



## ALOCAÇÃO ÓTIMA DA FROTA DE HELICÓPTEROS E AEROPORTOS PARA TRANSPORTAR PASSAGEIROS PARA UNIDADES MARÍTIMAS OFFSHORE

Hugo Lustosa Pereira

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

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Rio de Janeiro  
Agosto de 2022

ALOCAÇÃO ÓTIMA DA FROTA DE HELICÓPTEROS E AEROPORTOS PARA  
TRANSPORTAR PASSAGEIROS PARA UNIDADES MARÍTIMAS OFFSHORE

Hugo Lustosa Pereira

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

Examinada por:

---

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

---

Prof. Elton Fernandes, D.Sc.

---

Prof. Glaydston Mattos Ribeiro, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2022

Pereira, Hugo Lustosa

Alocação ótima da frota de helicópteros e aeroportos para transportar passageiros para unidades marítimas offshore / Hugo Lustosa Pereira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2022.

XII, 96 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho.

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2022.

Referências Bibliográficas: p. 90-94.

1. Otimização. 2. Logística Offshore. 3. Helicópteros. I. Ferreira Filho, Virgílio José Martins. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente à minha família pela compreensão e apoio que serviram de ponto de refúgio e acolhida na árdua, e ao mesmo tempo enriquecedora, conjunção Trabalho-Academia.

Ato contínuo agradeço aos colegas da PETROBRAS sempre dispostos a compartilhar o conhecimento adquirido ao longo de anos na atividade, do meu orientador Virgílio e demais colegas da COPPE/UFRJ que cada um, à sua maneira, participou e ainda participa da construção e desenvolvimento do conhecimento da operação aérea offshore.

De suma importância também a contribuição dos colegas da INFRAERO que auxiliaram de sobremaneira a entender as particularidades do dia a dia da operação para manter um sistema tão complexo que é a infraestrutura aeroportuária, com foco na segurança das pessoas, instalações e meio ambiente.

Agradeço também as empresas de operação aérea *offshore* que se mostraram parceiras e não hesitaram em compartilhar um conhecimento tão vasto e importante para disseminação da cultura de segurança e detalhes técnicos relevantes na operação/manutenção dessas maravilhosas máquinas voadoras.

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

## ALOCAÇÃO ÓTIMA DA FROTA DE HELICÓPTEROS E AEROPORTOS PARA TRANSPORTAR PASSAGEIROS PARA UNIDADES MARÍTIMAS OFFSHORE

Hugo Lustosa Pereira

Agosto/2022

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Programa: Engenharia de Produção

A escolha e distribuição do mix ideal de frota de helicópteros para atender a operação aérea offshore é um importante problema logístico que tem potencial para reduzir custos na indústria de óleo e gás. A variabilidade de modelos e tamanhos de helicópteros, bem como as possíveis restrições operacionais das bases aeroportuárias e do espaço aéreo, exigem a aplicação de técnicas numéricas adequadas de Pesquisa Operacional. Neste contexto, este trabalho desenvolve um modelo para determinar as trajetórias e distâncias percorridas entre bases aeroportuárias e unidades marítimas offshore e vice-versa, através de um espaço aéreo modelado por um grafo direcionado. Desenvolve ainda um modelo de desempenho de helicópteros para obter a carga útil e os tempos de voo para cada missão e, por último, um modelo de programação linear inteira para alocar uma combinação ideal de frota e aeroporto para transporte de passageiros através do uso de diferentes tamanhos de helicópteros. O modelo foi aplicado às unidades offshore que operam na bacia de Santos dada à sua importância estratégica. Os resultados obtidos incluíram um mapa de regiões preferenciais para dois tamanhos diferentes de helicópteros (grande e médio), tabelas de voos semanais, a alocação de helicópteros e aeroportos para diferentes cenários de demanda, o impacto dos preços dos combustíveis nas diferentes bases aeroportuárias, bem como apresenta uma discussão de possível concentração dos movimentos nas rotas aéreas analisadas. O modelo aplicado mostra variação no custo operacional da ordem das dezenas de milhões de reais anuais, a depender do cenário.

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

OPTIMUM ALLOCATION OF HELICOPTER FLEET AND AIRPORTS TO  
TRANSPORT PASSENGERS TO OFFSHORE MARITIME UNITS

Hugo Lustosa Pereira

August/2022

Advisor: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Department: Production Engineering

Choosing and distributing the ideal helicopter fleet mix to meet the needs of offshore air operations is an important logistics problem that has the potential to reduce costs in the oil and gas industry. The variability of helicopter models and sizes, as well as the possible operational restrictions of airport bases and airspace, require the application of adequate numerical techniques of Operational Research. In this context, this work develops a model to determine the trajectories and distances traveled between airport bases and offshore maritime units and vice-versa, through an airspace modeled by a directed graph. It also develops a helicopter performance model to obtain the payload and flight times for each mission and, finally, an integer linear programming model to allocate an optimal fleet and airport combination for passenger transport using different helicopter sizes. The model was applied to offshore units operating in the Santos basin given its strategic importance. The results included a map of preferred regions for two different sizes of helicopters (large and medium), weekly flight schedules, the allocation of helicopters and airports for different demand scenarios, the impact of fuel prices on different airport bases as well as presents a discussion of possible concentration of movements in the analyzed air routes. The applied model shows a variation in the operational cost of the order of tens of millions of reais per year, depending on the scenario.

# Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Justificativa e motivação do tema.....	3
1.2 Objetivos geral e específicos .....	7
1.3 Estrutura da dissertação .....	8
<b>2. Conceitos e Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>9</b>
2.1 Conceitos da operação logística aérea offshore.....	9
2.2 Revisão bibliográfica.....	19
<b>3. Definição do Problema.....</b>	<b>23</b>
3.1 Aeronaves empregadas em operações offshore.....	28
3.2 Aeroportos em operação .....	30
3.2.1 Aeroporto de Jacarepaguá.....	30
3.2.2 Aeroporto de Cabo Frio .....	32
<b>4. Metodologia.....</b>	<b>33</b>
4.1 Modelagem do espaço aéreo .....	33
4.2 Modelo de desempenho de helicóptero .....	37
4.3 Modelo de Alocação de Mix de Voo (MAMV) .....	41
4.3.1 Restrições nos helidecks .....	43
4.4 Dimensionamento da frota em cada aeroporto .....	45
4.5 Metodologia para elaboração de tabelas de voos semanais.....	49
4.6 Indicadores de desempenho.....	51
<b>5. Experimentações e Resultados .....</b>	<b>57</b>
5.1 Estudo de caso .....	57
5.2 Dados de entrada .....	59
5.3 Parametrização dos tempos de voos e <i>payloads</i> das missões.....	63
5.4 Definições dos cenários e valores dos parâmetros .....	65
5.5 Resultados das alocações ótimas .....	67
5.5.1 Cenário 1 (SBJR, SBMI e SBCB) .....	69
5.5.2 Cenário 2 (SBJR e SBCB) .....	71
5.5.3 Cenário 3 (SBJR e SBMI) .....	73
5.5.4 Cenário 4 (SBMI e SBCB) .....	75
5.5.5 Cenário 5 (SBJR e SBME) .....	77
5.6 Sensibilidade ao preço do combustível .....	80
5.7 Impacto da AIC 27/21 (uso das rotas ATS) .....	83
<b>6. Conclusões.....</b>	<b>88</b>
6.1 Trabalhos futuros.....	89
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>90</b>
<b>Apêndice 1 – Exemplo de tabela de voo semanal: Cen 1 - SBJR .....</b>	<b>95</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> Mapa de parte da bacia de Santos .....	4
<b>Figura 2</b> Comparação da produção de petróleo e gás natural.....	5
<b>Figura 3</b> Novas unidades de produção período 2022 a 2026.....	6
<b>Figura 4</b> Distribuição percentual de operação das bases aeroportuárias .....	7
<b>Figura 5</b> Número de fatalidades e taxa e acidentes fatais [2005 a 2014] .....	14
<b>Figura 6</b> Causas de acidentes fatais na indústria de óleo e gás no mundo .....	15
<b>Figura 7</b> Taxas de acidentes com aeronave .....	16
<b>Figura 8</b> Taxas de acidentes fatais com helicóptero na indústria de óleo e gás .....	16
<b>Figura 9</b> Acidentes com todos os tipos de helicópteros no Brasil.....	17
<b>Figura 10</b> Transporte aéreo offshore em parque eólico e plataforma de petróleo.....	19
<b>Figura 11</b> Modelo operacional proposto (pendular).....	25
<b>Figura 12</b> Exemplo de modelo operacional com roteirização não pendular .....	26
<b>Figura 13</b> Roteirização com duas unidades marítimas próximas .....	28
<b>Figura 14</b> Tipos de helicópteros. ....	30
<b>Figura 15</b> Carta de aproximação visual de SBJR .....	31
<b>Figura 16</b> Carta de aproximação visual de SBCB .....	32
<b>Figura 17</b> Espaço aéreo modelado por grafo .....	34
<b>Figura 18</b> Detalhe quadrículas - bacia de Santos .....	35
<b>Figura 19</b> Arestas de través na bacia de Campos .....	36
<b>Figura 20</b> Modelo operacional proposto detalhado .....	38
<b>Figura 21</b> Perfis de voos da aeronave grande porte (dia 19/04/2022).....	38
<b>Figura 22</b> Perfis de voos da aeronave médio porte (dia 19/04/2022).....	39
<b>Figura 23</b> Esquema de cronograma de atendimento diário .....	46
<b>Figura 24</b> NS52 (esquerda) e FCSV (direita com turret na proa).....	55
<b>Figura 25</b> Exemplo de roteiro SBJR → FPSO P-66 → SBJR .....	59
<b>Figura 26</b> Mapa de calor das unidades marítimas – demanda de pax .....	62
<b>Figura 27</b> Cenário 1: Mapa com localização ótima das unidades marítimas .....	70
<b>Figura 28</b> Cenário 2: Mapa com localização ótima das unidades marítimas .....	72
<b>Figura 29</b> Cenário 3: Mapa com localização ótima das unidades marítimas .....	74
<b>Figura 30</b> Cenário 4: Mapa com localização ótima das unidades marítimas .....	76
<b>Figura 31</b> Cenário 5: Mapa com localização ótima das unidades marítimas .....	78
<b>Figura 32</b> Clusterização proposta .....	80
<b>Figura 33</b> Análise de sensibilidade ao preço do combustível - redução de 10% em cada base independente.....	81
<b>Figura 34</b> Análise de sensibilidade ao preço do combustível - redução de 20% em cada base independente.....	82



## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Tipos de problemas de localização .....	11
<b>Tabela 2:</b> Operação de helicóptero offshore no mundo por região no ano de 2016.....	13
<b>Tabela 3:</b> Acidentes aéreos em operações offshore no Brasil (2008 – junho 2022).....	18
<b>Tabela 4:</b> Parâmetros e variáveis do modelo de desempenho .....	40
<b>Tabela 5:</b> Conjuntos, parâmetros e variáveis MAMV .....	41
<b>Tabela 6:</b> Limite de movimentos das unidades marítimas .....	44
<b>Tabela 7:</b> Indicadores de transferências 2019.....	54
<b>Tabela 8:</b> Ranking das unidades marítimas por índices de transferência .....	55
<b>Tabela 9:</b> Tipos de unidades marítimas consideradas na área de estudo.....	58
<b>Tabela 10:</b> Estimativa de demanda de passageiros (embarques semanais) .....	60
<b>Tabela 11:</b> Unidades marítimas consideradas.....	61
<b>Tabela 12:</b> Localização e restrições dos aeródromos .....	62
<b>Tabela 13:</b> Cenários analisados .....	66
<b>Tabela 14:</b> Valores dos parâmetros das aeronaves adotados .....	67
<b>Tabela 15:</b> Resultado das capacidades de embarque de pax.....	68
<b>Tabela 16:</b> Comparação dos Cenários .....	79
<b>Tabela 17:</b> Análise de sensibilidade ao preço do combustível.....	82
<b>Tabela 18:</b> Comparação das missões: Rotas ATS AIC 27/21 e Rotas Diretas.....	83
<b>Tabela 19:</b> Concentração de movimentos nos waypoints.....	85

## Lista de Gráficos

<b>Gráfico 1:</b> Nascer e pôr do sol em SBJR.....	48
<b>Gráfico 2:</b> Distribuição de transferências em Jacarepaguá e Cabo Frio em 2019.....	52
<b>Gráfico 3:</b> Distribuição de transferências em Jacarepaguá e Cabo Frio em 2019 (eixo ordenado logarítmico).....	53
<b>Gráfico 4:</b> Parametrizações (a) payload, (b) tempo de voo .....	63
<b>Gráfico 5:</b> Região preferencial com MP de MTW = 6.800 kg.....	64
<b>Gráfico 6:</b> Região preferencial com MP de MTW = 7.000 kg.....	65
<b>Gráfico 7:</b> Cenário 1 – Distribuição ótima por base (a) frota, (b) voos, (c) horas voadas, (d) assentos embarque .....	69
<b>Gráfico 8:</b> Cenário 1 – Distribuição ótima por unidade marítima.....	70
<b>Gráfico 9:</b> Cenário 2 – Distribuição ótima por base (a) frota, (b) voos, (c) horas voadas, (d) assentos embarque .....	71
<b>Gráfico 10:</b> Cenário 2 – Distribuição ótima por unidade marítima.....	72
<b>Gráfico 11:</b> Cenário 3 – Distribuição ótima por base (a) frota, (b) voos, (c) horas voadas, (d) assentos embarque .....	73
<b>Gráfico 12:</b> Cenário 3 – Distribuição ótima por unidade marítima.....	74
<b>Gráfico 13:</b> Cenário 4 – Distribuição ótima por base (a) frota, (b) voos, (c) horas voadas, (d) assentos embarque .....	75
<b>Gráfico 14:</b> Cenário 4 – Distribuição ótima por unidade marítima.....	76
<b>Gráfico 15:</b> Cenário 5 – Distribuição ótima por base (a) frota, (b) voos, (c) horas voadas, (d) assentos embarque .....	77
<b>Gráfico 16:</b> Cenário 5 – Distribuição ótima por unidade marítima.....	78

## Lista de Abreviaturas e Siglas

AERO	Aeroporto
AIC	Circular de Informação Aeronáutica
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BC	Bacia de Campos
BS	Bacia de Santos
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
COMB	Combustível
DECEA	Departamento de Controle de Controle do Espaço Aéreo
Disp	Disponibilidade
DSV	Diving Support Vessel
E&P	Exploração e Produção
Rf	Fator de Recuperação
FPSO	Floating Production Storage and Offloading
GP	Grande Porte
ICA	Instrução do Comando da Aeronáutica
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFR	Instrument Flight Rules
IOGP (OGP)	International Association of Oil & Gas Producers
kg	Quilograma
km	Quilometro
kt	Nós (velocidade)
Lat	Latitude
lb	Libras
Long	Longitude
MD	Ministério da Defesa
min	Minutos
MAMV	Modelo de Alocação de Mix de Voo
MN	Milhas Náuticas
MP	Médio Porte

MTB	Ministério do Trabalho
MTW	Peso Máximo de Decolagem
NORMAM	Normas da Autoridade Marítima
NR	Norma Regulamentadora
NS	Navio Sonda
OBW	Peso Básico Operacional
O&G	Óleo e Gás
PAX	Passageiro (s)
PLSV	Pipe Laying Support Vessel
PPLI	Problema de Programação Linear Inteira
QAV	Querosene de Aviação
RBAC	Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil
SAR	Search And Rescue
SBCB	Aeroporto de Cabo Frio
SBJR	Aeroporto de Jacarepaguá
SBME	Aeroporto de Macaé
SBMI	Aeroporto de Maricá
SS	Sonda Semi-Submersível
TLD	Teste de Longa Duração
UM	Unidade Marítima
VFR	Visual Flight Rules

# 1. Introdução

A exploração de petróleo e gás começou com operações em terra (*onshore*). No entanto, com a crescente demanda por combustíveis e o esgotamento das reservas terrestres, explorar as bacias offshore tornou-se fundamental na indústria de petróleo e gás.

A operação offshore traz diversos desafios logísticos, como o abastecimento de cargas gerais, diesel e água para unidades marítimas e o transporte de trabalhadores de e para as instalações marítimas. O transporte de trabalhadores de e para as unidades marítimas é realizado por dois modos: embarcações e helicópteros. Este trabalho aborda este último.

Os recursos envolvidos na atividade aérea offshore são helicópteros, bases aeroportuárias em terra, helipontos a bordo das unidades marítimas e o espaço aéreo entre bases e instalações. As características físicas dos helipontos (tamanho, resistência do piso) também são importantes para a definição/restrições de quais aeronaves serão atribuídas a cada viagem.

Assim, este trabalho está voltado para os três recursos mais importantes nas operações aéreas: helicópteros, bases aeroportuárias e espaço aéreo bem como suas interações, a fim de minimizar os custos de transporte dos trabalhadores para as unidades marítimas.

A atribuição de um helicóptero deve considerar as capacidades e características das bases aeroportuárias e o desenho do espaço aéreo para suprir a demanda. Embora um critério simplista possa apontar para a utilização de um helicóptero mais barato considerando uma única viagem, a estrutura de manutenção no aeroporto escolhido pode não ser suficiente, ou mesmo o número de voos a serem controlados no espaço aéreo pode ser incompatível com a capacidade de controle local, por exemplo.

Da mesma forma, a atribuição do aeroporto mais próximo, apesar de parecer intuitivamente correta, pode não considerar outros fatores importantes, como os diferentes custos de combustível nos aeroportos ou conflitos de sobrecarga da rota aérea. As regras locais de tráfego aéreo impõem restrições que precisam ser consideradas. A menor distância geográfica entre aeroporto e unidade marítima não pode ser viável de acordo com as regras de tráfego aéreo local.

Para lidar com todas essas particularidades que envolvem o problema do transporte de pessoas por helicópteros a serviço das unidades de exploração e produção de petróleo offshore, foi desenvolvido um ambiente baseado em três modelos: o primeiro serve para modelar o espaço aéreo, o segundo para calcular o desempenho de helicópteros em diferentes condições de carga e distância e o último visa construir uma tabela de alocação de ‘helicóptero’ x ‘aeroporto’ x ‘unidade marítima’ para atender a demanda desta última.

O primeiro modelo determina a rota mais curta do espaço aéreo como um grafo ponderado direcionado, onde os aeroportos, unidades marítimas e pontos extremos dos segmentos retos das rotas dos Serviços de Tráfego Aéreo (ATS) foram modelados como vértices do grafo e os segmentos retos como arestas direcionadas do mesmo grafo. O peso do grafo é a extensão de cada aresta, calculada usando as coordenadas geográficas de seus vértices. As rotas ATS são rotas específicas que conduzem o fluxo de tráfego aéreo de acordo com a prestação de Serviços de Tráfego Aéreo.

O segundo modelo desenvolve um modelo de cálculo de desempenho do helicóptero para obter a carga útil estimada (soma de passageiros, bagagens e cargas que podem ser transportadas na aeronave em um determinado voo), consumo de combustível e duração do voo para cada viagem.

Por fim, é proposto um modelo de programação linear inteira para alocar um aeroporto a uma unidade marítima e selecionar o tipo de aeronave necessária para minimizar os custos logísticos.

Com este *framework* se consegue atingir os principais objetivos do estudo, que são: (i) definir um mapa de regiões preferenciais para diferentes tamanhos de helicópteros; (ii) construir tabelas de voos semanais mostrando a alocação de helicópteros e aeroporto para diferentes cenários de demanda; (iii) analisar o impacto do preço do combustível nas bases na atribuição de aeroporto e unidade, e (iv) analisar a concentração de movimentos no espaço aéreo.

