. Quando necessário, abastecem no NT. Neste cenário, é mantida uma pequena frota, apenas para atendimentos emergenciais.
 - NTs abastecem em portos especializados e levam o diesel para a porto.

Foi adotado que, mesmo nos cenários em que haja o transporte de CG e diesel por uma mesma embarcação (Cenários 4 e 5), as rotas seguidas pelas embarcações de cronograma são definidas apenas com base na demanda de carga geral.

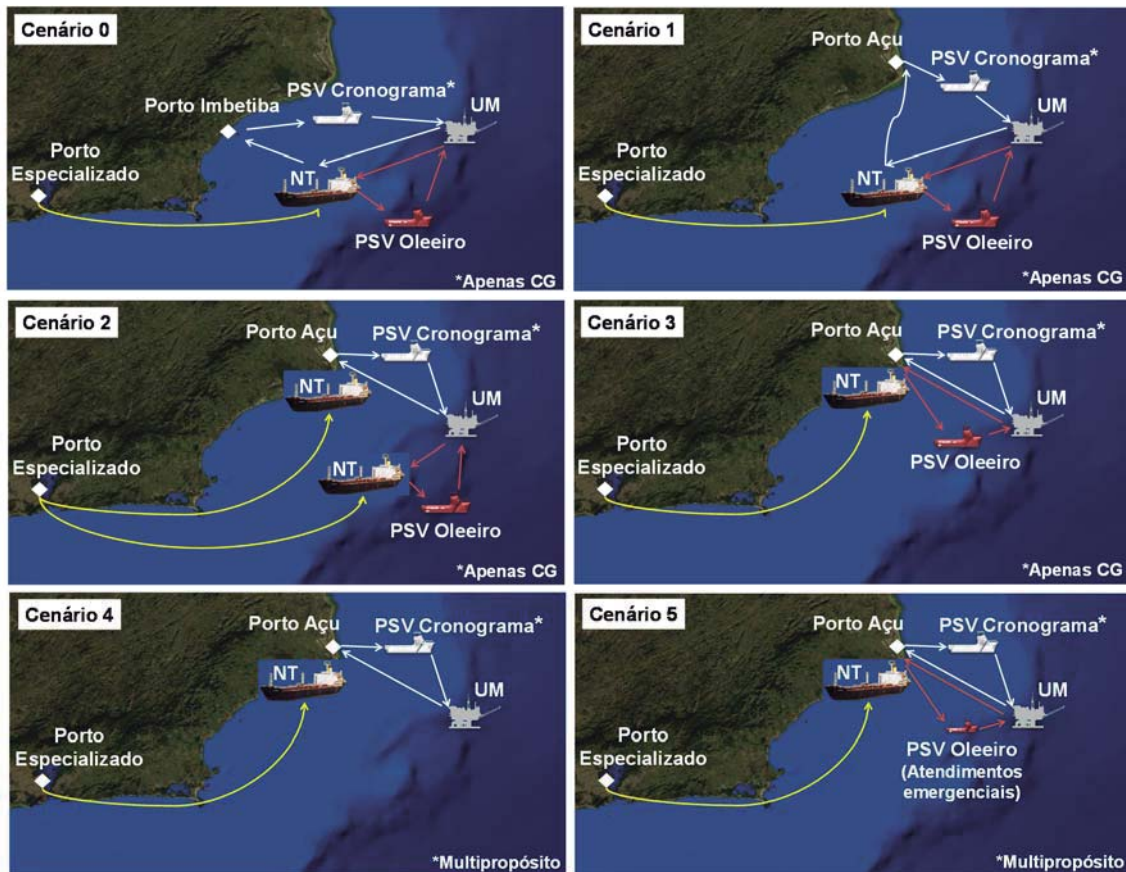


Figura 20: Cenários

Tabela 36: Locais de abastecimento de diesel

Cenário	PSV Cronograma	PSV Oleeiro
0	NT	NT
1	NT	NT
2	Porto	NT
3	Porto	Porto
4	Porto	-
5	Porto	Porto

Destaca-se que todos os cenários simulados são relativos ao período histórico considerado na análise. Dessa forma, os resultados mostrados na próxima seção são referentes aos possíveis ganhos que a empresa teria atingido, caso adotasse as diferentes estratégias de operação. No entanto, a análise pode ser realizada com dados operacionais mais atuais, para auxiliar na tomada de decisão.

5.2. Resultados e Análises

Os resultados obtidos em cada cenário são mostrados, a seguir, divididos em três categorias: Frota, Nível de serviço de carga geral e Nível de serviço de diesel.

No caso específico dos resultados da frota, nem todos os parâmetros utilizados na etapa de validação foram mostrados, mas, sim, os mais relevantes. Em alguns casos, foi necessário detalhar algum indicador extra para explicar o comportamento dos parâmetros analisados.

Os resultados de cada cenário são sempre comparados com aqueles dos cenários anteriores. Entende-se que esse método incremental de apresentação dos resultados auxilia no entendimento dos mesmos.

5.2.1. Cenário 1

Frota

A Tabela 37 apresenta os resultados com relação à frota. A implantação do Cenário 1 permitiria a redução de 8% da frota de PSV Cronograma em relação ao Cenário 0. A transferência da operação de carga geral para o porto do Açú implicaria na redução do tempo total de viagem, por dois motivos: 1) Maior proximidade do porto, em relação às unidades marítimas; 2) Maior produtividade do porto do Açú, quando comparado ao porto de Imbetiba.

Tabela 37: Indicadores frota – Cenário 1

Frota	Parâmetro	Cen 0	Cen 1
PSV Cronograma	Tamanho frota	1	0,92
	Ocupação da frota	80%	80%
	Ciclo (dias)	5,20	4,76
	Viagem (dias)	4,06	3,71
	Berço (dias)	0,49	0,47
	Diesel movimentado por entrega (m ³)	0	0
PSV Oleeiro	Tamanho frota	1	1
	Ocupação da frota	83%	80%
	Diesel movimentado por entrega (m ³)	371	362

A implantação do Cenário 1 traria, ainda, uma diminuição da ocupação da frota de PSVs Oleiros, em função de dois motivos: 1) Redução das distâncias navegadas para a operação de troca de turma, realizada no porto; 2) Redução do tempo de aguardo para operar no NT, devido à diminuição da concorrência (menor frota de PSVs de Cronograma). A Tabela 38 compara a diferença do tempo de aguardo para operar.

Tabela 38: PSV Oleiro aguardando para operar – Cenário 1

Frota	Indicador	Cen 0	Cen 1
PSV Oleiro	Aguardando para operar NT (dias)	1,36	1,14

Nível de Serviço CG

A Tabela 39 apresenta os resultados com relação aos indicadores de carga geral. A implantação do Cenário 1 promoveria uma pequena melhora nas médias dos indicadores de *leadtime* (médio e máximo), em função da redução dos tempos de viagem. As outras estatísticas do *leadtime*, em alguns casos, também apresentam pequena variação.

Tabela 39: Indicadores CG – Cenário 1

Indicador	Estatística	Cen 0	Cen 1
<i>leadtime</i> médio CG	Média	4,3	4,1
	Percentil 90	5,4	5,2
	Percentil 99	6,8	6,9
<i>leadtime</i> máximo CG	Média	8,5	8,3
	Percentil 90	10,4	10,4
	Percentil 99	15,8	15,8

Nível de Serviço Diesel

A Tabela 40 apresenta os resultados com relação aos indicadores de diesel. A implantação do Cenário 1 promoveria uma melhora global nos indicadores de diesel, em função da redução da ocupação da frota.

Tabela 40: Indicadores diesel – Cenário 1

Indicador	Estatística	Cen 0	Cen 1
<i>leadtime</i> médio	Média	1,74	1,38
	Percentil 90	1,96	1,59
	Percentil 99	2,18	1,88
<i>leadtime</i> máximo	Média	7,86	6,89
	Percentil 90	9,16	8,41
	Percentil 99	9,57	8,64
Ocorrências Estoque abaixo mínimo	Média	0,09	0,08
	Percentil 90	0,17	0,17
	Percentil 99	0,25	0,31
Ocorrências estoque zero	Média	0,06	0,04
	Percentil 90	0,07	0,06
	Percentil 99	0,08	0,08

5.2.2. Cenário 2

Frota

A Tabela 41 apresenta os resultados com relação à frota. A implantação do Cenário 2 permitiria a redução de 11% da frota de PSV Cronograma e 9% da frota PSV Oleeiro, em relação ao Cenário 0.

Tabela 41: Indicadores frota – Cenário 2

Frota	Parâmetro	Cen 0	Cen 1	Cen 2
PSV Cronograma	Tamanho frota	1	0,92	0,89
	Ocupação da frota	80%	80%	80%
	Ciclo (dias)	5,20	4,76	4,60
	Viagem (dias)	4,06	3,71	3,57
	Berço (dias)	0,49	0,47	0,48
	Diesel movimentado por entrega (m ³)	0	0	0
PSV Oleiro	Tamanho frota	1	1	0,91
	Ocupação da frota	83%	80%	82%
	Diesel movimentado por entrega (m ³)	371	362	363

No primeiro caso, ao deixar de abastecer diesel no NT, o PSV Cronograma diminui seu tempo de viagem marítima, permitindo a redução da frota. Nota-se que o tempo de berço sofre um pequeno aumento, em função da operação das duas operações no porto.

No segundo caso, há uma grande redução da concorrência para o abastecimento no NT, dado que todos os PSVs de Cronograma passam a abastecer no porto. A Tabela 42 mostra a diferença do tempo de aguardo para operar dos PSVs Oleiros.