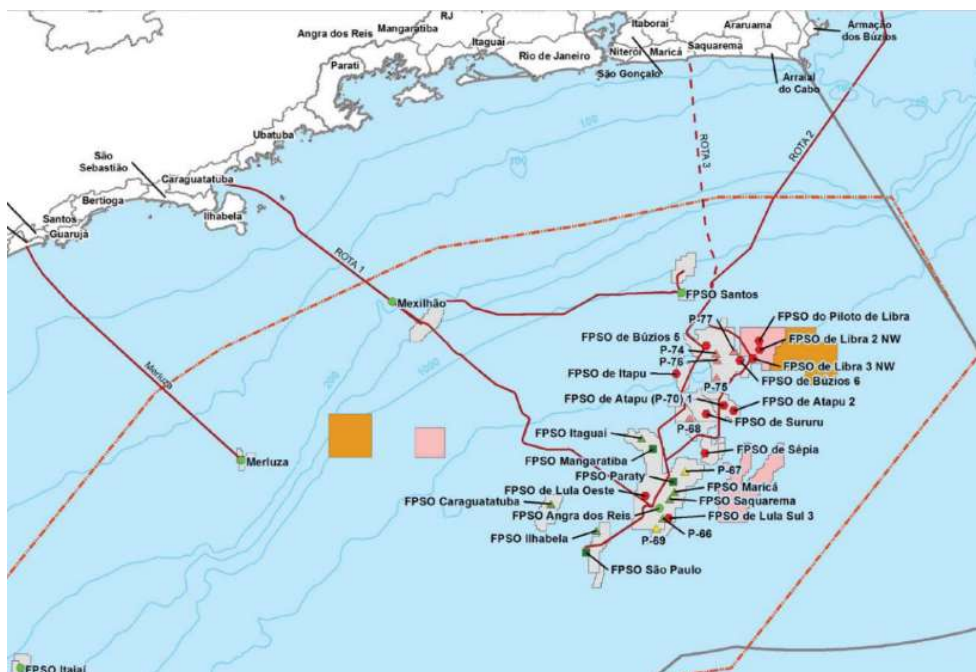
Com isso, este trabalho contribui no desenvolvimento de metodologia de cálculo de desempenho do helicóptero alinhada com um método de cálculo da distância a ser percorrida pela aeronave em um espaço aéreo com regras de tráfego bem definidas e então alocar voos para aeroportos de forma otimizada, para fins de planejamento do tomador de serviço de transporte aéreo offshore.

Contribui também na apresentação gráfica e ágil dos parâmetros iniciais para a escolha do tipo de frota (média ou grande) a ser utilizada em função da distância da unidade marítima ao aeroporto para auxiliar nas etapas de planejamento das operações logísticas offshore.

Apenas duas regiões do espaço aéreo brasileiro possuem regras de tráfego específicas para helicópteros em ambiente offshore, a saber: a bacia de Campos e mais recentemente a bacia de Santos, com regras diferentes. Em relação à modelagem desse tipo de espaço aéreo, por meio de técnicas de teoria dos grafos, não há literatura conhecida já que o tema é relativamente novo, portanto, este trabalho humildemente preenche essa lacuna ao ser aplicado diretamente na bacia de Santos.

## **1.1 Justificativa e motivação do tema**

Segundo a PETROBRAS (2018), a bacia de Santos, apresentada na **Figura 1**, é a maior bacia sedimentar offshore do país, com uma área total de mais de 350 mil km<sup>2</sup> e que se estende da região de Cabo Frio/RJ a região de Florianópolis/SC. Os primeiros investimentos em estudos referentes à exploração e produção nesta bacia são dos anos 1970. A operação no Pré-sal da bacia de Santos começou em 1º de maio de 2009, por meio de um Teste de Longa Duração (TLD) realizado pelo FPSO BW Cidade de São Vicente na área de Tupi, um ano mais tarde deu-se início o Sistema de Produção Definitiva, realizado por meio do FPSO Cidade de Angra dos Reis, instalado a cerca de 280 km da costa e em águas com profundidade de 2.200 m.



**Figura 1** Mapa de parte da bacia de Santos

**Fonte:** Adaptado da Figura 7 do RIMA (Relatório de Impacto Ambiental da bacia de Santos), PETROBRAS (2018)

Segundo dados do Painel Dinâmico de Produção de Petróleo e Gás Natural da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP (2022), em maio de 2022, a bacia de Santos era responsável por cerca de 2,8 milhões de barris de óleo equivalente, o que representava cerca de 75% da produção brasileira de petróleo e de gás natural, conforme pode ser verificado na **Figura 2**.

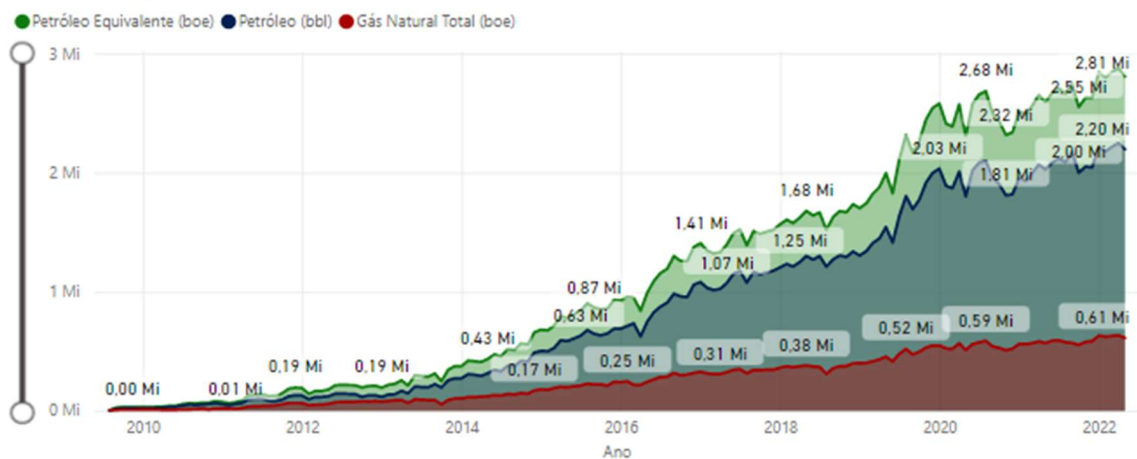
Em junho de 2016 a produção na bacia de Santos ultrapassou a barreira de 1 milhão de barris de óleo equivalente, apenas 7 anos após o 1º óleo, e alcançou o segundo milhão de barris de óleo equivalente em julho de 2019, pouco mais de 3 anos após a produção do 1º milhão. Quando comparando com a bacia de Campos, iniciada a produção em agosto de 1977, que alcançou o 1º milhão de barris de óleo equivalente em dezembro de 1999 e o 2º milhão em dezembro de 2010, cerca de 22 e 11 anos respectivamente, demonstra que além da magnitude da produção da bacia de Santos, a velocidade de produção também é considerável.



**Petróleo Equivalente (a) produção de todas as bacias (exceto bacia de Santos)**



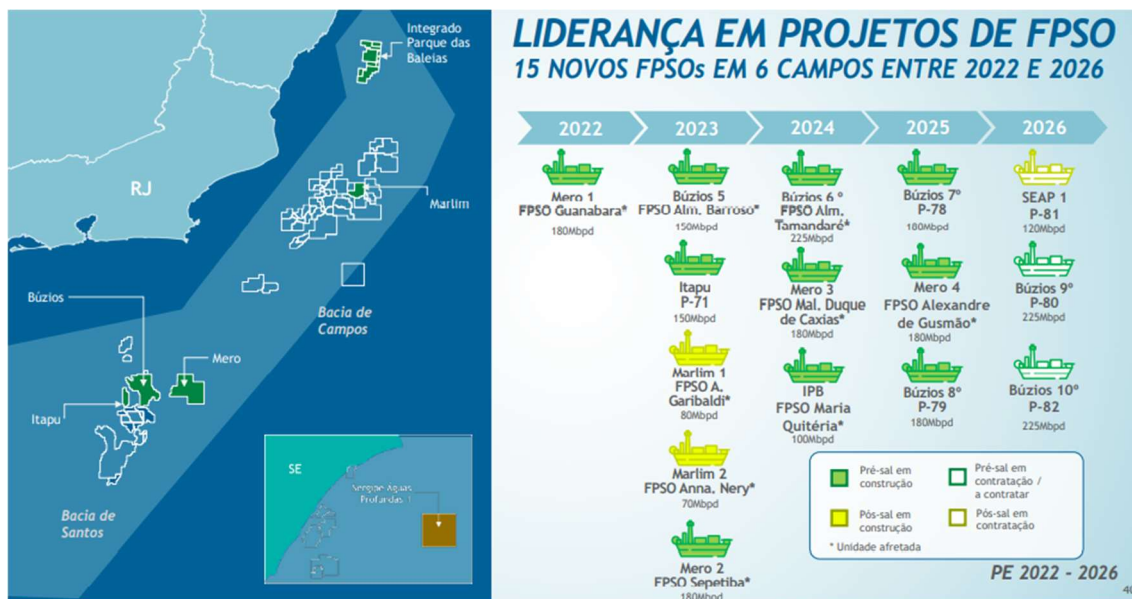
**Petróleo Equivalente (b) produção da bacia de Santos**



**Figura 2** Comparação da produção de petróleo e gás natural

Fonte: Adaptado de ANP (2022)

Por ter majoritariamente a operação do Pré-sal brasileiro, a bacia de Santos é atualmente a região que concentra a maior parte dos projetos de investimentos da Petrobras. No Plano de Negócios de Gestão da Companhia, para período de 2020 a 2024, a Petrobras destacou cerca de 59% dos seus investimentos em Exploração e Produção para a área do Pré-sal. Na **Figura 3** é apresentada a previsão de entrada de novos sistemas de produção entre os anos de 2022 e 2026. Dos 15 sistemas previstos neste período, 12 estão na bacia de Santos.



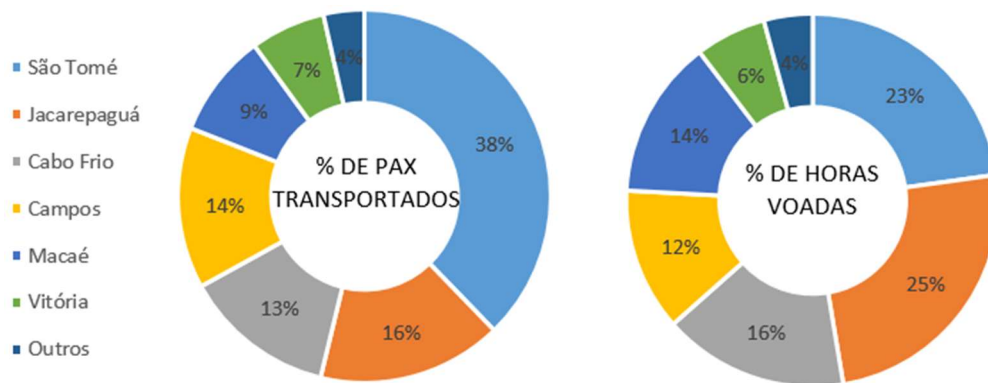
**Figura 3** Novas unidades de produção período 2022 a 2026

Fonte: Adaptado de PETROBRAS (2022)

Para atendimento à logística aérea de passageiros e pequenas cargas para as unidades marítimas que executam atividades relacionadas à indústria de óleo e gás, as operadoras usaram, em 2019, preferencialmente, os aeroportos de Cabo Frio e Jacarepaguá no estado de Rio de Janeiro.

A Petrobras, como a maior operadora de blocos de Exploração e Produção na bacia de Santos, transportou em 2019, cerca de 260 mil passageiros pelos aeroportos de Jacarepaguá e Cabo Frio, o que equivaleu a cerca de 29% de todo transporte aéreo da Petrobras no período.

Já com relação ao número de horas voadas, estes dois principais aeroportos realizaram um total de quase 26 mil horas voadas no ano de 2019, o que equivaleu a cerca de 41% de toda a operação da Petrobras. A **Figura 4** apresenta a distribuição percentual das bases de operação aérea offshore da Petrobras no Brasil no ano de 2019, o que mostra que as bases que atendem a bacia de Santos (Jacarepaguá e Cabo Frio) representam fatia considerável da demanda de transporte de passageiros offshore, porém ainda não tão significativo quando se compara com a produção total de petróleo e gás, notadamente pela maior produtividade das unidades marítimas em operação na bacia de Santos.



**Figura 4** Distribuição percentual de operação das bases aeroportuárias

**Fonte:** Compilação de dados PETROBRAS (2020)

Uma maior distância média das bases aeroportuárias para as unidades marítimas na bacia de Santos (cerca de 130 milhas náuticas) explica essa maior participação relativa das horas voadas em relação à quantidade total de passageiros transportados.

Com o desenvolvimento dos projetos de produção atuais, os novos projetos das áreas já licitadas e os a licitar nos próximos anos, espera-se um aumento da atividade dos atuais operadores bem como a possível entrada de novos *players* no mercado. Todos estes atores demandarão transporte aéreo de pessoas para suas equipes embarcadas, aumentando a utilização das infraestruturas aeroportuárias existentes com vocação à atividade offshore na região.

Com este cenário, faz-se necessário que as operações aéreas offshore sejam otimizadas e devidamente alocadas de forma mais eficiente, a fim de minimizar os possíveis impactos nessas infraestruturas e manter o nível de segurança em um patamar adequado.

## 1.2 Objetivos geral e específicos

O objetivo geral desta dissertação consiste em desenvolver e aprimorar ferramentas de planejamento de logística aérea offshore por helicópteros, contribuindo desta forma com a economicidade e segurança de voo da operação aérea.

Já os objetivos específicos estão descritos a seguir:

- Definir um mapa de regiões preferenciais para diferentes tamanhos de helicópteros;

- Construir tabelas de voos semanais mostrando a alocação de helicópteros e aeroporto para diferentes cenários de demanda;
- Analisar o impacto do preço do combustível nas bases na atribuição de aeroporto e unidade; e
- Analisar a concentração de movimentos no espaço aéreo.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

Esta dissertação divide-se em seis capítulos: 1. Introdução; 2. Revisão bibliográfica; 3. Definição do problema; 4. Metodologia; 5. Experimentações e Resultados e 6. Conclusões. Finalmente, as referências bibliográficas e o Apêndice 1 são apresentados no final do trabalho.

No primeiro capítulo, introdução, o tema foi apresentado, além de justificativas para a sua escolha e objetivos.

No segundo capítulo é realizada uma análise sobre o material bibliográfico referente ao tema, focando nos problemas de localização de facilidades, logística aérea offshore, bem como são discutidos os critérios para a escolha do serviço de transporte sob os aspectos de segurança operacional no transporte de passageiros em ambiente offshore.

No terceiro capítulo o problema é apresentado, descrevendo a área geográfica estudada, a caracterização das bases aeroportuárias consideradas, bem como os modelos de helicópteros empregados na operação.

No quarto capítulo, a metodologia para resolução do problema é apresentada, demonstrando os modelos de cálculo propostos para performance dos helicópteros e o modelo de definição de mix de aeronaves e alocação de atendimentos.

No quinto capítulo, a experimentação é apresentada, mostrando os dados de entrada e os cenários utilizados bem como são apresentados os resultados, e por último, o sexto capítulo exhibe as conclusões e apresenta propostas de trabalhos futuros.

## 2. Conceitos e Revisão Bibliográfica

O presente capítulo apresenta uma discussão de alguns conceitos da atividade aérea offshore e uma análise sobre o material bibliográfico com foco nas decisões logísticas offshore, discutindo os possíveis tipos de problemas de localização que mais se adequem ao modelo proposto, tudo isso concatenado as questões de segurança operacional aplicados a indústria de Óleo e Gás.

### 2.1 Conceitos da operação logística aérea offshore

A Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho NR 37 SEGURANÇA E SAÚDE EM PLATAFORMAS DE PETRÓLEO, MTB (2018), em seu item 37.13 define os meios possíveis de acesso à Plataforma da seguinte maneira:

*“37.13 Meios de Acesso à Plataforma*

*37.13.1 Os deslocamentos dos trabalhadores entre o continente e a plataforma ou entre plataformas não interligadas, e vice-versa, devem ser realizados por meio de helicópteros.*

*37.13.1.1 As aeronaves, os heliportos e os procedimentos de transporte aéreo devem obedecer aos requisitos de segurança exigidos pelas autoridades competentes.*

*37.13.1.2 É permitido o transporte dos trabalhadores por meio de embarcações, desde que:*

*a) sejam certificadas pela Autoridade Marítima;*

*b) a distância a ser percorrida entre o continente e a plataforma seja inferior ou igual a 35 milhas náuticas;*”

Desta forma, como todas as unidades marítimas estão a mais de 35 milhas náuticas da costa, os operadores de Óleo e Gás na área da bacia de Santos adotam o modo aéreo (helicópteros) para o embarque e desembarque dos seus trabalhadores, usando empresas de Táxi Aéreo autorizadas para este fim.

A Portaria do Ministério da Defesa N°190/GC-5, de 20 de março de 2001, define Táxi Aéreo no seu Art. 2º item X, da seguinte forma:

*“X - Táxi Aéreo – transporte aéreo público não-regular, executado mediante remuneração convencional entre o usuário e o transportador, visando a proporcionar atendimento imediato, independente de horário, percurso ou escala, compreendendo as seguintes operações:*

*a) transporte de passageiros;*

- b) transporte de cargas;*
- c) transporte de enfermos;*
- d) vôo panorâmico;*
- e) ligações sistemáticas;*
- f) lançamento de pára-quedista; e*
- g) transporte “on-shore” e “off-shore”.”*

Apesar do caráter regular e privado das atividades de transporte aéreo offshore (inclusive com definições de tabelas de voos regulares definidas pelo contratante) a legislação brasileira categoriza esta atividade no bojo do Táxi Aéreo.

Para ARENALES et al. (2011) a localização de facilidades é um aspecto crítico do planejamento estratégico tanto de empresas privadas quanto públicas. Segundo os autores, no setor público podem ser citados os problemas de localização de centros de saúde, escolas, estações de bombeiros e no setor privado pode-se citar os problemas de localização de fábricas, armazéns e centros de distribuição. Os autores classificam os problemas de localização de facilidades em sete tipos, conforme **Tabela 1**.

Pela classificação proposta, o problema trabalhado nessa dissertação poderia se enquadrar no Tipo 5 - Localização de facilidades com capacidade limitada, pois, as unidades marítimas serão atendidas considerando os aeroportos com suas capacidades operacionais limitadas em números de voos.