Tabela 42: PSV Oleiro aguardando para operar – Cenário 2

Frota	Indicador	Cen 0	Cen 1	Cen 2
PSV Oleiro	Aguardando para operar NT (dias)	1,36	1,14	0,84

Nível de Serviço CG

A Tabela 43 apresenta os resultados com relação aos indicadores de carga geral. A implantação do Cenário 2 não implicaria em mudanças significativas nos indicadores de CG, em relação ao Cenário 1.

Tabela 43: Indicadores CG – Cenário 2

Indicador	Estatística	Cen 0	Cen 1	Cen 2
<i>leadtime</i> médio CG	Média	4,3	4,1	4,1
	Percentil 90	5,4	5,2	5,2
	Percentil 99	6,8	6,9	6,6
<i>leadtime</i> máximo CG	Média	8,5	8,3	8,3
	Percentil 90	10,4	10,4	10,4
	Percentil 99	15,8	15,8	15,7

Nível de Serviço Diesel

A Tabela 44 apresenta os resultados com relação aos indicadores de diesel. Devido à redução da concorrência para operar no NT, a implantação do Cenário 2 implicaria na melhora da maioria dos indicadores relativos ao diesel, quando comparado aos cenários anteriores, com exceção das estatísticas dos Percentis 90 e 99 das ocorrências de estoque zero. No entanto, mesmo nesses casos, os valores se mantêm dentro dos limites estipulados anteriormente.

Tabela 44: Indicadores diesel – Cenário 2

Indicador	Estatística	Cen 0	Cen 1	Cen 2
<i>leadtime</i> médio	Média	1,74	1,38	1,34
	Percentil 90	1,96	1,59	1,48
	Percentil 99	2,18	1,88	1,74
<i>leadtime</i> máximo	Média	7,86	6,89	6,03
	Percentil 90	9,16	8,41	7,24
	Percentil 99	9,57	8,64	7,62
Ocorrências Estoque abaixo mínimo	Média	0,09	0,08	0,07
	Percentil 90	0,17	0,17	0,13
	Percentil 99	0,25	0,31	0,20
Ocorrências estoque zero	Média	0,06	0,04	0,03
	Percentil 90	0,07	0,06	0,07
	Percentil 99	0,08	0,08	0,10

5.2.3. Cenário 3

Frota

A Tabela 45 apresenta os resultados com relação à frota. A implantação do Cenário 3 implicaria em um pequeno aumento da ocupação da frota de PSV Cronograma, em relação ao Cenário 2 (para uma mesma frota). O fato acontece, pois, há um aumento na ocupação do berço e, conseqüentemente, maior atraso nas atracções. A Tabela 46 mostra valores relativos à ocupação de berços e atrasos no horário previsto para atracção.

Tabela 45: Indicadores frota – Cenário 3

Frota	Parâmetro	Cen 0	Cen 1	Cen 2	Cen 3
PSV Cronograma	Tamanho frota	1	0,92	0,89	0,89
	Ocupação da frota	80%	80%	80%	81%
	Ciclo (dias)	5,20	4,76	4,60	4,61
	Viagem (dias)	4,06	3,71	3,57	3,56
	Berço (dias)	0,49	0,47	0,48	0,48
	Diesel movimentado por entrega (m ³)	0	0	0	0
PSV Oleiro	Tamanho frota	1	1	0,91	0,82
	Ocupação da frota	83%	80%	82%	80%
	Diesel movimentado por entrega (m ³)	371	362	363	346

Tabela 46: Ocupação berços e atraso viagens

Parâmetro	Cen 0	Cen 1	Cen 2	Cen 3
% Ocupação berços	62,59%	58,63%	60,16%	81,82%
% Viagens com atraso	2,32%	0,99%	0,25%	26,27%
Atraso máximo atracção (horas)	14,91	11,24	4,65	20,45

Para um patamar de 81% de ocupação de berço, verificam-se níveis significativos de viagens com atraso. Destaca-se que a grade de atracção utilizada foi a mesma que nos outros cenários, não sendo desenhada uma nova, considerando as atracções de PSVs Oleiros para abastecimento. Uma grade de atracção ajustada poderia diminuir o atraso das atracções e, conseqüentemente, a ocupação dos PSV Cronograma.

No caso dos PSVs Oleiros, verifica-se a possibilidade de redução de 18% da frota em relação ao Cenário 0. O abastecimento no NT implica em grandes tempos de aguardo (disponibilidade de NT na bacia, fila, condição de mar), conforme mostrado na Tabela 42, além da operação, em si, ser mais demorada em função de uma menor vazão. Apesar de questões de segurança não serem escopo do estudo, a operação no porto ainda promove uma redução dos riscos envolvidos, por ser uma operação mais controlada.

Nível de Serviço CG

A Tabela 47 apresenta os resultados com relação aos indicadores de carga geral. A implantação do Cenário 3 implicaria numa pequena piora nas médias dos indicadores de *leadtime* (médio e máximo), em função do atraso das atracções, conforme comentado anteriormente. No entanto, a maioria dos valores ainda se mantêm dentro dos limites estipulados, com exceção do Percentil 99 do *leadtime* médio.

Tabela 47: Indicadores CG – Cenário 3

Indicador	Estatística	Cen 0	Cen 1	Cen 2	Cen 3
<i>leadtime</i> médio CG	Média	4,3	4,1	4,1	4,2
	Percentil 90	5,4	5,2	5,2	5,3
	Percentil 99	6,8	6,9	6,6	7,2
<i>leadtime</i> máximo CG	Média	8,5	8,3	8,3	8,4
	Percentil 90	10,4	10,4	10,4	10,6
	Percentil 99	15,8	15,8	15,7	16,4

Nível de Serviço Diesel

A Tabela 48 apresenta os resultados com relação aos indicadores de diesel. A implantação do Cenário 3 promoveria uma melhora significativa em todos os indicadores de diesel em relação aos cenários anteriores. O fato pode ser explicado pela redução da variância do tempo de abastecimento de diesel. Esta operação, quando realizada no porto, é muito mais controlada do que quando realizada em alto mar. Destaca-se que o número de ocorrências de estoque zero sofreu uma grande queda, até para as estatísticas de Percentil 90 e 99. O valor 0,02 indica apenas uma ocorrência em todas as 50 replicações.

Tabela 48: Indicadores diesel – Cenário 3

Indicador	Estatística	Cen 0	Cen 1	Cen 2	Cen 3
<i>leadtime</i> médio	Média	1,74	1,38	1,34	0,70
	Percentil 90	1,96	1,59	1,48	0,84
	Percentil 99	2,18	1,88	1,74	1,03
<i>leadtime</i> máximo	Média	7,86	6,89	6,03	1,97
	Percentil 90	9,16	8,41	7,24	2,40
	Percentil 99	9,57	8,64	7,62	2,72
Ocorrências Estoque abaixo mínimo	Média	0,09	0,08	0,07	0,02
	Percentil 90	0,17	0,17	0,13	0,02
	Percentil 99	0,25	0,31	0,20	0,02
Ocorrências estoque zero	Média	0,06	0,04	0,03	0,02
	Percentil 90	0,07	0,06	0,07	0,02
	Percentil 99	0,08	0,08	0,10	0,02

5.2.4. Cenário 4

Frota

A Tabela 49 apresenta os resultados com relação à frota. A implantação do Cenário 4 implicaria no aumento de frota de PSV Cronograma, em relação aos cenários anteriores (exceção do Cenário 0). No entanto, haveria uma redução de 100% da frota de PSV Oleiro, implicando na redução global da frota.

Tabela 49: Indicadores frota – Cenário 4

Frota	Parâmetro	Cen 0	Cen 1	Cen 2	Cen 3	Cen 4
PSV Cronograma	Tamanho frota	1	0,92	0,89	0,89	0,97
	Ocupação da frota	80%	80%	80%	81%	79%
	Ciclo (dias)	5,20	4,76	4,60	4,61	5,05
	Viagem (dias)	4,06	3,71	3,57	3,56	3,87
	Berço (dias)	0,49	0,47	0,48	0,48	0,59
	Diesel movimentado por entrega (m ³)	0	0	0	0	229
PSV Oleiro	Tamanho frota	1	1	0,91	0,82	0
	Ocupação da frota	83%	80%	82%	80%	-
	Diesel movimentado por entrega (m ³)	371	362	363	346	-

No que tange às embarcações de cronograma, a operação de CG e diesel na mesma viagem implica no seu aumento, decorrente de maiores tempos de operação no berço e nas UMs (Tabela 50), pois nesse cenário operam mais de um produto.

Tabela 50: Operação UMs

Frota	Parâmetro	Cen 0	Cen 1	Cen 2	Cen 3	Cen 4
PSV Cronograma	Operação UMs (dias)	0,29	0,29	0,29	0,29	0,35

Por sua vez, não há mais necessidade de se utilizar a frota de PSVs Oleiros, uma vez que todo o diesel é entregue pelas embarcações de cronograma.

Nível de Serviço CG

A Tabela 51 apresenta os resultados com relação aos indicadores de carga geral. Quando comparados aos cenários anteriores, a maioria dos indicadores relativos à carga geral sofrem um pequeno aumento, em função dos tempos de operação mais longos. A média dos indicadores de *leadtime* se assemelham àquelas do Cenário 0, em que se operava em um porto mais distante das unidades marítimas. No entanto, os resultados desse cenário ainda se mantêm com níveis aceitáveis.