**Tabela 1:** Tipos de problemas de localização

<b>Tipo</b>	<b>Problema de localização</b>	<b>Minimiza</b>	<b>Restrições</b>
1	P-medianas	Soma das distâncias de clientes a facilidades	Todos clientes devem ser atendidos
2	P-centros	Distância máxima de clientes a facilidades	Todos clientes devem ser atendidos
3	P-medianas e p-centros com capacidade limitada	Soma das distâncias de clientes a facilidades ou Distância máxima de clientes a facilidades	Todos clientes devem ser atendidos. Associa-se uma capacidade $Q_i$ à facilidade no local $i$
4	Localização de facilidades com capacidade ilimitada	Custo fixo de implantação de facilidades e o custo variável de atendimento das demandas dos clientes	Todos clientes devem ser atendidos
5	Localização de facilidades com capacidade limitada	Custo fixo de implantação de facilidades e o custo variável de atendimento das demandas dos clientes	Todos clientes devem ser atendidos. Existência da capacidade $Q_i$ associada à facilidade no local $i$
6	Localização de facilidades com capacidade limitada e fonte única	Custo fixo de implantação de facilidades e o custo variável de atendimento das demandas dos clientes	Todos clientes devem ser atendidos. Existência da capacidade $Q_i$ associada à facilidade no local $i$ e um cliente deve ser atendido a partir de uma única instalação
7	Custo fixo em fluxo em redes	Custo total. Consiste em determinar quais arcos abrir e qual o fluxo em cada arco aberto	Todos clientes devem ser atendidos

**Fonte:** Adaptado de ARENALES et al. (2011)

Segundo SLACK et al. (2009) algumas operações podem prever e fazer provisões antecipadas, porque tem pedidos firmes dos consumidores, em outros casos apenas podem fazer previsões, muitas vezes baseados no histórico e usá-lo como um indicador aproximado do que o espera no futuro. Para o primeiro caso os autores classificam a demanda como dependente, ou seja, há uma forte correlação entre um determinado fator que induz a outro. Já no segundo caso, os autores classificam a demanda como independente, ou seja, não há uma única correlação dominante que induza a uma demanda secundária que se deseja prever.

Os autores ainda citam como exemplo de demanda dependente a previsão de necessidade de pneus em uma montadora de veículos. Como cada automóvel necessita de uma

quantidade fixa de um determinado tipo de pneu, facilmente a quantidade demandada deste insumo será prevista em função da quantidade planejada de produção dos veículos (ex.: 5 pneus tipo para cada veículo produzido). Já como exemplo de demanda independente, os autores citam o caso da revendedora individual de pneus no varejo, na qual não há uma única correlação direta possível que preveja com exatidão a sua própria previsão de vendas em um determinado período. A natureza da demanda independente impõe uma variável de risco mais acentuada do que a demanda dependente, na medida que as incertezas são maiores na demanda independente.

Para um adequado dimensionamento do sistema logístico de transporte aéreo offshore, a previsão de demanda das unidades marítimas, ou seja, a quantidade esperada de passageiros a ser transportados por cada plataforma deve ser avaliada com o devido cuidado. Os dados históricos das unidades existentes contribuem para o projeto da rede logística, contudo, estimar a demanda de novas unidades em lugares com exploração recente, pode ser uma tarefa não trivial em função das peculiaridades operacionais.

Na operação aérea offshore para atendimento às plataformas de petróleo, a previsão de demanda de passageiros pode ser considerada moderadamente dependente em função dos seguintes aspectos:

- Aspectos mais aderentes ao modelo de demanda dependente:
  - I. A quantidade de passageiros é dependente da quantidade e tipo de unidades marítimas presentes numa determinada área;
  - II. Os tipos de unidades marítimas podem ser classificados conforme o tipo de atividade que realiza e os dados históricos de necessidade de empregados embarcados possuem razoável precisão;
- Aspectos mais aderentes ao modelo de demanda independente:
  - III. Algumas atividades, principalmente as que utilizam sondas de perfuração/completação de poços, possuem uma variabilidade das durações dos serviços em função das incertezas inerentes ao tipo de reservatório a ser explorado (principalmente em áreas poucos exploradas) ou do tipo de intervenção nos poços, o que pode ocasionar uma necessidade maior ou menor de dias de utilização da



sonda. Com isso, a demanda por utilização dos recursos logísticos, dentre eles os helicópteros que transportam os empregados da unidade podem variar;

IV. Atraso ou antecipação de entrada em operação de projetos de Desenvolvimento da Produção devido a problemas na construção/entrega de plataformas ou mudanças de planejamento e oportunidades;

IV. Contingências operacionais que podem ocorrer durante a vida útil das unidades marítimas, tais como: paradas programadas preventivas e/ou corretivas, acidentes, greves, mau tempo, entre outros.

Um planejamento ótimo da rede logística aérea pode contribuir com a melhoria da segurança operacional na medida que reduz a exposição ao risco dos tripulantes e passageiros ao realizar alocações e usos de aeronaves mais eficientes para cada uma das unidades marítimas.

Segundo a International Association of Oil & Gas Producers - IOGP (2017), associação que congrega as empresas produtoras de Óleo e Gás, cerca de 4,5 milhões de pessoas foram transportados por helicópteros para/de as unidades marítimas em ambiente offshore.

Segundo ANAC (2013), cerca de 1 milhão de passageiros são transportados anualmente no Brasil. A **Tabela 2** apresenta os dados da operação offshore no mundo no ano de 2016.

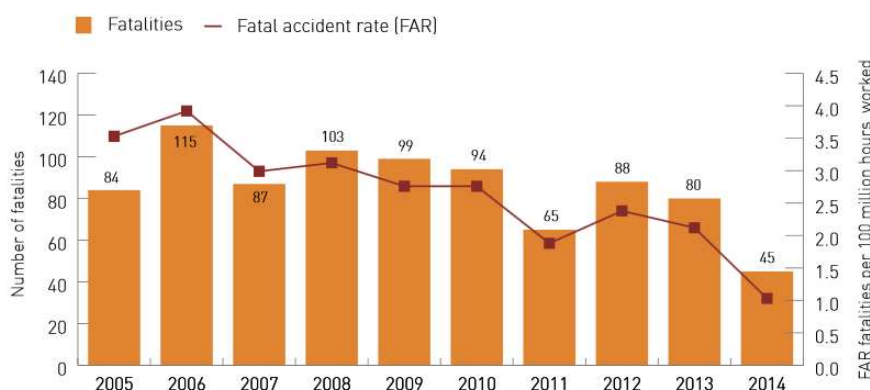
**Tabela 2:** Operação de helicóptero offshore no mundo por região no ano de 2016

<b>Região</b>	<b>Passageiros Transportados</b>	<b>Horas Voadas</b>	<b>Nº de voos</b>
África	770.671	59.723	173.780
Ásia / Australasia	1.014.039	96.209	161.981
Europa	936.493	71.697	94.825
Oriente Médio	122.512	11.643	11.448
América do Norte	463.406	54.273	75.861
Rússia & Ásia Central	30.748	2.372	3.809
América Central e do Sul	1.214.333 (27%)	115.293 (28%)	152.564 (23%)
<b>Total</b>	<b>4.552.202</b>	<b>411.210</b>	<b>674.268</b>

**Fonte:** Adaptado de IOGP (2017) Safety performance indicators – Aviation - 2013-2016 data

Atualmente, a principal preocupação da indústria de Óleo e Gás, quando se trata do transporte aéreo de pessoas, é com relação à segurança deste modo, por isso os esforços neste sentido são encontrados nas mais diversas frentes.

Tanto o número absoluto de fatalidades como a taxa de acidentes fatais têm diminuído na indústria de Óleo e Gás nos últimos anos, conforme mostra a **Figura 5** adaptada do Safety performance indicators da OGP (2015)<sup>1</sup>.



**Figura 5** Número de fatalidades e taxa e acidentes fatais [2005 a 2014]

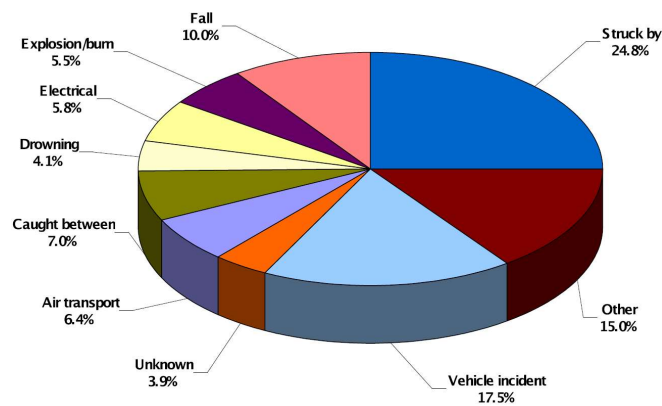
**Fonte:** Adaptado de OGP (2015) Safety performance indicators - 2014 data

Parte desse resultado pode ser atribuído a menor tolerância ao risco de acidentes que a própria indústria tem se autoimposta. Neste cenário, a IOGP tem trabalhado através de seu Safety Committee na formulação de requisitos mínimos de segurança, bem como na divulgação de boas práticas nas mais diversas áreas que afetam a indústria de Óleo e Gás.

Segundo o Report No. 434-12 Occupational risk IOGP (2010), 6,4% das fatalidades na indústria de Óleo & Gás ocorriam na atividade de transporte aéreo, conforme mostra a

**Figura 6.**

<sup>1</sup> Nota: Até o ano de 2015 a IOGP era chamada apenas de OGP. Neste trabalho as siglas IOGP e OGP referem-se à mesma instituição.



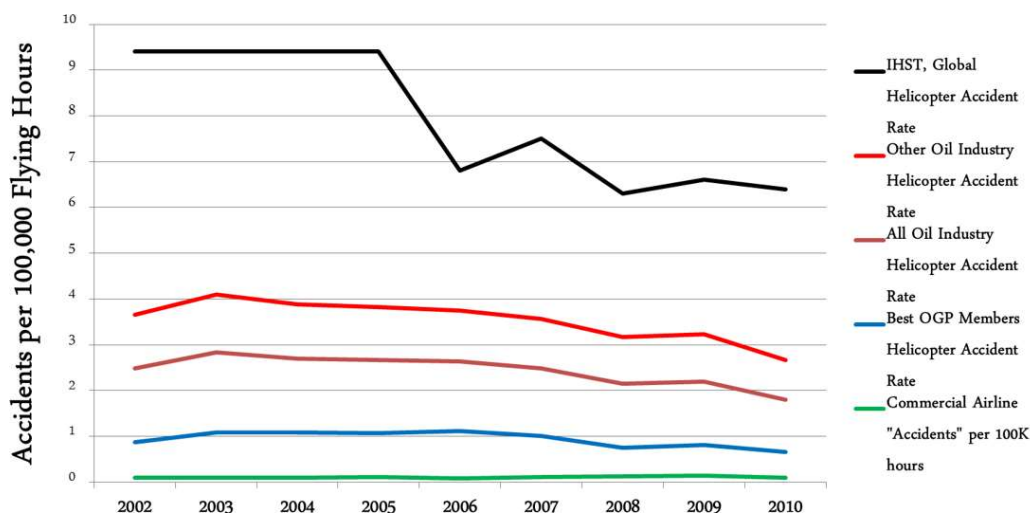
**Figura 6** Causas de acidentes fatais na indústria de óleo e gás no mundo

Fonte: Adaptado de IOGP Occupational risk, Report No 432-12

Este dado mostra que apesar dos avanços que este tipo de operação passou nos últimos anos, ainda é uma importante fonte de acidentes fatais no âmbito da indústria de Óleo e Gás, por isso a necessidade de constantes investimentos nas mais diversas frentes da atividade, desde especificações operacionais mais rígidas a utilização de aeronaves mais modernas.

Como parte do esforço para aumentar a segurança operacional das atividades de transporte aéreo, a IOGP edita o Aircraft management guidelines cuja finalidade é fornecer uma referência padronizada para a gestão da aviação no âmbito da indústria de Óleo e Gás, visando o aumento da segurança. Neste guia a IOGP define, entre outros, no Appendix 7 Recommended aircraft equipment fit, quais equipamentos mínimos, recomendados e opcionais que as aeronaves devem ter, a fim de garantir uma operação segura. As grandes empresas de Óleo e Gás adotam as recomendações contidas neste guia quando especificam as aeronaves que prestarão serviços a elas o que contribui para a melhoria dos indicadores de segurança do transporte aéreo.

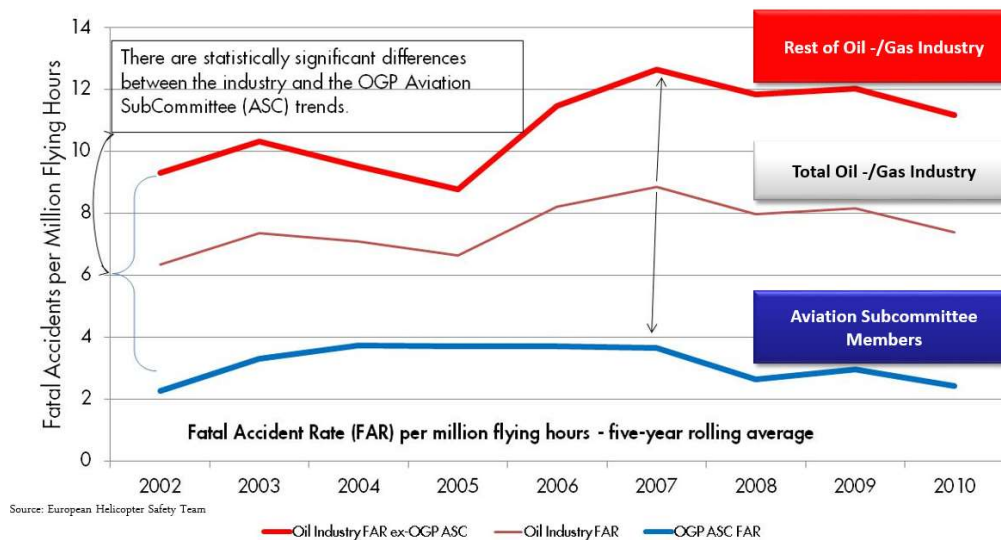
Como pode ser observado na **Figura 7**, as taxas de acidente com helicóptero das empresas membros da IOGP são claramente menores das demais, sendo comparáveis inclusive com as taxas de acidente das companhias aéreas de linhas comerciais regulares, no caso das principais empresas. Isto denota que o maior rigor e comprometimento dessas empresas no quesito de segurança de voo repercute em uma maior confiabilidade no processo de transporte aéreo, apesar das condições ambientais mais desfavoráveis em que atuam.



**Figura 7** Taxas de acidentes com aeronave

Fonte: Adaptado de IHST (2013)

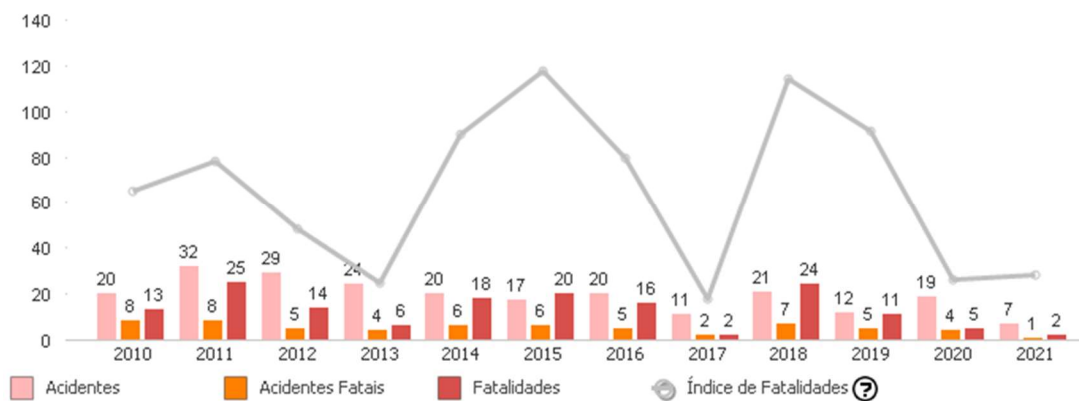
Também pode ser observado que a taxa de acidentes com vítimas fatais é menor nas empresas membro da IOGP quando comparada com as demais, conforme mostra a **Figura 8**.



**Figura 8** Taxas de acidentes fatais com helicóptero na indústria de óleo e gás

Fonte: Adaptado de IHST (2013)

Já no âmbito nacional, o Painel Sipaer do CENIPA (2021), atualizado até 20/06/2021, mostra que o número de acidentes com helicópteros no Brasil, no período entre 2011 e 2017, vinha caindo consistentemente desde 2011, porém o ano de 2018 foi marcado como o pior, desde 2011 na quantidade de acidentes com fatalidades, bem como no número absoluto de fatalidades, como pode-se verificar na **Figura 9**.



**Figura 9** Acidentes com todos os tipos de helicópteros no Brasil

**Fonte:** Adaptado de CENIPA (2021)

Mais precisamente no segmento offshore, ocorreram 11 acidentes aéreos no Brasil no período de 2008 até junho de 2022, com 10 fatalidades em 3 desses acidentes. A **Tabela 3** lista estas ocorrências.

Antes do acidente de 2022, o último acidente fatal no Brasil ocorreu em 2011, com isso a taxa de acidentes fatais por 1 milhão de horas voadas (considerando 5 anos de média móvel) estava zerada desde 2017.

Como pode ser observado nesta seção, a segurança na indústria de óleo e gás tem passado por constante aprimoramento e a operação aérea offshore segue no mesmo ritmo. Pode-se considerar que os constantes investimentos em segurança, que vai desde helicópteros mais modernos e seguros, melhor e constante qualificação das equipes envolvidas nas atividades (pilotos, mecânicos etc.) contribui para os bons resultados.

Mesmo que a aviação por helicóptero, de forma geral, tenha um nível de segurança menor que a da aviação comercial por aviões, por exemplo, os helicópteros offshore por estarem inseridos em uma indústria mais rígida em seus padrões de segurança tem conseguido resultados que podem ser comparáveis à aviação comercial. Este nível elevado de segurança ocorre nas operações offshore nos países de primeiro mundo (Golfo do México, Mar do Norte etc.), bem como na aviação offshore brasileira.

**Tabela 3:** Acidentes aéreos em operações offshore no Brasil (2008 – junho 2022)

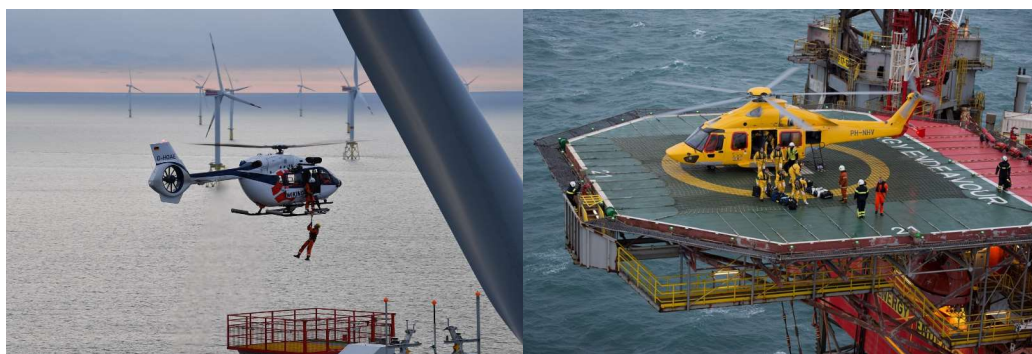
<b>Data</b>	<b>Matrícula</b>	<b>Modelo</b>	<b>Tipo de ocorrência</b>	<b>Local</b>	<b>POB / fatalidade</b>
26/02/2008	PP-MUM	AS332 L2	Desorientação espacial	Bacia Campos	5 fatal
27/12/2008	PR-IME	S-76A	Fogo em voo	SBME	9/sem fatal
19/08/2011	PR-SEK	AW139	Mau func. do motor / com rotor	Bacia Campos	4 fatal
06/06/2012	PR-OMV	EC225 LP	Perda de controle no solo	SBME	2/sem fatal
27/03/2013	PT-HUW	BELL412	Perda de controle em voo	Bacia Campos	3/sem fatal.
17/12/2014	PR-BGR	EC225 LP	Outros	Bacia Campos	3/sem fatal
28/04/2016	PR-EMR	S-76A	Mau func. do motor / superaquec.	Campos dos Goytacazes	11/sem fatal
01/03/2017	PR-MEY	S-76C	Pouso brusco	Bacia Campos	11/sem fatal
15/04/2017	PR-CHR	SK92	Colisão c/ obstáculo durante pouso	Bacia Santos	21/sem fatal
02/06/2021	PR-OTF	AW139	Colisão c/ obstáculo durante pouso	Bacia Santos	3/sem fatal
16/03/2022	PR-LTC	S-76C	Perda de controle em voo	Bacia Camamu	1 fatal

**Fonte:** Tabulado com dados do CENIPA (2022)

Manter estes resultados de segurança, aliados a eficiência operacional com rígido controle de custos é um desafio que a indústria de Óleo e Gás impõe a atividade de transporte de passageiros offshore. Uma das formas de se contribuir com o alcance destes objetivos é através de uma rede logística aérea otimizada, tanto na escolha dos helicópteros mais adequados a cada missão como quais aeroportos (facilidades) devem ser utilizados de maneira a minimizar a exposição ao risco das tripulações e passageiros, bem como tornar o tráfego aéreo organizado, sem cruzamentos de trajetórias por exemplo.