Tabela 51: Indicadores CG – Cenário 4

Indicador	Estatística	Cen 0	Cen 1	Cen 2	Cen 3	Cen 4
<i>leadtime</i> médio CG	Média	4,3	4,1	4,1	4,2	4,3
	Percentil 90	5,4	5,2	5,2	5,3	5,5
	Percentil 99	6,8	6,9	6,6	7,2	7,0
<i>leadtime</i> máximo CG	Média	8,5	8,3	8,3	8,4	8,5
	Percentil 90	10,4	10,4	10,4	10,6	10,3
	Percentil 99	15,8	15,8	15,7	16,4	15,9

Nível de Serviço Diesel

A Tabela 52 apresenta os resultados com relação aos indicadores de diesel. Todos os indicadores de diesel apresentaram piora significativa em relação aos cenários anteriores. Destaca-se que as estatísticas de Percentil 90 e 99 do número de ocorrências de estoque zero ultrapassaram o limite estipulado anteriormente (0,10).

Tabela 52: Indicadores diesel – Cenário 4

Indicador	Estatística	Cen 0	Cen 1	Cen 2	Cen 3	Cen 4
<i>leadtime</i> médio	Média	1,74	1,38	1,34	0,70	2,20
	Percentil 90	1,96	1,59	1,48	0,84	2,74
	Percentil 99	2,18	1,88	1,74	1,03	3,44
<i>leadtime</i> máximo	Média	7,86	6,89	6,03	1,97	5,77
	Percentil 90	9,16	8,41	7,24	2,40	7,98
	Percentil 99	9,57	8,64	7,62	2,72	13,24
Ocorrências Estoque abaixo mínimo	Média	0,09	0,08	0,07	0,02	0,22
	Percentil 90	0,17	0,17	0,13	0,02	0,41
	Percentil 99	0,25	0,31	0,20	0,02	0,53
Ocorrências estoque zero	Média	0,06	0,04	0,03	0,02	0,07
	Percentil 90	0,07	0,06	0,07	0,02	0,12
	Percentil 99	0,08	0,08	0,10	0,02	0,14

Os resultados podem ser explicados pelo fim da frota de PSVs Oleiro. Essas embarcações ficam espalhadas pela bacia e realizam a entrega, prontamente, assim que um pedido é gerado. Já no caso das embarcações de cronograma, o pedido será atendido somente no momento da visita programada.

Em função dos resultados de indicadores de diesel, foi simulado o Cenário 5: uma solução híbrida entre a frota multipropósito e a especialista.

5.2.5. Cenário 5

Frota

A Tabela 53 apresenta os resultados com relação à frota. Os resultados da frota de PSVs Cronograma deste cenário são muito similares àqueles do Cenário 4. Já o PSV Oleiro mostra uma ocupação muito pequena, em relação aos valores de ocupação dos outros cenários. No Cenário 5, o PSV Oleiro realiza apenas atendimentos emergenciais para que o nível de serviço seja mantido em patamares aceitáveis. Destaca-se que o cenário foi configurado para que o PSV Oleiro entregasse maiores quantidades de diesel por visita, em comparação com os cenários anteriores.

Tabela 53: Indicadores frota – Cenário 5

Frota	Parâmetro	Cen 0	Cen 1	Cen 2	Cen 3	Cen 4	Cen 5
PSV Cronograma	Tamanho frota	1	0,92	0,89	0,89	0,97	0,97
	Ocupação da frota	80%	80%	80%	81%	79%	79%
	Ciclo (dias)	5,20	4,76	4,60	4,61	5,05	5,05
	Viagem (dias)	4,06	3,71	3,57	3,56	3,87	3,86
	Berço (dias)	0,49	0,47	0,48	0,48	0,59	0,59
	Diesel movimentado por entrega (m ³)	0	0	0	0	229	227
PSV Oleiro	Tamanho frota	1	1	0,91	0,82	0	0,09
	Ocupação da frota	83%	80%	82%	80%	-	16%
	Diesel movimentado por entrega (m ³)	371	362	363	346	-	621

Nível de Serviço CG

A Tabela 54 apresenta os resultados com relação aos indicadores de carga geral. Os resultados de *leadtime* de CG deste cenário são muito similares àqueles do Cenário 4, dado que a única diferença entre os cenários é a presença de uma pequena frota de PSVs Oleiros.

Tabela 54: Indicadores CG – Cenário 5

Indicador	Estatística	Cen 0	Cen 1	Cen 2	Cen 3	Cen 4	Cen 5
<i>leadtime</i> médio CG	Média	4,3	4,1	4,1	4,2	4,3	4,3
	Percentil 90	5,4	5,2	5,2	5,3	5,5	5,5
	Percentil 99	6,8	6,9	6,6	7,2	7,0	7,0
<i>leadtime</i> máximo CG	Média	8,5	8,3	8,3	8,4	8,5	8,5
	Percentil 90	10,4	10,4	10,4	10,6	10,3	10,4
	Percentil 99	15,8	15,8	15,7	16,4	15,9	16,3

Nível de Serviço Diesel

A Tabela 55 apresenta os resultados com relação aos indicadores de diesel. Neste cenário, os indicadores de diesel podem ser divididos em dois grupos, com relação ao desempenho. Os indicadores de *leadtime* continuam nos mesmos patamares que do Cenário 4, ou seja, apresentam piora em relação aos Cenários 0, 1, 2 e 3. O fato pode ser explicado, pois a maioria do diesel é entregue pelas embarcações de cronograma. No entanto, os indicadores relativos a número de ocorrências de estoque abaixo do mínimo e

de estoque zero são os melhores obtidos, em comparação com os outros cenários (junto com o Cenário 3), devido à frota de PSVs Oleeiros que realiza os atendimentos emergenciais. Assim, mesmo com maiores tempos de entrega, mantêm-se níveis de estoque suficiente nas UMs.

Tabela 55: Indicadores diesel – Cenário 5

Indicador	Estatística	Cen 0	Cen 1	Cen 2	Cen 3	Cen 4	Cen 5
<i>leadtime</i> médio	Média	1,74	1,38	1,34	0,70	2,20	2,13
	Percentil 90	1,96	1,59	1,48	0,84	2,74	2,54
	Percentil 99	2,18	1,88	1,74	1,03	3,44	3,20
<i>leadtime</i> máximo	Média	7,86	6,89	6,03	1,97	5,77	5,56
	Percentil 90	9,16	8,41	7,24	2,40	7,98	7,40
	Percentil 99	9,57	8,64	7,62	2,72	13,24	10,91
Ocorrências Estoque abaixo mínimo	Média	0,09	0,08	0,07	0,02	0,22	0,02
	Percentil 90	0,17	0,17	0,13	0,02	0,41	0,02
	Percentil 99	0,25	0,31	0,20	0,02	0,53	0,02
Ocorrências estoque zero	Média	0,06	0,04	0,03	0,02	0,07	0,02
	Percentil 90	0,07	0,06	0,07	0,02	0,12	0,02
	Percentil 99	0,08	0,08	0,10	0,02	0,14	0,02

5.3. Escolha do Cenário

A Tabela 56 resume as frotas encontradas na simulação de cada cenário. Os resultados mostram que todos os cenários de operação propostos apresentam possibilidade de redução de frota, em relação ao cenário base. O cenário onde se verifica maior redução de embarcações é o Cenário 4, em que seria possível uma redução de frota global de 26%.

Tabela 56: Comparação resultados

Frota / Diferença %	Frota	Cen 0	Cen 1	Cen 2	Cen 3	Cen 4	Cen 5
Frota	Global	1	0,94	0,89	0,87	0,74	0,77
	PSV Cronograma	1	0,92	0,89	0,89	0,97	0,97
	PSV Oleeiro	1	1	0,91	0,82	0	0,09
Diferença %	Global	0%	-6%	-11%	-9%	-26%	-23%
	PSV Cronograma	0%	-8%	-11%	-11%	-3%	-3%
	PSV Oleeiro	0%	0%	-9%	0%	-100%	-91%

No entanto, o Cenário 4 excede os limites de nível de serviço para diesel. Como alternativa, simulou-se o Cenário 5, opção híbrida em que a maior parte do diesel é entregue por meio de uma frota multipropósito, seguindo um cronograma pré-estabelecido, e ainda é utilizada uma pequena frota de PSVs Oleeiro para atendimentos de emergência. Este cenário apresentou a possibilidade de redução da frota global de 23%, além de patamares de nível de serviço de carga geral aceitáveis, e dos melhores resultados em relação aos indicadores de estoque de diesel, quando comparados com os outros cenários. Sendo assim, o Cenário 5 seria o recomendado em função do maior equilíbrio entre custo e nível de serviço.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A alta eficácia da cadeia logística de apoio *offshore* é essencial para que as atividades de Exploração e Produção (E&P) sejam viabilizadas, maximizando a rentabilidade e a segurança das operações.

Em épocas de aquecimento da indústria, as companhias de petróleo tendem a não dar prioridade aos custos logísticos em suas análises, visto que esse tipo de custo é inferior aos demais envolvidos nas atividades de E&P. Já em cenários em que o preço do barril encontra-se em queda, as empresas passam a adotar estratégias para aumentar a eficiência da cadeia logística, de forma a reduzir custos, sem que haja a diminuição do nível de serviço.

No que tange à cadeia logística de carga, a parte mais relevante dos custos é relativa ao elo marítimo, em função dos valores de afretamento das embarcações de apoio *offshore*. Assim, o aumento de eficiência de toda a cadeia pode ser obtido por meio da melhoria da produtividade dessas embarcações.

O objetivo do presente estudo foi propor diferentes soluções para o aumento da eficiência do elo marítimo da cadeia logística *offshore* de uma empresa de petróleo brasileira. Os produtos contemplados no estudo foram: carga geral, água e diesel. As análises foram realizadas tendo como base um cenário histórico.