## 2.2 Revisão bibliográfica

Pode-se citar como exemplos de uso de helicópteros civis, no ambiente offshore, o transporte de equipes de manutenção de parques eólicos e, principalmente, a já consolidada atividade de embarque e desembarque de equipes residentes nas diversas atividades da indústria de óleo e gás, como apresentado na **Figura 10**.



**Figura 10** Transporte aéreo offshore em parque eólico e plataforma de petróleo

**Fonte:** Adaptado de AIRBUS (2018)

Nesta seção são apresentados os principais estudos encontrados na literatura que abordam especificamente a operação logística aérea offshore realizada por meio de helicópteros para atendimento as unidades marítimas inseridas no contexto da indústria de Óleo e Gás, principalmente relacionado aos tópicos: horários de voos, seleção/dimensionamento de frotas e segurança operacional. Estudos voltados para a organização e impactos das operações aéreas no espaço aéreo da aviação offshore são mais raros, mas de suma importância.

No contexto dos estudos de horários de voos, pode-se considerar que a utilização de técnicas de Pesquisa Operacional na indústria de transporte aéreo offshore por helicópteros para atender a indústria de óleo e gás começou com mais força em meados da década de 1990 através dos trabalhos de GALVÃO & GUIMARÃES (1990). Neste trabalho, um sistema informatizado foi projetado e implementado para apoiar as decisões de agendamento de voos na bacia de Campos, Brasil.

Posteriormente, MORENO et al. (2006) desenvolveram um algoritmo heurístico baseado em geração de colunas para o problema de planejamento de voos de helicóptero para atender solicitações de transporte entre aeroportos continentais e plataformas offshore para a mesma região, bacia de Campos, mas com um número muito maior de unidades

para serem atendidas. MENEZES et al. (2010) aprimoraram o modelo proposto por MORENO et al. (2006) e desenvolveram um software baseado no modelo de Programação Inteira Mista cujo objetivo era priorizar a frota que seria utilizada para atender uma determinada demanda de unidades marítimas. O modelo, portanto, se propôs a otimizar a alocação de aeronaves para atender a demanda. Segundo os autores, o programa foi utilizado para agendar operações diárias na bacia de Campos com ganhos significativos.

Para o dimensionamento da frota de helicópteros, ainda na bacia de Campos, ROCHA (2001) realizou um estudo de caso utilizando um modelo de dimensionamento da frota de helicópteros para atender unidades marítimas nesta região, baseado em um modelo proposto por ETEZADI & BEASLEY (1983). Segundo o autor, o modelo conseguiu apresentar um resultado próximo ao obtido pelo método empírico vigente à época.

Paralelamente, ALMEIDA (2002) propôs um modelo de seleção de helicópteros para a prestação de apoio logístico offshore, baseado no método AHP (Analytic Hierarchy Process). O objetivo seria escolher as melhores propostas comerciais no âmbito de uma licitação da Petrobras para atender a demanda de helicópteros ainda focados na bacia de Campos. O autor conclui que o método seria válido pela possibilidade de combinar outros critérios, além do financeiro (menor custo), garantindo, entre outros, a dimensão de produtividade e segurança operacional.

Mais focado no dimensionamento e alocação de frotas, HERMETO et al. (2014) desenvolveram um modelo de otimização inteiro misto para planejar a rede logística a fim de auxiliar os tomadores de decisão na escolha das bases aeroportuárias, distribuição e tipo de frota. Os resultados encontrados indicaram ganhos considerados nos possíveis custos da logística aérea. Na mesma linha, FERNÁNDEZ-CUESTA et al. (2016) desenvolveram um modelo heurístico para a seleção e alocação de frotas em bases aeroportuárias. Os testes foram realizados na região do Pré-sal brasileiro e na Noruega, também avaliaram possíveis hubs de abastecimento de combustível entre aeroportos e unidades marítimas, e concluíram que para o caso brasileiro não haveria necessidade de hubs naquela fase de operação.

Como a disponibilidade da frota de helicópteros é um dos principais parâmetros para dimensionamento da frota, MOREIRA (2015) propôs soluções para aumentar a



disponibilidade de frotas de helicópteros para transporte aéreo offshore na indústria de petróleo e gás. A técnica multivariada escolhida foi a Análise de Regressão Múltipla, a fim de verificar a importância relativa de fatores como idade da frota, temperatura, umidade, modelo da aeronave, operador da aeronave, entre outros, na variabilidade do índice de disponibilidade da frota. Os resultados mostraram que uma maior concentração da frota em modelos com alta disponibilidade é um fator mais importante do que a escolha das empresas de transporte aéreo, mantendo as demais condições inalteradas.

Além da programação de voos e seleção/dimensionamento da frota de helicópteros, a segurança operacional é um importante pilar nos estudos de operações aéreas offshore. Os trabalhos que mais se destacam são os de QIAN et al. (2011) que modela o número esperado de fatalidades em operações aéreas offshore em um nível de planejamento operacional. Em QIAN et al. (2012) os autores avaliaram a minimização do risco operacional para pilotos e passageiros na atividade de transporte aéreo offshore. Foram analisadas formas de aumentar a segurança por meio de roteamento adequado, cujo objetivo é minimizar o risco operacional agregado dos ocupantes da aeronave e, por fim, na mesma linha de estudos, QIAN et al. (2015) propuseram abordagens para criar horários de voo mais seguros.

Alguns aspectos referentes ao modo de transporte são levados em consideração no trabalho de VILAMEÁ (2011) quando o autor discute a alternativa de operar parte da demanda das embarcações para um hub a cerca de 160 milhas náuticas e a partir daí se complementar com o transporte por helicópteros. No entanto, como visto anteriormente, a norma regulamentadora NR37, do Ministério do Trabalho do Brasil, estipula um limite de 35 milhas náuticas para o deslocamento máximo de embarcações para atender unidades marítimas na plataforma continental brasileira.

Para uma análise operacional do tráfego em um espaço aéreo dedicado a atividades offshore, HERMETO & MULLER (2015) analisaram, por meio de simulação *fast-time*, o impacto do uso de ADS-B na baía de Campos. As aeronaves utilizam a tecnologia ADS-B para monitorar seu posicionamento via satélite, transmitir sua posição espacial para outras aeronaves e para uma estação de controle em tempo real. Os autores concluíram que seu uso tinha potencial para melhorar os indicadores de nível de serviço em relação a atrasos e desvios de tempo de voo. No âmbito da modelagem espacial de qualquer espaço aéreo (com foco em aviões), PEREIRA (2016) apresentou o problema

de como avaliar a vulnerabilidade das redes de transporte aéreo no contexto de interrupção operacional em aeroportos por meio da modelagem do sistema aéreo brasileiro a partir de redes complexas através de grafos. O autor concluiu que as informações encontradas podem contribuir para subsidiar a tomada de decisão dos gestores, principalmente em relação aos processos de planejamento da malha aérea, gestão de riscos e proteção de infraestruturas críticas.

Os trabalhos aqui citados mostram que a atividade aérea offshore, por demandar helicópteros especiais cujo custo de aquisição e manutenção/operação são elevados, tem atraído a atenção de pesquisadores bem como da própria indústria offshore, à medida que estes recursos são críticos à operação de Exploração e Produção de Óleo e Gás. Por isso, os temas que envolvem roteirização, localização de facilidades, dimensionamento de frota, programação de voos entre outros, são os mais recorrentes nos trabalhos analisados.

### 3. Definição do Problema

O trabalho consiste em desenvolver uma metodologia para encontrar uma forma economicamente ótima de cada unidade marítima ter sua demanda de embarque e desembarque de trabalhadores de bordo atendida, considerando as características operacionais e ambientais locais. Para atingir este objetivo é necessário obter as trajetórias e distâncias mínimas entre aeroporto → unidade marítima → aeroporto, seguindo as regras de tráfego estipuladas na região; identificar qual aeroporto atenderá cada unidade utilizando qual(is) tipo(s) de helicóptero(s) e com quantos voos semanais.

Os principais aspectos que devem ser considerados são:

- Condições operacionais do aeroporto (localização, quantidade, ocupação, restrições de pátio, hangares etc.);
- Condições ambientais em terra (horário de funcionamento do aeroporto, clima, ruído, acesso terrestre, hotelaria, serviço médico etc.);
- Condições ambientais no mar (impactos de correntes, vento, clima etc.);
- Tipo de unidades marítimas (fixas, flutuantes, dimensões e resistência de helidecks etc.); e
- Regras de tráfego aéreo que podem variar de uma região para outra.

O modelo operacional adotado neste estudo considera que os voos são realizados sob regras de voo em condição visual (VFR) com origem e destino em um aeroporto de referência, com pouso em plataforma marítima para chegada e saída de passageiros do helicóptero.

Alternativamente, em situações de mau tempo, seja no aeroporto, na unidade marítima ou na rota, o próprio planejamento de voo é realizado pelas companhias aéreas considerando as regras de voo por instrumentos (IFR), definindo assim um aeroporto alternativo, o que reduz a capacidade de transporte dos helicópteros.

Nessas condições, espera-se que a demanda não seja totalmente atendida naquele dia ou que haja um aumento de voos não programados. A opção pela adoção de voos sob condição de regras visuais (VFR) no modelo, se deu pelo fato de a maioria dos atendimentos às unidades marítimas serem realizados desta forma e por ser a prática operacional atual para a construção de tabelas de voos semanais.

Se a regra de voo por instrumentos (IFR) fosse adotada no modelo de criação das tabelas de voo, elas teriam sua capacidade ociosa na maior parte do tempo, fazendo com que o helicóptero deixasse o aeroporto com assentos desocupados desnecessariamente, exigindo assim uma oferta maior de voos para atender a mesma demanda e, conseqüentemente, maiores custos logísticos.

A metodologia desenvolvida considera apenas os passageiros que embarcam no helicóptero no aeroporto com destino às unidades marítimas. O mesmo número de passageiros deverá desembarcar (regresso ao continente) da mesma unidade marítima para o aeroporto no longo prazo. Na prática operacional, pode ocorrer que algumas unidades marítimas, por exemplo embarcações especiais (PLSV, DSV), realizem suas trocas de pessoal em algum porto na costa no momento do embarque de cargas/suprimentos ou devido a longos períodos de condições meteorológicas adversas no mar. Esta situação não é considerada no modelo proposto.

Apesar de considerar o número de vagas de desembarque igual ao número de vagas de embarque, na prática operacional, a oferta de vagas de desembarque será maior devido ao consumo de combustível na etapa de ida da missão, liberando assim mais carga na etapa de retorno para o aeroporto. Na maioria dos casos, a limitação de carga útil no retorno corresponde ao número de assentos de cada tamanho da aeronave.

As alocações de aeródromos e aeronaves para unidades marítimas não podem ser realizadas puramente sob o viés de custo direto de recursos aéreos (helicópteros, combustível, aeroportos, entre outros). O custo do não atendimento e/ou atraso em um voo crítico para uma plataforma de petróleo pode, às vezes, ultrapassar qualquer otimização que se pretenda fazer na operação aérea, aliada às questões de segurança dessas instalações.

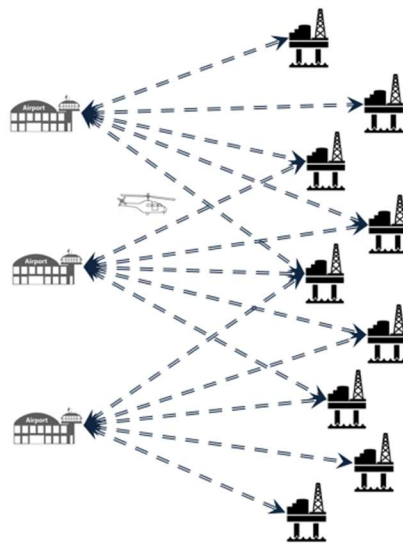
Portanto, o planejamento da operação aérea precisa considerar todos esses aspectos ao manter uma malha logística eficiente e segura. Devido às mudanças de localização de alguns tipos de unidades marítimas, o planejamento deve ser realizado de forma dinâmica, ou seja, quando qualquer unidade marítima muda de localização, sua programação de voo deve ser reavaliada, podendo inclusive impactar outras unidades devido às restrições de capacidade impostas pelos aeroportos e o perfil da frota em serviço.

Os aeroportos terão sua capacidade teórica de voos diários definida, tanto em número total de voos quanto por tipo de helicóptero (grande ou médio porte por exemplo). Restrições de capacidade aeroportuária não significam necessariamente restrições físicas, ou seja, que o aeroporto não possa ultrapassá-las em situações de contingência, por exemplo, mas sim um nível desejável estimado de operação em cada aeródromo.

Essa capacidade considera a infraestrutura aeroportuária (pátio, pista, terminal, hangares etc.), possíveis impactos ambientais que a operação pode causar na comunidade do entorno (ruído etc.), bem como questões estratégicas quanto à concentração da operação em determinados aeródromos e/ou frota disponível.

Para construção das tabelas de voos, não haverá roteamento da aeronave passando por mais de uma unidade marítima por voo, ou seja, o helicóptero passará por uma única unidade marítima, com origem e destino no mesmo aeródromo (modelo pendular). A

**Figura 11** ilustra o modelo pendular adotado.

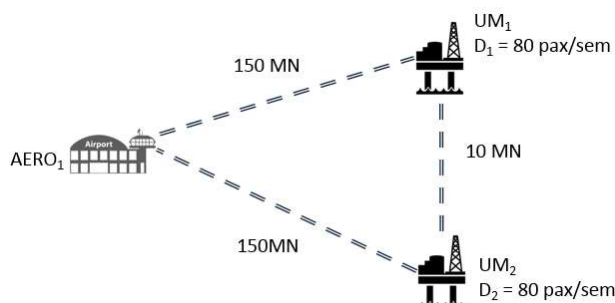


**Figura 11** Modelo operacional proposto (pendular)

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

O motivo da escolha de definir o roteiro do helicóptero passando por uma única unidade marítima (modelo pendular) para a construção das tabelas de voos, reside no fato das elevadas distâncias envolvidas na operação aérea na bacia de Santos, requerendo uma quantidade de combustível necessária maior, diminuindo assim a ocupação dos assentos da aeronave.

Considere o exemplo genérico de roteirização que pretende atender duas unidades marítimas iguais, distante apenas 10 milhas náuticas uma da outra e a 150 milhas náuticas do aeroporto de atendimento, cujas demandas de embarque são de 80 passageiros por semana em cada unidade, conforme indicado na **Figura 12**.



**Figura 12** Exemplo de modelo operacional com roteirização não pendular

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

Caso o atendimento seja direto (pendular), um voo (ida e volta) para qualquer uma dessas duas unidades marítimas percorrerá 300 milhas náuticas de distância e poderá embarcar no aeroporto até 8 passageiros por vez em aeronaves de médio porte, por exemplo, o que demandará 10 voos semanais, com duração total de 2h18 cada voo, para cada unidade marítima, totalizando 20 voos semanais e cerca de 46 horas de voos semanais totais.

Caso o roteiro considere passar pelas duas unidades marítimas em cada voo, o roteiro total terá 310 milhas náuticas, o que pode ser aproximado por uma missão (ida e volta) de 155 milhas náuticas, que demanda um tempo de voo de 2h22.

Adicionalmente faz-se necessário incluir mais um tempo de permanência no heliponto para troca de turma e sobrevoo na outra unidade marítima (8 + 4 minutos). Com isso, o tempo total de voo passará para 2h34 e a quantidade de passageiros possíveis de serem embarcados no aeroporto passará para 7 em função da necessidade de aumento de combustível para cumprir a missão. Com isso será necessário realizar 23 voos (160/7) para atender a demanda de passageiros integrada das duas unidades marítimas, totalizando mais de 59 horas de voos semanais, aumento, portanto, de cerca de 28% quando comparado ao modelo pendular.

Apesar do exemplo acima ser genérico, ele pode ser extrapolado para outras situações em função da perda de eficiência que o modelo com roteirização não-pendular invariavelmente vai ocasionar devido as longas distâncias envolvidas na bacia de Santos,

o que acarreta uma menor possibilidade de embarques de passageiros em cada voo mesmo que o acréscimo nas distâncias percorridas (proximidade entre unidades marítimas) seja pequeno, em função do acréscimo de tempo pousado em mais de um heliponto e necessidade de realizar circuitos de aproximação e pouso em mais de uma unidade marítima.

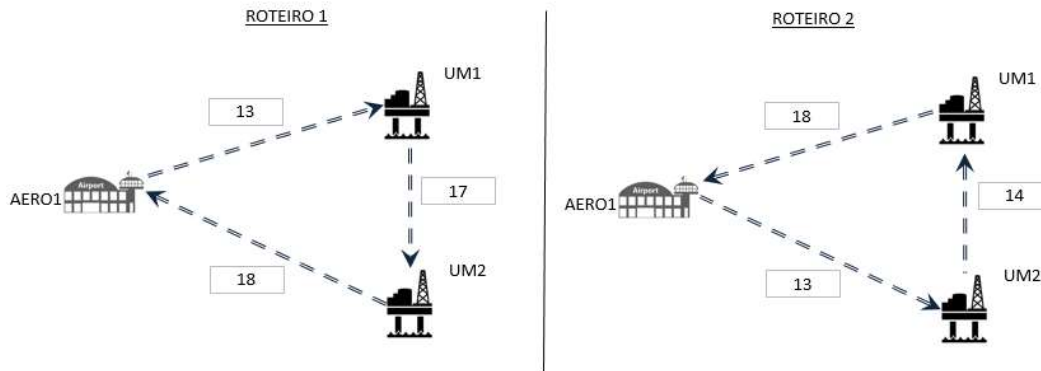
Caso as distâncias consideradas fossem tais que não houvesse perda de ocupação dos assentos com a inclusão de mais um pouso, a solução com uma roteirização passando por mais de uma unidade marítima poderia ser reavaliada, pois o ganho de flexibilidade operacional poderia ser compensatório, não sendo a realidade da baía de Santos.

Contudo, em algumas situações operacionais há necessidade de se passar por mais de uma unidade marítima (normalmente duas), tais como necessidade emergenciais de transbordo de passageiros e/ou pequenas cargas de uma unidade para outra dentro da baía, embarque e/ou desembarque extraordinário de passageiros entre outros, utilizando um voo de tabela já programado e com eventual sobra de capacidade.

Neste caso a escolha da roteirização passa mais por uma avaliação qualitativa de risco do que mesmo uma escolha otimizada de custo.