As soluções propostas consideram diferentes formas de utilização dos recursos e infraestruturas. Dentre as estratégias avaliadas, estão o uso de portos mais próximos das unidades marítimas, mudança dos pontos de abastecimento de diesel e diferentes políticas de suprimento de diesel às unidades marítimas. Como exemplo do primeiro caso, avaliou-se a migração das operações do porto de Imbetiba para o porto do Açú. Com relação ao segundo caso, alternou-se os pontos de abastecimento dos PSVs Cronograma e PSVs Oleiros entre a bacia e o porto. Por fim, analisou-se a entrega dos produtos, utilizando frotas totalmente especializadas ou multipropósito. Também foi avaliada uma solução híbrida, em que a maior parte dos produtos é entregue por frotas multipropósito, e as demandas emergenciais são atendidas por frotas especializadas.

O estudo ainda contou com avaliação do nível de serviço dos diferentes produtos em cada cenário. Apesar de apresentar ganhos em termos de custo, uma determinada estratégia de operação pode resultar em níveis de serviço não satisfatórios. Como exemplo, tem-se o cenário totalmente multipropósito que, apesar de permitir a maior redução de frota, implicaria na queda do nível de serviço de diesel. Nesses casos, cabe aos gestores avaliar se os novos patamares de nível de serviço ainda permanecem aceitáveis, evitando, assim, grandes perdas globais para a companhia.

Dentre os cenários simulados, aqueles que envolvem a solução multipropósito apresentam maior mudança em relação ao cenário base do período avaliado. Nessa ocasião, a empresa operava com frotas totalmente especializadas. Caso ela tivesse interesse pela solução multipropósito, o processo de implantação poderia envolver um ou mais cenários intermediários, dado que eles também apresentam ganhos em termos de custo e nível de serviço. Destaca-se que a sequência em que os cenários foram apresentados é um exemplo de processo de implantação da solução multipropósito, em que as mudanças entre os cenários são feitas de forma incremental. Primeiramente, as operações são transferidas para um porto que possui alta capacidade de armazenamento de diesel. Em seguida, os PSVs Cronograma passam a abastecer diesel no porto, apenas para consumo próprio. Como próximo passo, tem-se a mudança do ponto de abastecimento dos PSVs Oleeiros da bacia para o porto. Por fim, já com todas as embarcações supridoras abastecendo em uma base *onshore*, é possível a implantação do cenário multipropósito. Nesse caso, também pode-se optar pela solução híbrida.

Uma das motivações do estudo era entender quais são os impactos na cadeia de apoio *offshore* causados pela presença de uma infraestrutura portuária precária. A implantação dos cenários propostos só é possível em função da utilização de um porto adequado. Apesar de, por muitos anos, a empresa estudada ter usado o porto de Imbetiba como sua principal base de apoio *offshore* para o atendimento à Bacia de Campos, tal infraestrutura apresenta algumas limitações que não favorecem a adoção de determinadas estratégias de operação. Baixa capacidade de armazenamento de diesel; impossibilidade de receber petroleiros de maior capacidade e impossibilidade de realizar operações simultâneas de movimentação de carga geral e diesel, são exemplos de restrições identificadas, na época do estudo, que dificultam a implantação de cenários em que o abastecimento das embarcações é realizado no porto. No entanto, a migração da operação para o Porto do

Açu permite a utilização de formas de operação mais eficientes, dado que esse porto oferece infraestrutura adequada no que tange à operação envolvendo carga geral, água e diesel.

Dentre os objetivos secundários do estudo, destaca-se o desenvolvimento do modelo conceitual. Para sua elaboração foi escolhida uma estratégia que representasse, de forma detalhada, os principais pilares sobre os quais o modelo seria construído. Descrição do problema e do funcionamento geral do simulador; tabelas dos parâmetros de entrada e saída; definição dos componentes a serem considerados; padrão de nomenclatura dos componentes e fluxogramas dos eventos facilitam o entendimento do modelo e sua codificação.

Outro objetivo secundário era a elaboração de uma ferramenta que permitisse a avaliação dos cenários propostos. O modelo de simulação desenvolvido contempla inúmeros fatores, tais como: as variabilidades dos tempos de operação em alto mar e no porto; da demanda por carga geral e diesel e das taxas de inoperâncias das embarcações. O modelo também considera as incertezas das condições ambientais; dos tempos de navegação e das filas, que podem ocorrer nas UMs, no porto e nos NTs. As operações de manutenção preventiva das embarcações e suas trocas de tripulação ocorrem de acordo com uma programação pré-estabelecida. O modelo considera características individuais dos PSVs e das UMs como, por exemplo, as capacidades armazenamento de produtos. No caso das UMs, a posição geográfica e a demanda de carga geral e de diesel também é considerada de forma individual. Outra característica a ser destacada é a capacidade do modelo de resolver problemas envolvendo um grande número de UMs. Após a pesquisa realizada, não foi identificada outra ferramenta que considerasse tantos fatores juntamente com a avaliação de problemas de grande escala.