Veja a seguir um exemplo com dois roteiros possíveis para atender uma determinada demanda extraordinária de operação. Considere a unidade marítima  $UM_1$  com necessidade de embarcar 13 trabalhadores e desembarcar 17 no aeroporto  $Aero_1$ . É incluído extraordinariamente uma demanda de desembarcar 1 trabalhador da unidade marítima  $UM_2$  próxima a  $UM_1$ . A **Figura 13** apresenta as duas possibilidades de roteirização. Avaliou-se ser viável (autonomia de voo) a operação, com isso as duas possibilidades de roteiro válidas são:

- ROTEIRO 1:  $Aero_1 \rightarrow UM_1 \rightarrow UM_2 \rightarrow Aero_1$
- ROTEIRO 2:  $Aero_1 \rightarrow UM_2 \rightarrow UM_1 \rightarrow Aero_1$



**Figura 13** Roteirização com duas unidades marítimas próximas

Fonte: Elaborado pelo Autor

O Roteiro 2 deve ser o escolhido pelo fato de ter menos passageiros a bordo do helicóptero no trajeto entre as unidades marítimas (14 passageiros, sendo 13 que embarcaram no aeroporto com destino à UM<sub>1</sub> mais 1 extra que desembarcará da UM<sub>2</sub>).

Desta forma, o Risco da operação é minimizado sob as suas duas dimensões, tanto da Probabilidade, quanto da Severidade, a saber:

- Probabilidade: a maior margem de potência percebida pelo helicóptero com 14 passageiros (mais leve) do que com 17 passageiros (mais pesado) nas operações mais críticas (decolagem e pouso no heliponto) permitem considerar uma probabilidade menor de acidente; e
- Severidade: a menor exposição a um acidente com 14 passageiros (mais tripulantes) quando se comparado a um com 17 passageiros (mais tripulantes), permite considerar um acidente cuja severidade também tendendo a ser menor.

### 3.1 Aeronaves empregadas em operações offshore

Segundo a IOGP (2017), em seu Aircraft Management Guidelines Report 590, as aeronaves que podem ser usadas nas operações offshore devem ser certificadas pela Federal Aviation Regulation US 14CFR Part 25/29 ou EASA CS-25/29. Além disso, os helicópteros devem ser certificados para a Categoria A para desempenho do motor, em conformidade com o Anexo 6, Capítulo 3 da ICAO (2016).

Assim, os helicópteros devem ser divididos nas seguintes categorias:



- Categoria A. Um helicóptero multimotor concebido com características de isolamento do motor e do sistema especificadas na parte IVB do anexo 8, capaz de operações que utilizem dados de decolagem e aterrissagem previstos num conceito crítico de falha do motor que garanta área de superfície designada e capacidade de desempenho adequado para um voo seguro contínuo ou decolagem rejeitada segura.
- Categoria B. Significa um helicóptero monomotor ou multimotor que não atende aos padrões da Categoria A. Os helicópteros da categoria B não têm capacidade garantida para continuar a voar em segurança no caso de uma falha do motor, e uma aterrissagem forçada é assumida.

A operação com aeronaves monoturbina só é aceita pela IOGP sob condições bem características, tais como se as autoridades locais assim permitirem, o ambiente for considerado não hostil, os voos forem conduzidos a distâncias razoavelmente curtas, operação ser realizada em condição visual, com desembarque 30 minutos antes do por sol e serviços de busca e salvamento (SAR) disponíveis. Em função dessas considerações, todas as operações offshore na bacia de Santos são apenas permitidas utilizando aeronaves bi turbina.

No mercado de aeronaves offshore, os modelos a seguir são compatíveis para a operação na bacia de Santos:

- Grande Porte (Até 18 passageiros mais 1 comissário): SK92, H225;
- Super Médio Porte (Até 16 passageiros): AW189, BELL525, H175;
- Médio Porte (Até 12 passageiros): AW139, S76, H155.

Contudo, neste trabalho foram considerados dois modelos de aeronaves mais utilizados atualmente na região, o modelo de grande porte SK92 e o modelo de médio porte AW139, ambas atendendo aos requisitos preconizados pela IOGP. A **Figura 14** mostra os modelos com a aeronave de grande porte a esquerda e a de médio porte a direita.



**Figura 14** Tipos de helicópteros.

**Fonte:** Adaptado de LOCKHEEDMARTIN (2018) e LEONARDO (2018)

## **3.2 Aeroportos em operação**

Os aeroportos que realizavam em junho/2019 operação regular de transporte de passageiros para/de as unidades marítimas da bacia de Santos eram os aeródromos de Cabo Frio e Jacarepaguá, no estado do Rio de Janeiro e o aeroporto de Navegantes no estado de Santa Catarina. Este último não será analisado neste trabalho devido, atualmente, atender apenas a uma única unidade marítima (FPSO Cidade de Itajaí) e estar distante das demais unidades.

Já os outros aeroportos na região que ocasionalmente atendem às unidades marítimas, tais como Galeão e Santos Dumont no estado do Rio de Janeiro, não serão analisados em função da vocação principal destes aeródromos ser a aviação comercial.

### **3.2.1 Aeroporto de Jacarepaguá**

O aeroporto Roberto Marinho, mais conhecido como Aeroporto de Jacarepaguá (sigla ICAO: SBJR), situa-se no bairro da Barra da Tijuca, município do Rio de Janeiro.

A região da Barra da Tijuca, após a realização da Copa do Mundo FIFA2014 e Olimpíadas 2016, se consolidou ainda mais como um polo hoteleiro e hospitalar na cidade do Rio de Janeiro. Essa condição é benéfica para a instalação de uma base de operação aérea *offshore* em função da necessidade de pronto atendimento as emergências e/ou possíveis contingências diversas operacionais (transferências de voos devido mau tempo, atendimentos aeromédicos etc.).

Segundo INFRAERO (2019), empresa gestora do aeródromo, o sítio aeroportuário contém cerca de 1,19 milhão de m<sup>2</sup>, destes 46.900 m<sup>2</sup> constituem-se em pátio de aeronaves, tanto de asa fixa (aviões) como para asa rotativa (helicópteros).



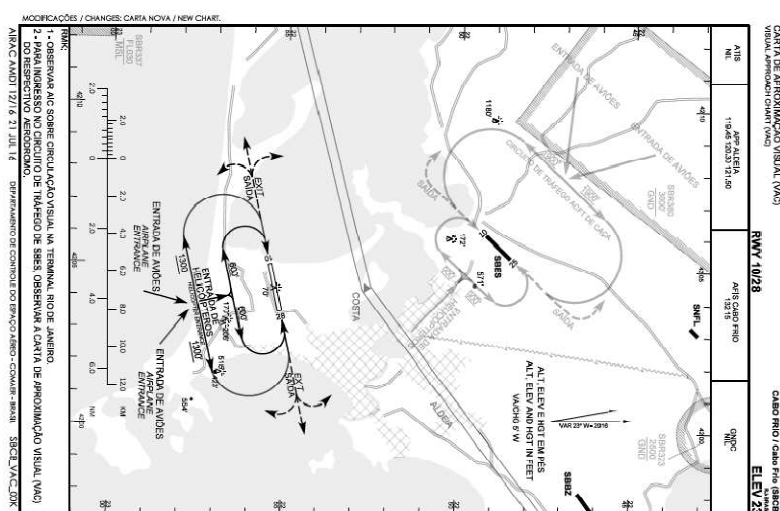
### 3.2.2 Aeroporto de Cabo Frio

O aeroporto de Cabo Frio (sigla ICAO: SBCB) encontra-se na cidade de mesmo nome no estado do Rio de Janeiro. É um aeroporto que além de receber voos comerciais para o aeroporto de Confins, Minas Gerais, possui vocação para voos cargueiros, em função das características de sua pista de pouso e decolagem, bem como atualmente realiza operações para o mercado de óleo e gás (voos *offshore*).

Possui dois terminais de passageiros, um para operação pública e outro para operação exclusiva *offshore*. Contém serviço contra incêndio categoria 9, bem como serviço de abastecimento de combustível, entre outras facilidades.

Segundo a CABO FRIO AIRPORT (2019), operadora do aeródromo, o pátio possuía capacidade para 23 aeronaves, comportando aviões de todas as classes (A, B, C, D, E, F), realiza os seguintes tipos de tráfego: VFR diurno/noturno e IFR não-precisão diurno/noturno. Não possuía torre de controle. A sua área patrimonial comportaria futuras ampliações.

O circuito de aproximação é segregado para aviões e helicópteros, com altitude no circuito visual para helicópteros definida em 600 pés. A **Figura 16** apresenta a carta de aproximação visual.



**Figura 16** Carta de aproximação visual de SBCB

Fonte: Adaptado do DECEA (2019)

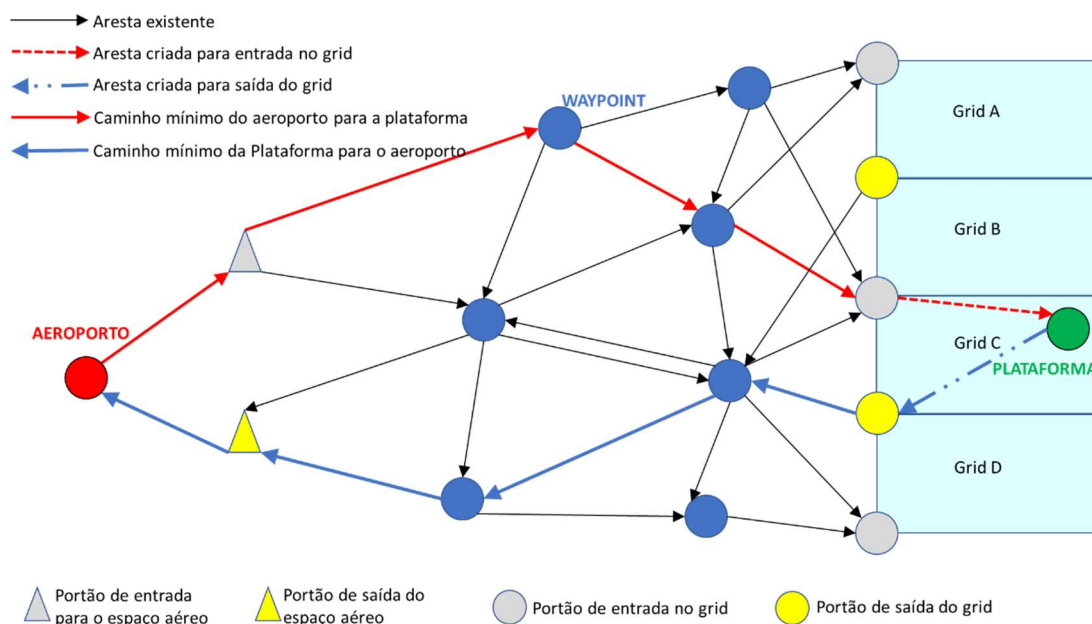
## 4. Metodologia

Nesta seção será detalhada a modelagem do espaço aéreo, o cálculo do desempenho dos helicópteros, o modelo de alocação de unidades marítimas aos aeroportos, bem como uma proposta de dimensionamento de frota.

### 4.1 Modelagem do espaço aéreo

Modelar um espaço aéreo significa criar as condições para que um programa de computador compreenda as regras de tráfego estipuladas naquela região para traçar as rotas adequadas de uma determinada origem a um determinado destino e com isso calcular as distâncias totais percorridas. Uma forma de modelar este espaço aéreo é através de um grafo direcionado, onde cada aeroporto, unidade marítima e *waypoint* no espaço corresponde a um vértice. O espaço aéreo deve ter conexões entre vértices que são direcionados, que chamaremos de arestas direcionadas, ou seja, uma conexão entre um vértice **A** a um vértice **B** pode ser permitida, mas sua inversa pode não ser permitida, daí a necessidade do grafo ser necessariamente direcionado.

O espaço aéreo a ser estudado pode ter regras específicas para partida do aeroporto até o primeiro *waypoint* e para chegada e partida em unidades marítimas que devem ser consideradas. A **Figura 17** apresenta um espaço aéreo modelado por meio de um grafo, conforme regrado pela publicação do DECEA, a AIC N 27/21 cuja finalidade é “detalhar os procedimentos para a operação de helicóptero em espaço aéreo offshore da Bacia Petrolífera de Santos”. Existem portões (*waypoints* obrigatórios) que as aeronaves devem seguir para entrar ou sair do espaço aéreo, bem como portões de entrada e saída obrigatórios dependendo do grid em que se encontra a unidade marítima pela qual a aeronave deve passar no voo de ida antes de pousar na unidade marítima e um único portão de saída por onde a aeronave deve passar após a decolagem da unidade marítima no voo de retorno.



**Figura 17** Espaço aéreo modelado por grafo

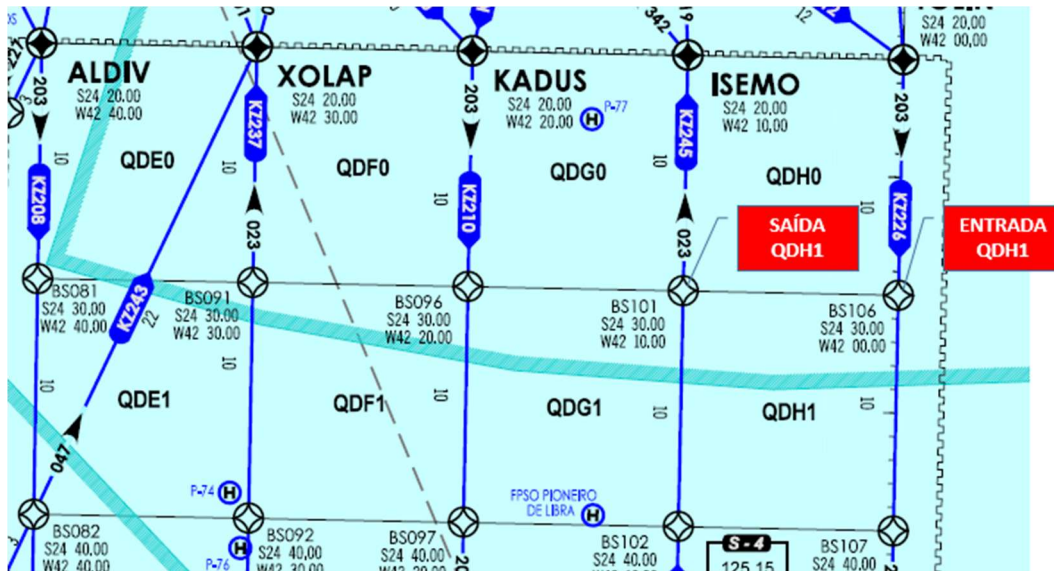
**Fonte:** Elaborado pelo Autor

As arestas que ligam os *waypoints* de entrada e saída dos grids às unidades marítimas não são pré-definidas no espaço aéreo, pois dependem das coordenadas geográficas de cada unidade marítima no momento do voo. Todas as outras arestas são fixas e imutáveis.

Como parte das unidades marítimas (sonda, embarcações especiais, entre outras) não estão estacionárias no mesmo local, é necessário inicialmente saber em qual grid todas as unidades marítimas estão localizadas naquela data de análise, a fim de determinar por qual *waypoint* de entrada e saída devem ser usadas em cada trajetória de voo. Com a definição dos portões de entrada e saída para cada unidade marítima, o grafo inicialmente modelado deve ser complementado com arestas complementares que se conectam as unidades marítimas.

Com o grafo final gerado, levando em consideração cada *waypoint*, aeroporto e unidade marítima georreferenciada, a trajetória entre o aeroporto → unidade marítima e a unidade marítima → aeroporto serão os caminhos mais curtos percorrido neste grafo (em cada sentido) usando um algoritmo de caminho mínimo em grafo, que neste trabalho adotou o algoritmo de Dijkstra (1959).

Na **Figura 18** é apresentado em detalhe de parte do Setor 4 da bacia de Santos, com destaque para os portões de entrada (BS106) e saída (BS101) da quadrícula QDH1. Qualquer unidade marítima que esteja dentro desta quadrícula terá a mesma trajetória de chega e saída de/para um mesmo aeródromo até os portões de entrada e saída desta quadrícula.



**Figura 18** Detalhe quadrículas - bacia de Santos

**Fonte:** Adaptado do DECEA AIC N 27/21 (2021)

As regras de tráfego na bacia de Santos permitem que após a chegada ao portão de entrada da quadrícula o helicóptero possa se dirigir diretamente à unidade marítima assim como após a decolagem da unidade marítima possa se dirigir diretamente ao portão de saída.

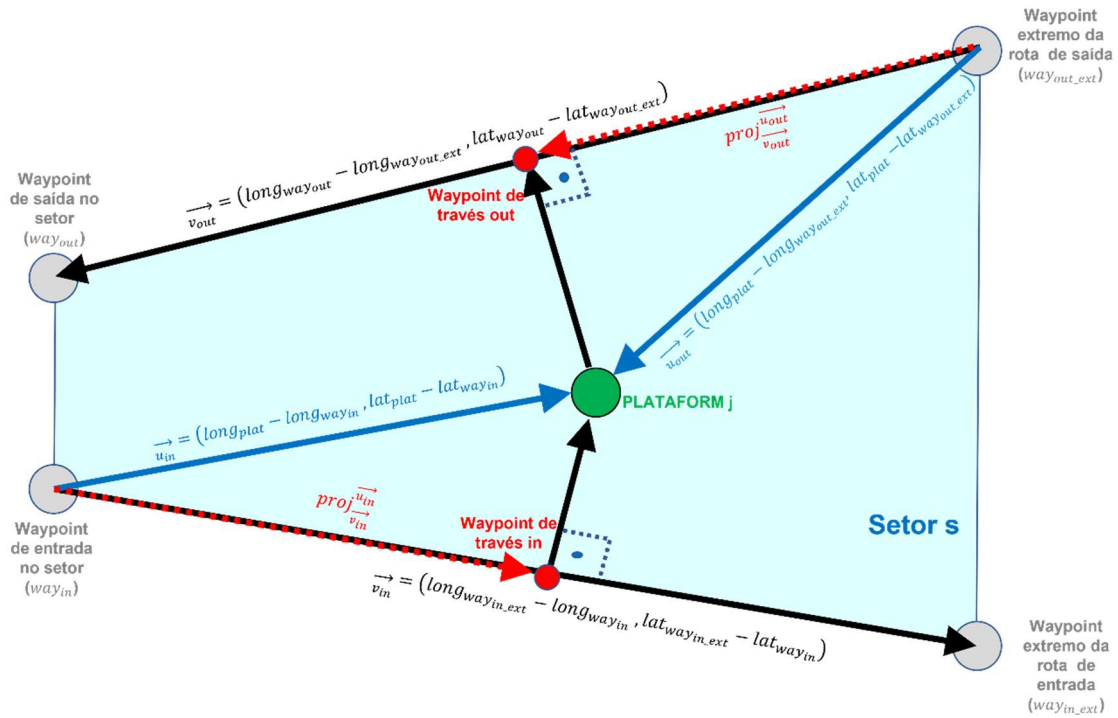
Já para as regras do espaço aéreo na bacia de Campos não é permitida essa rota direta, neste espaço aéreo, após a chegada no *waypoint* de entrada do setor, a aeronave deve se deslocar sobre a rota ATS desse *waypoint* até o través (90°) com a unidade marítima e na saída da unidade marítima se deslocar até o través de saída no lado oposto do setor.

Por isso, para modelagem deste tipo de espaço aéreo, faz-se necessário primeiramente encontrar as coordenadas dos pontos de través de entrada e de saída que serão únicos para cada unidade marítima, para então modelar as arestas que ligam os *waypoints* de entrada do setor até o ponto de través, do ponto de través até a unidade marítima, da unidade marítima ao ponto de través de saída e deste último para o *waypoint* de saída do setor.

Uma estratégia para resolver esse problema é: uma vez que são conhecidas as coordenadas dos vértices do polígono (setor), na qual a unidade marítima está inserida,

pode-se projetar o vetor que liga o *waypoint* de entrada do setor à unidade marítima no vetor que liga o *waypoint* de entrada ao *waypoint* extremo desse mesmo polígono. O resultado dessa projeção é o vetor que liga o *waypoint* de entrada do setor ao ponto de través de entrada. Por fim soma-se as coordenadas do *waypoint* de entrada ao vetor resultante da projeção e chega-se as coordenadas do ponto de través de entrada. Mecanismo semelhante pode ser realizado para se encontrar as coordenadas do ponto de través de saída.

A **Figura 19** apresenta em detalhe esse procedimento e as **Equações 4.1 a 4.6** apresentam a formulação proposta para encontrar as coordenadas dos pontos de través para o espaço aérea da bacia de Campos.



**Figura 19** Arestas de través na bacia de Campos

Fonte: Elaborado pelo Autor

$$proj_{\vec{v}_{in}}^{\vec{u}_{in}} = \frac{\vec{u}_{in} \cdot \vec{v}_{in}}{\|\vec{v}_{in}\|^2} \cdot \vec{v}_{in} \quad [4.1]$$

$$proj_{\vec{v}_{out}}^{\vec{u}_{out}} = \frac{\vec{u}_{out} \cdot \vec{v}_{out}}{\|\vec{v}_{out}\|^2} \cdot \vec{v}_{out} \quad [4.2]$$



$$long_{traves_{in}} = long_{way_{in}} + posiçãoX \left( proj_{v_{in}}^{\vec{u}_{in}} \right) \quad [4.3]$$

$$lat_{traves_{in}} = lat_{way_{in}} + posiçãoY \left( proj_{v_{in}}^{\vec{u}_{in}} \right) \quad [4.4]$$

$$long_{traves_{out}} = long_{way_{out\_ext}} + posiçãoX \left( proj_{v_{out}}^{\vec{u}_{out}} \right) \quad [4.5]$$

$$lat_{traves_{out}} = lat_{way_{out\_ext}} + posiçãoY \left( proj_{v_{out}}^{\vec{u}_{out}} \right) \quad [4.6]$$

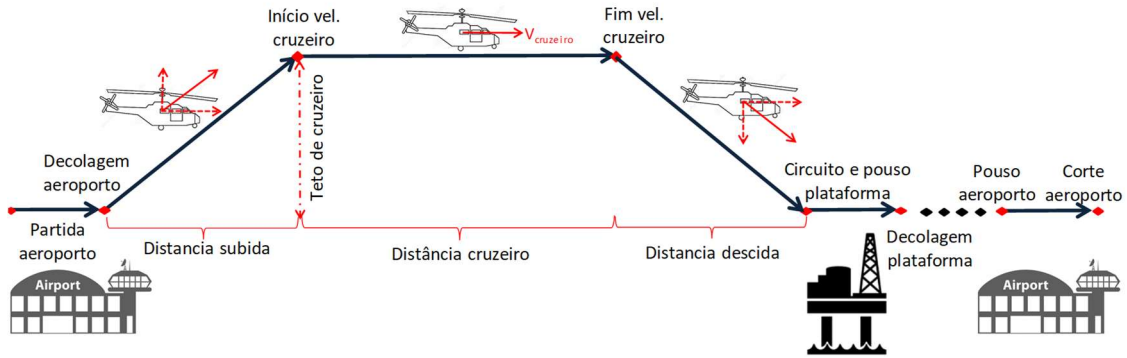
Para o cálculo do tamanho das arestas utiliza-se a **Equação 4.7**, que calcula a distância geodésica entre dois pontos em função das suas coordenadas geográficas e levando em consideração a curvatura da Terra.

$$\begin{aligned} Distância_{aresta} = & 3440 \times \cos^{-1} \left\{ \cos \left[ (90 - lat_{dest}) \times \frac{\pi}{180} \right] \times \cos \left[ (90 - lat_{orig}) \times \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{\pi}{180} \right] + \sin \left[ (90 - lat_{dest}) \times \frac{\pi}{180} \right] \times \sin \left[ (90 - lat_{orig}) \times \frac{\pi}{180} \right] \times \cos \left[ (long_{orig} - \right. \right. \\ & \left. \left. long_{dest}) \times \frac{\pi}{180} \right] \right\} \quad [4.7] \end{aligned}$$

## 4.2 Modelo de desempenho de helicóptero

Para a construção das tabelas de voo, é necessário inicialmente conhecer três parâmetros essenciais: número total de voos por tipo de helicóptero, número de passageiros possíveis de embarcar no helicóptero por tipo e tempo total de viagem por tipo de helicóptero para cada unidade marítima.

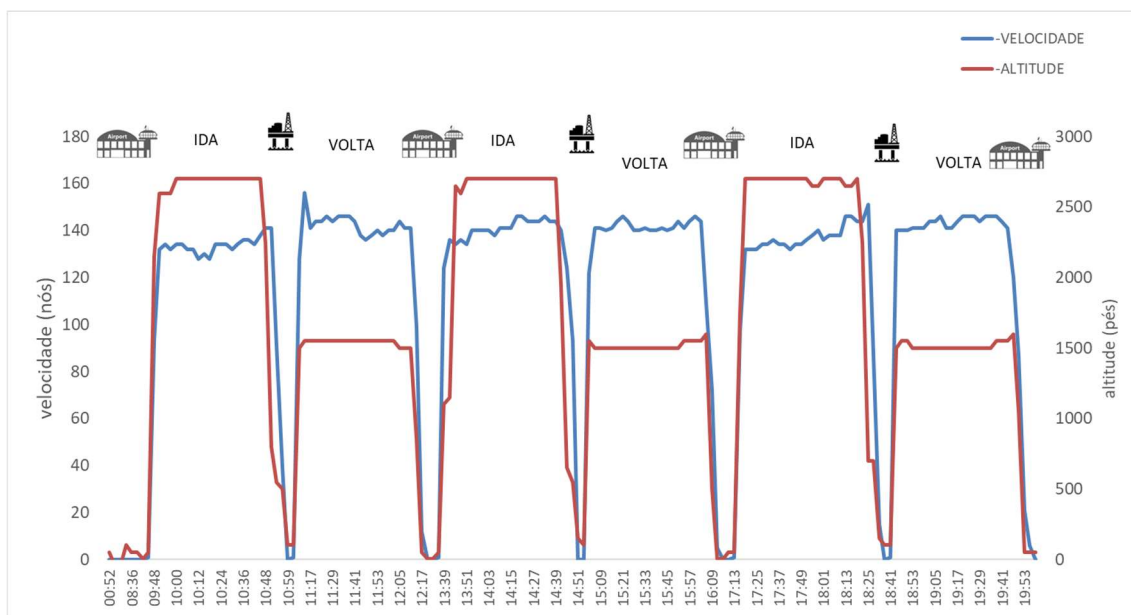
A **Figura 20** indica os principais pontos notáveis da operação considerado no modelo de desempenho (partida, decolagem no aeroporto, início do voo de cruzeiro, fim do voo de cruzeiro, circuito e pouso na plataforma, decolagem da plataforma, início do voo de cruzeiro, fim do voo de cruzeiro, pouso no aeroporto e corte no aeroporto).



**Figura 20** Modelo operacional proposto detalhado

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

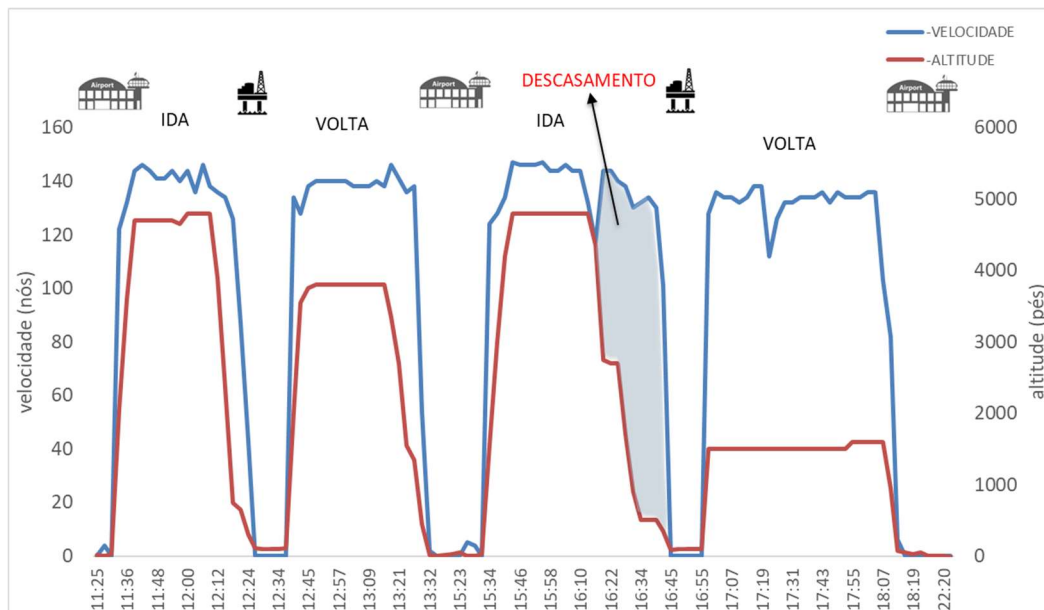
Como pode ser observado pela **Figura 21**, os perfis de velocidade de altitude de um dia de operação real de uma aeronave modelo SK92 (grande porte) são equivalentes tanto na saída e chegada no aeroporto como na chegada e saída na plataforma.



**Figura 21** Perfis de voos da aeronave grande porte (dia 19/04/2022)

**Fonte:** Elaborado pelo autor com dados reais da aeronave

Já o perfil da aeronave AW139 (médio porte) apresenta em alguns momentos um descasamento das velocidades com relação à altitude, com a velocidade alcançando valores maiores na decolagem e pouso quando comparado ao perfil de altitude, como pode ser verificado no exemplo de um dia de operação de uma aeronave médio porte na **Figura 22**.



**Figura 22** Perfis de voos da aeronave médio porte (dia 19/04/2022)

**Fonte:** Elaborado pelo autor com dados reais da aeronave

Adotar em planejamento o perfil de velocidade paralelo ao perfil de altitude, no caso das aeronaves de médio porte, pode ser considerado conservativo, uma vez que, principalmente no pouso no aeroporto, as aeronaves mantem a velocidade de cruzeiro mesmo quando o helicóptero ainda está descendo.

Para calcular o número de possíveis passageiros a bordo, é necessário conhecer o *payload* de cada missão, ou seja, a capacidade útil de transporte da aeronave, que inclui passageiros, cargas e bagagens.

Os parâmetros e variáveis de desempenho estão descritos na **Tabela 4** e o modelo de desempenho proposto consiste em determinar o número de passageiros por voo, tempos e consumo de combustível de cada voo.

**Tabela 4:** Parâmetros e variáveis do modelo de desempenho

<b>Parâmetros</b>	
$cei^{cru}$	Teto de cruzeiro
$fuel^f$	Consumo de combustível em voo
$fuelcg^g$	Consumo de combustível em solo (inclui o helideck)
$MTW$	Peso máximo de decolagem
$OBW$	Peso básico operacional
$r^{asc}$	Razão de subida
$r^{des}$	Razão de descida
$s$	Número de assentos
$spd^{cru}$	Velocidade de cruzeiro
$t^{dck}$	Tempo pousado no helideck
$t^g$	Tempo em solo (exclui o tempo no helideck)
$t^{pc}$	Tempo de sobrevoou/circuito na unidade marítima
$w^{pax}$	Peso médio do passageiro
<b>Variáveis auxiliares</b>	
$d^{asc}$	Distância de subida
$d^{cru}$	Distância de cruzeiro
$d^{des}$	Distância de descida
$d^{tot}$	Metade da distância total
$fuel^{mis}$	Combustível necessário para a missão
$fuel^{res}$	Combustível reserva
$fuel^{tot}$	Combustível necessário total
$t^f$	Tempo de voo
$t^{mis}$	Tempo da missão (acionamento a corte dos motores)
<b>Variável inteira</b>	
$pax$	Número de passageiros no voo

Assim, o número de passageiros possíveis para embarcar no voo (arredondado para baixo, sem casa decimal) será calculado de acordo com as **Equações 4.8 a 4.11**. A formulação para o modelo proposto é dada por:

$$pax = \begin{cases} \min \left( s ; \left\lfloor \frac{MTW - OBW - fuel^{mis} - fuel^{res}}{w_{pax}} \right\rfloor \right), & \text{se aeron. compatível helideck} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad [4.8]$$

$$fuel^{mis} = t^f \times fuel^f + (t^g + t^{dck}) \times fuel^g \quad [4.9]$$

$$t^f = 2 \times \left( \frac{cei^{cru}}{r^{asc}} + \frac{d^{tot} - \left( \frac{spd^{cru}}{2} \times \frac{cei^{cru}}{r^{asc}} \right) - \left( \frac{spd^{cru}}{2} \times \frac{cei^{cru}}{r^{des}} \right)}{spd^{cru}} + \frac{cei^{cru}}{r^{des}} \right) + t^{pc} \quad [4.10]$$

$$\text{fuel}^{res} = \max \left[ \frac{1}{2} ; \left( \frac{1}{3} + 0,1 \times (t^f + t^g + t^{dck}) \right) \right] \times \text{fuel}^f \quad [4.11]$$

### 4.3 Modelo de Alocação de Mix de Voo (MAMV)

Nesta seção, será apresentado um modelo de problema de programação linear inteira, que busca encontrar o mix ótimo de atendimento aos voos, utilizando diferentes aeronaves, alocando unidades marítimas às bases aeroportuárias de maneira otimizada, considerando as restrições de capacidade dessas instalações, aeronaves e unidades marítimas. O MAMV considera o custo logístico das horas voadas e o consumo de combustível como função objetivo do problema.

Pretende-se definir quantos e através de quais aeroportos os voos serão atendidos, de forma otimizada, utilizando quais tipos de helicópteros. Os parâmetros e variáveis do MAMV estão descritos na **Tabela 5**.

**Tabela 5:** Conjuntos, parâmetros e variáveis MAMV

<b>Conjuntos</b>	
$I(i)$	Conjunto das bases aeroportuárias
$J(j)$	Conjunto das unidades marítimas
$K(k)$	Conjunto dos tipos de helicópteros
<b>Parâmetros</b>	
$n$	Número de bases aeroportuárias
$m$	Número de unidades marítimas
$q$	Número de tipos de helicópteros
$pax_{ijk}$	Pax transportado do aeroporto $i$ para a unidade marítima $j$ utilizando aeronave $k$
$c_{ijk}$	Custo de um voo do aeroporto $i$ para a unidade marítima $j$ utilizando aeronave $k$
$f^p$	Preço da hora voada
$\text{fuel}^p$	Preço do litro do combustível
$\delta_i$	Capacidade total de voos do aeroporto $i$
$\varepsilon_{ik}$	Capacidade de voos do aeroporto $i$ utilizando aeronaves $k$
$D_j$	Demanda de passageiros da unidade marítima $j$
<b>Variáveis inteiras não negativas</b>	
$v_{ijk}$	Número de voos semanais do aeroporto $i$ para a unidade marítima $j$ utilizando aeronaves $k$

Cada unidade marítima tem uma necessidade específica quanto ao número de embarques semanais de trabalhadores em função de seu porte ou da atividade a desenvolver. Denota por  $D_j$  e a variável  $v_{ijk}$  a demanda de assentos e voos por semana para cada unidade

marítima respectivamente. A demanda  $D_j$  é invariável em relação ao aeroporto de atendimento e tipo de helicóptero.

O número de passageiros atendidos (considerando apenas o embarque), por semana em cada unidade marítima  $j$  do aeroporto  $i$  utilizando a aeronave  $k$ , será calculado de acordo com a **Equação 4.12**.

$$p_{ijk} = v_{ijk} \times \text{pax}_{ijk} \quad [4.12]$$

Onde  $v_{ijk}$  são as variáveis de decisão inteiras não negativas do problema e  $v_{ijk}$  é o número de voos do aeroporto  $i$  para a unidade marítima  $j$  usando aeronave  $k$ ,  $\text{pax}_{ijk}$  é o número máximo de passageiros atendidos em cada voo no aeroporto  $i$  para unidade marítima  $j$  na aeronave  $k$ . O custo de cada voo partindo do aeroporto  $i$  para a unidade marítima  $j$  usando aeronave  $k$  pode ser calculado pela **Equação 4.13**.

$$c_{ijk} = f_k^p \times (t_{ijk}^f + t_k^{dck}) + \text{fuel}_i^p \times \text{fuel}_{ijk}^{\text{mis}} \quad [4.13]$$

Para efeito de contabilização do tempo total de voo, o tempo de pouso na plataforma é considerado como a hora voada e deve ser somado ao tempo de voo, pois a troca de passageiros (desembarque e embarque no helicóptero) ocorre com os rotores ligados.

Para definir de forma ótima, a tabela de voos de cada aeroporto  $i$  para cada unidade marítima  $j$ , a formulação matemática, adotando Programação Linear Inteira, terá como Função Objetivo a minimização do custo com a operação aérea, focando nos custos operacionais derivados das horas voadas e custos de combustível. Os valores correspondentes aos custos fixos dos helicópteros serão desconsiderados neste modelo, devido à premissa de que a frota já está contratada e disponível para a operação e só serão avaliados ao final quando for realizada a verificação do dimensionamento da frota.

O **MAMV** consiste em minimizar a função objetivo [4.14] sujeita a restrições [4.15] a [4.18]. A formulação para o modelo proposto é dada por:

## Minimizar

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q (c_{ijk} \times v_{ijk}) \quad [4.14]$$

## Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q p_{ijk} \geq D_j, \forall j \in J \quad [4.15]$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q v_{ijk} \leq \delta_i, \forall i \in I \quad [4.16]$$

$$\sum_{j=1}^m v_{ijk} \leq \varepsilon_{ik}, \forall i \in I, \forall k \in K \quad [4.17]$$

$$v_{ijk} \in \mathbb{Z}^+, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad [4.18]$$

A Função Objetivo [4.14] busca minimizar o custo logístico. As Restrições [4.15] impõe que toda a demanda de passageiros das unidades marítimas deve ser atendida. As Restrições [4.16] estabelecem que a capacidade total de voos no aeroporto  $i$  não será excedida. Restrições [4.17] estabelecem que a capacidade de voos de aeronaves  $k$  no aeroporto  $i$  não será excedida e as Restrições [4.18] apresentam as restrições de domínio das variáveis de decisão.

### 4.3.1 Restrições nos helidecks

Existem unidades marítimas que não podem/devem receber voos de helicóptero de grande porte em função de um ou mais dos seguintes fatores:

1. Dimensão máxima do heliponto da unidade marítima;
2. Resistência do piso do heliponto da unidade marítima;
3. Restrições operacionais devido a movimentos<sup>2</sup> da unidade marítima.

Os dois primeiros fatores são totalmente impeditivos em função da homologação do próprio heliponto junto a ANAC. Já o terceiro fator é uma condição que se observa mais constantemente nas operações aéreas nas embarcações especiais (PLSV, DSV) e nas unidades de produção que estão realizando Testes de Longa Duração – TLP.

Os helicópteros de grande porte se enquadram na Categoria A, da tabela 1 da NORMAM27 (Norma da Autoridade Marítima – Marinha do Brasil), e as embarcações

---

<sup>2</sup> Balanço, caturro, arfagem e velocidade de arfagem.

especiais (PLSV, DSVs) se enquadram na classificação como helidecks Classe 2 ou 3, representada na **Tabela 6**.