Foram assumidas premissas e simplificações para a realização do estudo como, por exemplo, viagens multipropósito sendo planejadas utilizando apenas a demanda de carga geral e heurística de seleção de embarcações do tipo FIFO (*first-in first-out*). Também não se analisou o uso de mais de um porto de apoio simultaneamente. No caso da carga geral, foram considerados apenas os atendimentos de cronograma. Sendo assim, observa-se que outras soluções poderiam ser adotadas para o aumento da eficiência do elo

marítimo da cadeia de suprimentos *offshore*. Dessa forma, identifica-se soluções que poderiam ser avaliadas em trabalhos futuros, tais como:

- Redefinição dos *clusters* e rotas considerando demandas de todos os produtos da viagem;
- Desenvolvimento de heurísticas de seleção de embarcações no porto, comparando a demanda das unidades com a oferta de convés das embarcações;
- Desenvolvimento de heurísticas de seleção de PSVs Oleiros para o atendimento dos pedidos de diesel, comparando a prioridade de atendimento das unidades com a quantidade de diesel disponível na embarcação e com sua proximidade em relação às UMs demandantes;
- Avaliação do atendimento por mais de um porto, simultaneamente;
- Inclusão de outros serviços de carga geral, como os extra cronograma e de emergência; e
- Emprego de técnicas de otimização da simulação.

Por fim, recomenda-se que uma análise semelhante seja realizada, considerando mais produtos, tais como outros granéis líquidos e sólidos. Acredita-se que o aumento de eficiência a ser obtido pode ser ainda maior do que o encontrado com o presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAS, B.; GRIBKOVSKAIA, I.; ØYVIND, H.; SHLOPAK, A. "Routing of supply vessels to petroleum installations". **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 37, n. 2, pp. 164–179, 2007.

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

ALBJERK, N. B.; DANIELSEN, T. K.; KREY, S. **Operational Planning and Disruption Management in Offshore Logistics**. M.Sc. dissertation. Norwegian University of Science and Technology Trondheim, Norway. June 2015.

ALMEIDA, M. R. de. "Algoritmos Genéticos Aplicados a Programação de Embarcações de Apoio às Operações Offshore. In: **XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, pp. 1015-1026, 2009.

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

Boletim de Produção de Petróleo e Gás Natural. Dezembro de 2016 Disponível em <www.anp.gov.br> Acessado em: 22/02/2017.

CIGOLINI, R. *et al.* "Using simulation to manage project supply chain in the offshore oil and gas industry". **Production Planning & Control**, v. 26, n. 3, pp. 1–11, 2014.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria & Aplicações**. 3 ed. São Paulo, Ed. do Autor, 2010.

FAGERHOLT, K.; HALVORSEN-WEARE, E. E. Robust Supply Vessel Planning. **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**. pp. 559–573, 2011.

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

FREITAS FILHO, P. J. de. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. 2 ed. Florianópolis, Visual Books, 2008.

HALVORSEN-WEARE, E. E. *et al.* "Optimal fleet composition and periodic routing of offshore supply vessels". **European Journal of Operational Research**, v. 223, n. 2, pp. 508–517, 2012.

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

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

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, pp.152-182, 2010.

LEITE, R. P. **Maritime transport of deck cargo to Petrobras fields in Campos Basin : an empirical analysis , identification and quantification of improvement points**. M.Sc. Dissertation. Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. November 2012.

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

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

NORLUND, E. K.; GRIBKOVSKAIA, I.; LAPORTE, G. "Supply vessel planning under cost, environment and robustness considerations". **Omega**, v. 57, pp. 271–281, 2015.

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, pp. 341–349, 2014.

ROBINSON, S. "Conceptual modelling for simulation part I: definition and requirements". **Journal of the Operational Research Society**, v. 59, p. 278–290, 2008a.

ROBINSON, S. "Conceptual modelling for simulation Part II: a framework for conceptual modelling". **Journal of the Operational Research Society**, v. 59, pp. 291–304, 2008b.

SEIXAS, M. P.; MENDES, A. B.; PEREIRA BARRETTO, M. R.; da CUNHA, C. B.; BRINATI, M. A.; CRUZ, R. E.; WU, Y; WILSON, P. A. "A heuristic approach to stowing general cargo into platform supply vessels". **Journal of the Operational Research Society**, v. 67, n. 1, pp. 148–158, 2016.

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, pp. 195–204, 2012.

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, pp. 230–240, 2010.

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

SOPOT, E.; GRIBKOVSKAIA, I. "Routing of supply vessels to with deliveries and pickups of multiple commodities". **Procedia Computer Science**, v. 31, pp. 910–917, 2014.