**Tabela 6:** Limite de movimentos das unidades marítimas

Helicóptero	Período de Operação	Helideque											
		Classe 1				Classe 2				Classe 3			
		B/C	Inc	VArf (m/s)	Arf (m)	B/C	Inc	VArf (m/s)	Arf (m)	B/C	Inc	VArf (m/s)	Arf (m)
Categoria A	Diurno	±3°	3,5°	1,3	5,0	±2°	2,5°	1,0	3,0	±2°	2,5°	1,0	3,0
	Noturno	±3°	3,5°	1,0	4,0	±2°	2,5°	0,5	1,5	±1°	1,5°	0,5	1,5
Categoria B	Diurno	±4°	4,5°	1,3	5,0	±3°	3,5°	1,0	3,0	±3°	3,5°	1,0	3,0
	Noturno	±4°	4,5°	1,0	4,0	±2°	2,5°	0,5	1,5	±1,5°	2,0°	0,5	1,5

**Fonte:** Adaptado da tabela 1 da NORMAM27

Segundo a NORMAM27:

- Categoria A - compreende todas as séries dos helicópteros AS332, EC225, S-61; S-92; e outros considerados super médios e de grande porte; e
- Categoria B - compreende todos os helicópteros não incluídos na Categoria A.
- Classe 1 - compreende os helideques de plataformas semi-submersíveis; de FPSO; de unidades flutuantes de armazenamento (FSU); de cábreas e barcaças, semi-submersíveis ou não; de navios de produção; de navios-sonda; de navios-tanque convertidos e de outros navios de porte equivalente. Esta classe corresponde à classificação da Agência de Certificação de Helideque do Reino Unido (HCA) código B e C e código A+ da Associação Norueguesa de Óleo e Gás;
- Classe 2 - compreende os helideques de navios de porte não incluídos na Classe 1, ou de porte inferior (ex: DSV, sísmicos, apoio marítimo etc.) que, oferecem boas referências visuais durante as operações de pouso e decolagem, normalmente instalados na popa ou a meia-nau. Esta classe corresponde à classificação da HCA código E e código A ou B+ da Associação Norueguesa de Óleo e Gás; e
- Classe 3 - compreende os helideques de navios não incluídos na Classe 1, ou de porte inferior que, oferecem poucas referências visuais durante as operações de pouso e decolagem, normalmente instalados na proa ou acima da superestrutura. Esta classe corresponde à classificação da HCA código D e código B da Associação Norueguesa de Óleo e Gás.

Operar um helicóptero Categoria A em um heliponto Classe 3 é a combinação mais restritiva para que seja realizada a operação aérea, ainda aliado as condições



meteoceanográficas mais desfavoráveis da baía de Santos, torna-se com isso aconselhável privilegiar a operação com helicópteros de médio porte (Categoria B) nestas embarcações especiais (PLSV, DSV).

Já para as unidades que estão realizando TLD (Testes de Longa Duração) com uso de sistemas de ancoragem com ponto único - tipo turret<sup>3</sup> (FCSV, por exemplo), que possui uma menor quantidade de amarras, tem-se também verificado uma maior tendência de indisponibilidades operacionais no heliponto em condições meteorológicas adversas, por isso, também será considerado no modelo a restrição ao uso de aeronaves de grande porte nessas unidades que historicamente tem um nível de transferência maior.

Com isso, a restrição do heliponto é também colocada no modelo, de forma a garantir que mesmo a escolha econômica inicialmente seja por helicóptero de grande porte (para atendimento a toda ou em parte da demanda), para estas embarcações especiais e unidade de produção em TLD, toda a demanda  $D_j$  será atendida por helicóptero de médio porte nestas unidades com restrição.

Caso a unidade marítima tenha restrição referente ao heliponto poder operar com helicópteros de grande porte, a capacidade da aeronave de grande porte para esta unidade marítima assumirá o valor zero.

## 4.4 Dimensionamento da frota em cada aeroporto

A verificação da frota necessária em cada aeroporto faz-se necessária para comparar com a frota disponível em cada aeroporto (por tipo). A **Equação 4.19** fornece a frota necessária em cada aeroporto  $i$ , por helicóptero  $k$ .

$$fleet_{ik} = \frac{\left(\sum_{j=1}^m \frac{v_{ijk}}{7}\right) \times \left(1 + \frac{1}{Rf_{ik}}\right) \times \frac{1}{Av_{ik}^{average}}}{N_{ik}^{max}} \quad [4.19]$$

Onde:

- $Rf_{ik}$ : Fator de recuperação adotado em função dos dias de aeródromo fechado. É o número de dias que a demanda pendente será totalmente atendida após 1 dia do fechamento do aeroporto (devido por exemplo a

---

<sup>3</sup> Todas as linhas de ancoragem e risers são presos no turret que faz parte da estrutura do FPSO. O turret permite que o FPSO gire livremente em tornos das linhas.

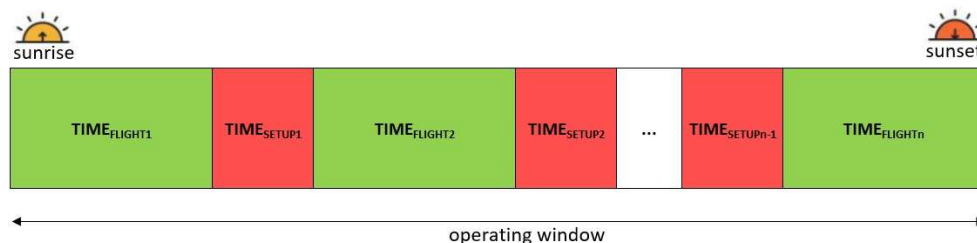
condições climáticas adversas). A definição do fator de recuperação está intrinsecamente ligada ao nível de serviço desejado na operação. A adoção de 4 dias, por exemplo, significa que se houver um dia inteiro sem operação no aeroporto  $i$ , a demanda será totalmente atendida no aeroporto  $i$  nos próximos 4 dias. Ou seja, a frota disponível no aeroporto poderá atender a um aumento de até 25% na demanda diária esperada. Essa “folga” na oferta de helicópteros pode ser utilizada nos demais dias de operação para atender voos não planejados (extraordinários).

- $Av_{ik}^{average}$ : Disponibilidade média da aeronave  $k$  no aeroporto  $i$ . Percentual de tempo da aeronave disponível para operação. Considera o tempo de inatividade necessário para realizar as manutenções/inspeções demandadas (não é considerado no tempo de “setup”).
- $N_{ik}^{max}$ : Número máximo de voos diários que uma aeronave  $k$  pode realizar no aeroporto  $i$ .

Para o cálculo do  $N_{ik}^{max}$  faz-se necessário conhecer os seguintes parâmetros:

- $T_{ik}^{setup}$ : Tempo entre voos. Considerado o tempo de “setup”, ou seja, é o tempo mínimo necessário para realizar as inspeções/reabastecimento entre dois voos consecutivos de uma mesma aeronave.
- $T_{average}^f_{ik}$ : Tempo médio de voo. Tempo médio total da missão (entre ligar e desligar os motores) na bacia.
- $Window_{ik}^{op}$ : Janela de operação. Tempo médio de operação viável entre o nascer e o pôr do sol ou o limite de disponibilidade definido no contrato de fretamento da aeronave, o que for menor.

A **Figura 23** apresenta esses parâmetros em um cronograma de atendimento diário.



**Figura 23** Esquema de cronograma de atendimento diário

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

Daí resulta:

$$N_{ik}^{max} \times T_{average}^f + (N_{ik}^{max} - 1) \times T_{ik}^{setup} \leq Window_{ik}^{op} \quad [4.20]$$

$$N_{ik}^{max} \leq \left\lfloor \frac{Window_{ik}^{op} + T_{ik}^{setup}}{T_{average}^f + T_{ik}^{setup}} \right\rfloor \quad [4.21]$$

Para o cálculo da  $Window_{ik}^{op}$  deve-se analisar o preconizado pela Instrução do Comando da Aeronáutica ICA 100-4 (Regras e Procedimentos Especiais de Tráfego Aéreo para Helicópteros), editada pelo DECEA (2018), que estabelece em seu Item 6.1.6:

*“Em heliponto situado em plataforma marítima, somente é permitida a operação entre o pôr e o nascer do sol para:*

*a) Helicóptero em missão/treinamento de transporte de enfermos ou feridos graves, desde que atendidos os requisitos estabelecidos nesta publicação para o voo VFR ou IFR noturno, conforme o caso.*

*NOTA: As missões de treinamento mencionadas neste item devem seguir as disposições da ANAC sobre o assunto.*

*b) Helicóptero a serviço das atividades de pesquisa, perfuração e produção de óleo e gás, nos casos de urgência ou que venham a configurar uma emergência. Nesses voos somente é permitido o transporte de profissionais especializados e/ou equipamentos e materiais para atender a situação de urgência ou emergência, observadas as demais provisões desta publicação.*

*NOTA: Entende-se por urgência, as seguintes situações que, se não forem adotadas providências corretivas, poderão resultar na evolução para uma situação de emergência:*

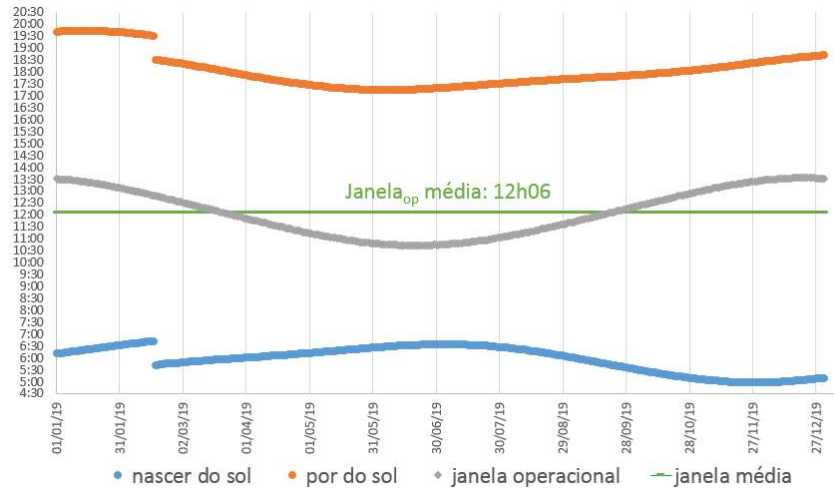
- situações que possam vir a comprometer o meio ambiente;*
  - situações que possam vir a comprometer seriamente a integridade física da plataforma marítima;*
  - situações que possam vir a comprometer seriamente a integridade física dos habitantes da plataforma marítima; e*
- situações que possam vir a colocar em risco a navegação em mar aberto das demais embarcações.”*

Desta forma a atividade aérea em helipontos offshore se enquadra na categoria de operação com janela de tempo limitada, tornando-se operacional entre os horários do nascer e pôr do sol no aeródromo.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Apesar da limitação regulamentar para operações ser no heliponto da unidade marítima, foi extrapolado aqui para o aeroporto de forma conservadora para dimensionamento das tabelas de voo.

O **Gráfico 1** apresenta a tabulação dos dados, de nascer e pôr do sol do aeroporto de Jacarepaguá para o ano de 2019, cuja janela operacional média foi de 12h06. A descontinuidade das curvas de nascer e pôr do sol deve-se ao fim do horário de verão.



**Gráfico 1:** Nascer e pôr do sol em SBJR

**Fonte:** Tabulado com dados do site AISWEB (2019)

Nota-se que no período do inverno a incidência de luz solar é diminuída e com isso a janela de operação aérea reduzida. O gráfico apresenta janela média de 12h06 e para um percentil de 80% temos uma janela acima de 11h01.

Apesar da janela operacional teórica ser de pelo menos 11h01 em 80% dos dias do ano, como há necessidade das aeronaves esperarem a sua vez de acionar no sequenciamento dos primeiros voos do dia (1 voo a cada 5 ou 10 minutos, por exemplo), foi considerado neste trabalho o tempo de janela operacional limitado a 10h30 nos aeroportos analisados.

Para a definição tempo de *setup* deve ser levado em consideração a Lei Nº 13.475, de 28/08/2017, conhecida como Lei do Aeronauta, que estabelece em seus Artigos 32 e 62, o seguinte:

*“Art. 32. Aos tripulantes empregados nos serviços aéreos definidos nos incisos II, III, IV e V do caput do art. 5o são assegurados os seguintes limites de horas de voo em uma mesma jornada de trabalho:*

*I - 9 (nove) horas e 30 (trinta) minutos de voo, na hipótese de integrante de tripulação mínima ou simples;*

*II - 12 (doze) horas de voo, na hipótese de integrante de tripulação composta;*

*III - 16 (dezesseis) horas de voo, na hipótese de integrante de tripulação de revezamento;*

*IV - 8 (oito) horas de voo, na hipótese de integrante de tripulação de helicópteros.*

*Art. 62. Para tripulante de helicópteros, a alimentação será servida em terra ou a bordo de unidades marítimas, com duração de 60 (sessenta) minutos, período este que não será computado na jornada de trabalho.”*

Como o Artigo 62 define que os 60 minutos não serão computados na jornada de trabalho, há ainda a necessidade de um tempo maior para preparação dos tripulantes para o voo seguinte, ou seja, o tempo total de parada para alimentação pode ser considerado por volta de 1h30.

Em função da legislação referenciada acima, para que os helicópteros possam realizar voos sem a necessidade de parada para almoço e preparação dos tripulantes (*setup* limitado a 45 min) e realizar até 3 voos diários com até 3 horas de duração, por exemplo (maior que as 8h00 regulamentares), faz-se necessário que haja mais de uma equipe de tripulação por aeronave. Contudo, a adoção de mais equipes de tripulantes é vantajosa para a operação, pois, o incremento de custo com tripulantes tende a ser compensado pela economia derivada da menor quantidade de aeronaves necessárias para atender a mesma demanda.

## **4.5 Metodologia para elaboração de tabelas de voos semanais**

Com a quantidade de voos semanais conhecida, o porte de helicóptero correspondente, bem como a duração estimada de cada um desses voos para todas as unidades marítimas, o próximo passo é a consolidação desses dados em um cronograma de atendimento para cada aeroporto considerado. Para a grande maioria das unidades marítimas as tabelas possuem recorrência semanal, ou seja, os voos ocorrem naqueles mesmos dias e horas da semana correspondente.

A seguir é apresentada uma proposta para construção das tabelas de voos semanais em 10 passos.

**Passo 1:** Definir o horário de início de operação do aeródromo.

Pode-se definir por exemplo, as 7h00 no período do verão e 6h30 fora dele em função do “achatamento” da janela operacional deste período. Poder-se-ia definir horário de voo ainda mais cedo, no entanto para conforto e bem-estar dos passageiros que teriam que chegar ainda mais cedo no aeroporto, optou-se por definir 6h30 como o horário do primeiro voo.

**Passo 2:** Definir o intervalo entre voos do aeródromo e das aeronaves.

O intervalo entre voos sequenciais, ou seja, de aeronaves diferentes será adotada neste trabalho de 10 min e o intervalo entre voos da mesma aeronave será adotado em 45 min, tempo necessário para reabastecimento e inspeções entre voos (*setup*).

Estes tempos devem ser considerados em função das limitações de processamento de passageiros no terminal e/ou das restrições de tráfego aéreo de cada aeroporto.

**Passo 3:** Hierarquizar a sequência dos voos de cada aeroporto por porte em função da duração do tempo da missão (do maior para o menor), iniciando pelas aeronaves de maior porte.

O principal motivo para que um voo offshore não ocorra na data planejada está intimamente ligado às questões meteorológicas, seja na plataforma, em rota ou no aeroporto. Uma condição corriqueiramente observada, que afeta as operações aéreas, é relacionada ao mau tempo devido as tempestades de verão que ocorrem mais no final da tarde.

Apesar do aeroporto está aberto para pousos e decolagens no momento do início da missão, as condições em rota e principalmente no retorno ao aeródromo são mais difíceis de serem previstas, com isso realizar voos longos no final do dia devem ser despriorizados na construção das tabelas semanais, pois estes voos demandam uma quantidade de combustível maior, com isso as folgas para possíveis contingências tendem a ser menores.

A priorização de voos mais curtos no final da jornada pode ter sua execução facilitada em função da maior folga operacional na quantidade de combustível que a tripulação pode requerer a fim de superar maiores adversidades durante o voo.

**Passo 4:** Dividir a quantidade de voos totais (por porte e por aeroporto) pelos 7 dias da semana uniformemente para calcular a quantidade de voos diários por porte de aeronave em cada aeroporto  $i$ .

**Passo 5:** Calcular a quantidade de aeronaves distintas utilizadas, por porte e em cada aeroporto, obtida pela divisão da quantidade de voos diários no aeroporto  $i$  utilizando aeronave  $k$  ( $v_{ijk}$ ) por  $N_{ik}^{max}$ .

Por exemplo, caso a quantidade de aeronaves distintas utilizadas de grande porte for igual a 3, haverá reserva de horários na tabela para as aeronaves GP1, GP2 e GP3. Caso a frota necessária calculada para o aeródromo ( $fleet_{ik}$ ) seja 4 (em função das folgas constantes na **Equação 4.19**), uma aeronave GP ficará de *stand by* naquela base, ou seja, sem utilização prevista em tabela para voos normais.

**Passo 6:** Começar o preenchimento da tabela de voo com o helicóptero denominado Grande Porte 1 (GP1) atendendo a unidade marítima mais distante nesta sequência: primeiro horário da segunda feira, depois primeiro horário da terça feira e assim por diante até se esgotar a totalidade de voos previstos para esta unidade;

**Passo 7:** Calcular o horário em que o GP1 estará apto para o próximo voo do dia, considerando o tempo total da missão acrescido do tempo previsto entre voos;

**Passo 8:** Continuar atendendo na sequência a unidade marítima seguinte no dia subsequente após o último atendimento à unidade marítima anterior;

**Passo 9:** Continuar até a totalidade dos voos de GP for atendido para todas as unidades marítimas;

Caso o horário escolhido para realizar o voo da aeronave já se encontrar ocupado, o horário imediatamente seguinte deverá ser alocado.

**Passo 10:** Repetir o mesmo procedimento para a demanda a ser atendida pelas aeronaves de menor porte, caso existam.

## 4.6 Indicadores de desempenho

Os indicadores de desempenho mais comuns da atividade aérea offshore são os relacionados às transferências e atrasos de voos. O indicador de atraso de voos indica o

percentual de passageiros (ou voos) atrasados (com uma dada tolerância de tempo) em relação aos passageiros (ou voos) totais transportados (ou realizados, no caso de voos) em um determinado período (normalmente mensal). Já o indicador de transferência indica a quantidade de passageiros que não foram atendidos no dia previsto inicialmente.

Pode-se analisar esse indicador de transferência sob dois aspectos:

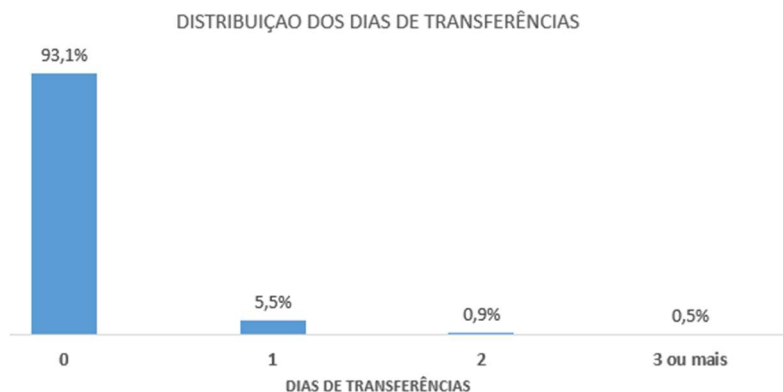
- **Indicador de Transferência Simples:** Desconsidera a quantidade de dias de transferência do passageiro, ou seja, não é diferenciado um determinado passageiro que teve seu voo transferido por mais de um dia consecutivo daquele que seu voo foi atendido no dia seguinte, apenas um dia será contabilizado, conforme apresentado na **Equação 4.22**.

$$\text{Indic\_transf\_simples} = \frac{\text{total de pax transferidos}}{\text{total de pax transportados}} \quad [4.22]$$

- **Indicador de Transferência Ponderado:** Considera a quantidade de dias de transferência do passageiro, ou seja, cada dia de transferência de um determinado passageiro será contabilizado, conforme mostra a **Equação 4.23**.

$$\text{Indic\_transf\_ponderado} = \frac{\text{total de pax transferidos} \times \text{dias de transferências}}{\text{total de pax transportados}} \quad [4.23]$$

O **Gráfico 2** apresenta a distribuição das transferências no ano de 2019 nas bases de Jacarepaguá e Cabo Frio consolidados (passageiros totais). O gráfico mostra que 93,1% dos passageiros foram transportados no dia inicialmente previsto, ou seja, sem transferência.



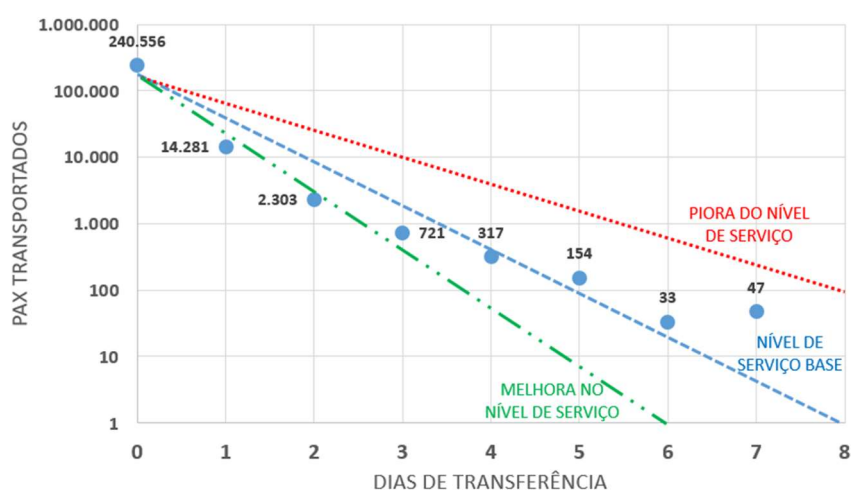
**Gráfico 2:** Distribuição de transferências em Jacarepaguá e Cabo Frio em 2019

**Fonte:** Compilação de dados PETROBRAS (2019)



Pode-se ainda plotar a distribuição dos passageiros com o eixo das ordenadas em escala logarítmica a fim de encontrarmos uma curva que melhor se adapta aos pontos observados e assim estimar as quantidades esperadas de dias de transferências a que os passageiros podem estar expostos.

O **Gráfico 3** apresenta os dados consolidados de passageiros transportados e transferências de Jacarepaguá e Cabo Frio no ano de 2019. Como pode-se observar no gráfico, após adotar o eixo ordenado logarítmico de número de passageiros transportados, os pontos plotados se aproximam de uma reta, a qual chamaremos de região de Nível de Serviço Básico.



**Gráfico 3:** Distribuição de transferências em Jacarepaguá e Cabo Frio em 2019 (eixo ordenado logarítmico)

**Fonte:** Compilação de dados PETROBRAS (2019)

A partir desta reta pode-se estimar, mantendo as condições semelhantes de operação (mesmo nível de serviço), o comportamento com o aumento na quantidade de passageiros transportados (transladando a curva azul pontilhada para cima). Manter mais do que dois dias um contingente grande (+1.000 por ano, por exemplo) de trabalhadores nessa situação não é desejável e, portanto, é necessário que haja uma melhoria no nível de serviço atual para o atendimento a demandas maiores.

A reta verde apresenta uma condição com nível de serviço melhorado, ou seja, aquela que deveria ser buscada, ao passo que a vermelha apresenta uma curva piorada. Na **Tabela 7** é apresentado os resultados operacionais de 2019 das bases de Jacarepaguá e Cabo Frio consolidados por tipo de unidade marítima.

**Tabela 7:** Indicadores de transferências 2019

<b>Tipo de UM</b>	<b>Pax transp.</b>	<b>Pax transf.</b>	<b>Pax transf. x dias de transf.</b>	<b>Indic. Transf. Simples</b>	<b>Indic. Transf. Ponderado</b>	<b>Média de dias transf.</b>
BARCO	37.191	6.887	11.295	18,5%	30,4%	1,6
PRODUÇÃO FIXA	14.857	489	520	3,3%	3,5%	1,1
PRODUÇÃO FLUTUANTE	147.635	7.605	8.690	5,2%	5,9%	1,1
SONDA (NS)	38.726	1.880	2.043	4,9%	5,3%	1,1
SONDA (SS)	18.341	835	905	4,6%	4,9%	1,1
TERRA	78	-	-	0,0%	0,0%	0,0
UMS	1.584	160	162	10,1%	10,2%	1,0
<b>Total</b>	<b>258.412</b>	<b>17.856</b>	<b>23.615</b>	<b>6,9%</b>	<b>9,1%</b>	<b>1,3</b>

**Fonte:** Compilação de dados PETROBRAS (2019)

Percebe-se que as unidades de produção fixa possuem os menores indicadores de transferências, tanto simples como ponderado (3,3% e 3,5% respectivamente) e os barcos os maiores (18,5% e 30,4% respectivamente), devido a maior suscetibilidade destas unidades marítimas aos movimentos do heliponto. Por isso, adotar o indicador simples em operações com muitas embarcações especiais pode não ser o mais adequado, pois não retrataria fielmente os transtornos gerados por longos períodos de transferência gerados por mau tempo, por exemplo.

Na **Tabela 8** é apresentado o resultado das 20 unidades marítimas (das 78 atendidas durante o ano de 2019) que tiveram os maiores índices de transferência nas bases de Jacarepaguá e Cabo Frio. Observa-se que o FCSV (unidade de produção em TLD com sistema de amarração em Turret) possui indicadores comparáveis às embarcações especiais (PLSV, DSV etc.), por isso também deveria receber restrição de pouso a aeronave de grande porte.

**Tabela 8:** Ranking das unidades marítimas por índices de transferência

Pos.	Tipo de UM	UM	Pax transp.	Pax transf.	Pax transf. x dias	Indic. Transf. Simples	Indic. Transf. Ponderado
1	BARCO	HORI	362	126	215	35%	59%
2	BARCO	SUVI	86	20	46	23%	53%
3	BARCO	NS52	3697	814	1686	22%	46%
4	BARCO	SKBU	2757	722	1222	26%	44%
5	BARCO	SKOL	2335	506	1016	22%	44%
6	BARCO	SAON	2057	416	777	20%	38%
7	BARCO	SAJA	1758	364	621	21%	35%
8	BARCO	SARU	2191	492	773	22%	35%
9	BARCO	SADI	1331	277	446	21%	34%
10	BARCO	SKRE	2169	416	659	19%	30%
11	PRODUÇÃO FLUTUANTE	FCSV	1500	289	441	19%	29%
12	BARCO	WAVE	1780	329	469	18%	26%
13	BARCO	ATLA	2079	347	507	17%	24%
14	BARCO	SKAU	2634	463	623	18%	24%
15	BARCO	SESU	2985	457	662	15%	22%
16	BARCO	SATO	1663	288	349	17%	21%
17	BARCO	TEMA	1999	282	412	14%	21%
18	BARCO	SRIO	2951	390	578	13%	20%
19	BARCO	SAES	577	66	106	11%	18%
20	PRODUÇÃO FLUTUANTE	FPAR	6219	507	840	8%	14%

**Fonte:** Compilação de dados PETROBRAS (2019)

Destaca-se ainda, a unidade marítima NS52 (SIEM HELIX2), com o terceiro pior indicador de transferência ponderado, que apesar desta unidade ser considerada um Navio Sonda, devido as características técnicas (helideck sobre casario, conforme mostra **Figura 24**) está categorizado, conforme consta na portaria de homologação da ANAC (PORTARIA N° 308/SIA, DE 30 DE JANEIRO DE 2018), como Classe 3, com isso, se equiparando as restrições de movimento dos barcos (mais restritivos).



**Figura 24** NS52 (esquerda) e FCSV (direita com *turret* na proa)

**Fonte:** Adaptado de MARINHA DO BRASIL (2020)

Outro ponto de destaque é o FCSV, 11º pior indicador de transferência. Esta unidade de produção flutuante era uma plataforma que operava na baía de Santos realizando TLD, com ancoragem tipo turrete, conforme mostra a **Figura 24**. Já a FPPL, que também é uma unidade TLD com sistema de ancoragem utilizando turrete, não apresentou índices de transferências elevados, ficando na casa dos 5% de passageiros transferidos, ou seja, abaixo da média da baía. Por isso, o tipo de sistema de ancoragem sozinho não explicaria o valor alto de transferência do FCSV.

Além do tipo de unidade marítima e suas características de ancoragem/estabilidade, um outro fator importante a ser considerado como influente no indicador de transferência são as condições meteorológicas no aeroporto, com isso, ações específicas neste período devem ser consideradas. Pode-se citar como ações, o aumento de recursos de manutenção das empresas aéreas (mecânicos, inspetores, ferramental e componentes aeronáuticos), equipes de apoio (despachantes, abastecedores) e demais recursos (fontes externas, tratores de reboque, materiais de rampa, entre outros). O abastecimento dos helicópteros através de dispositivos sob pressão também pode auxiliar, uma vez que sob determinados níveis de chuva, o abastecimento sob gravidade pode ficar prejudicado.

## 5. Experimentações e Resultados

Nesta seção são definidas as bases aeroportuárias e unidades marítimas consideradas, bem como suas demandas de passageiros e restrições operacionais. Os resultados obtidos através do experimento proposto também são apresentados.

Inicialmente, são apresentados os dados de entrada com a localização e demanda das unidades marítimas, bem como as bases aeroportuárias consideradas, com suas respectivas restrições de capacidade e localização. Em seguida, são definidos os cenários que serão implementados no **MAMV**.

Utiliza-se no modelo a biblioteca desenvolvida em linguagem Python chamada NetworkX (2022), cujo objetivo é criar, manipular e estudar a estrutura, dinâmica e funções de redes complexas, para modelar o espaço aéreo e para obter o caminho mínimo da rota aeroporto → unidade marítima → aeroporto.

Para a implementação do **MAMV** e cálculos de desempenho, foram desenvolvidos códigos na linguagem de programação Python, utilizando o pacote PuLP (2022), um modelador de programação linear, cujos códigos fonte e dados de entrada foram hospedados em um repositório no site Github, a saber: [github.com/hugolustosa/Gerador-de-Tabelas](https://github.com/hugolustosa/Gerador-de-Tabelas). Um computador com CPU Intel(R) Core(TM) i3-8130U @ 2.20GHz 2.21GHz foi usado para processar o modelo que executou cada rodada de cenário no tempo aproximado de 20 segundos.

Ao final é realizada a análise dos resultados para os diversos cenários estudados considerando o **MAMV**.

### 5.1 Estudo de caso

Em junho de 2021, os aeroportos de Jacarepaguá e Cabo Frio, ambos no estado do Rio de Janeiro, atendiam 42 unidades marítimas a serviço da Petrobras, principal operadora brasileira de petróleo e gás, na bacia de Santos.

O número e a localização de algumas destas unidades marítimas podem variar ao longo do tempo em função das atividades a desenvolver, bem como da implementação de novos projetos de desenvolvimento da produção, entre outros. Para este estudo, as unidades marítimas foram divididas nas categorias listadas na **Tabela 9**. Essa categorização tem

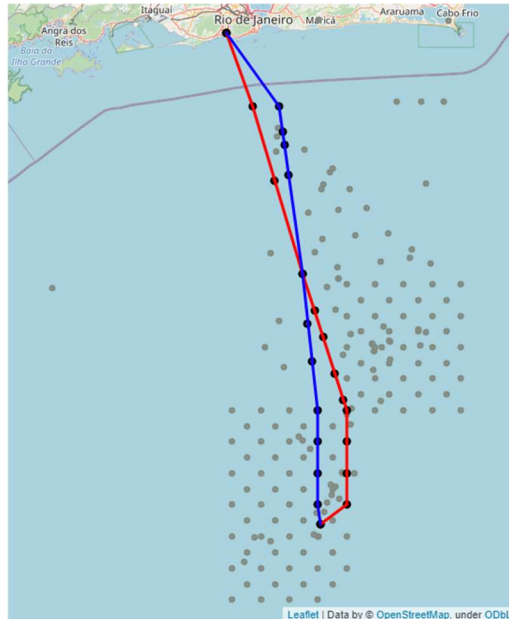
como objetivo definir a demanda semanal de transporte de passageiros, bem como possíveis restrições operacionais ao desembarque no heliponto.

**Tabela 9:** Tipos de unidades marítimas consideradas na área de estudo

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Altera locação?</b>
Produção fixa definitiva	2	NÃO
Produção flutuante definitiva	18	NÃO
Produção flutuante teste	1	SIM
Sondas (NS e SS)	9	SIM
Barcos especiais (PLSV, DSV)	8	SIM
UMS – Unidade de Manutenção e Segurança	4	SIM
	<b>42</b>	

A definição do itinerário é feita a partir da modelagem do espaço aéreo apresentada na Seção 4.1. O espaço aéreo da Baía de Santos precisa ser modelado para que possa representar o disposto na Circular de Informações Aeronáuticas AIC 27/21, do DECEA (Departamento de Espaço Aéreo do Brasil), e garantir que a trajetória da aeronave siga conforme recomendado na legislação aeronáutica, e não em linha reta (rota direta), para que suas distâncias percorridas entre aeroporto → unidade marítima → aeroporto possam ser calculadas corretamente.

A **Figura 25** mostra um exemplo de trajetória de planejamento de voo saindo do aeroporto de Jacarepaguá com destino ao FPSO P-66 e retorno a Jacarepaguá. A caminho da unidade marítima (linha vermelha), a aeronave passa por um portão de entrada obrigatório na baía e por 10 waypoints até chegar à plataforma percorrendo 167,2 milhas náuticas. Na volta (linha azul) para o continente, a aeronave passa por 10 waypoints e 1 portão de saída obrigatória da baía, percorrendo mais 163,3 milhas náuticas.



**Figura 25** Exemplo de roteiro SBJR → FPSO P-66 → SBJR

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

Pode-se observar que a trajetória da aeronave deve seguir um trajeto específico passando pelos portões de entrada e saída da baía, além de rotas e waypoints específicos dependendo da localização da unidade marítima.

O **MAMV** consiste em atender cada unidade marítima, com sua localização e demanda de passageiros conhecidos, por meio de aeroportos existentes localizados geograficamente mais próximos a essas unidades e contíguos à costa. No caso em estudo, os aeródromos avaliados estão localizados no litoral do estado do Rio de Janeiro, mais precisamente entre os municípios de Macaé e Rio de Janeiro.

## 5.2 Dados de entrada

Foi considerada a demanda estimada de passageiros para operação das 42 unidades marítimas atendidas nos aeroportos de Jacarepaguá e Cabo Frio em junho de 2021, com sua devida localização georreferenciada nesta data. A necessidade de se ter uma “fotografia” da localização das unidades marítimas se faz necessária devido as suas constantes mudanças de locações, principalmente de embarcações especiais (PLSV, DSV). Para determinar a demanda de embarques (assentos) por tipo de unidade marítima usou-se a **Tabela 10**.

**Tabela 10:** Estimativa de demanda de passageiros (embarques semanais)

<b>Tipo</b>	<b>Proporção em 2019</b>	<b>Percentil 0,50</b>	<b>Percentil 0,75</b>	<b>Percentil 0,90</b>
Produção	63%	72	75	77
Sonda	22%	85	87	89
Barco especial	14%	25	30	35
Outros	1%	-	-	-

**Fonte:** Compilação de dados PETROBRAS (2019)

A **Tabela 10** foi elaborada analisando dados de transporte de passageiros ao longo de 2019 das bases de Jacarepaguá e Cabo Frio. Unidades fixas e UMS (Unidades de Manutenção e Segurança) foram desconsideradas na análise devido à pequena amostra analisada no período. A demanda semanal de embarque das UMSs foi adotada em 250. Neste trabalho foi considerado o P75 (percentil 75%) para estimar a demanda das unidades.

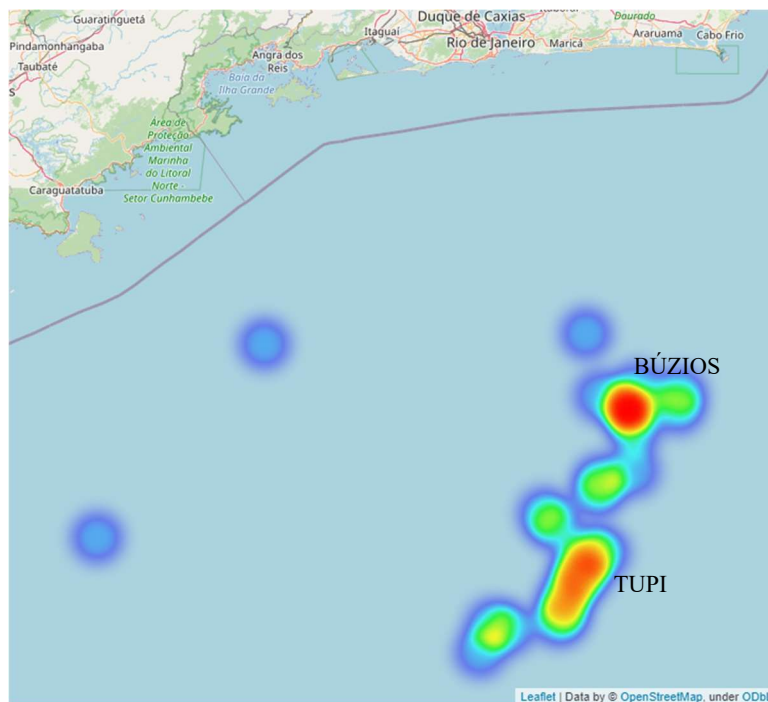
A **Tabela 11** apresenta as unidades marítimas bem como suas respectivas demandas semanais de embarque adotadas e a **Figura 26** mostra um mapa de calor com a localização das unidades com a ‘temperatura’ aumentando em função da demanda de passageiros, com destaque para as regiões dos blocos de Búzios e Tupi que concentram a maior parte da demanda da baía de Santos.



**Tabela 11:** Unidades marítimas consideradas

#	UM	Lat	Long	Demanda semanal	Restrição helideck?
1	PMLZ	-24.35	-44.38	75	SIM
2	PMXL	-25.27	-45.25	75	SIM
3	FPAR	-25.54	-42.84	75	NÃO
4	FPIB	-25.67	-43.21	75	NÃO
5	FPIT	-25.14	-42.94	75	NÃO
6	FPMA	-25.20	-42.88	75	NÃO
7	FPMR	-25.45	-42.75	75	NÃO
8	FPPA	-25.39	-42.76	75	NÃO
9	FPPL	-24.66	-42.23	75	NÃO
10	FPCS	-24.30	-42.71	75	NÃO
11	FPSP	-25.80	-43.26	75	NÃO
12	FPSA	-25.49	-42.78	75	NÃO
13	NS31	-24.56	-42.45	87	NÃO
14	NS33	-24.60	-42.64	87	NÃO
15	NS38	-24.73	-42.41	87	NÃO
16	NS39	-24.57	-42.25	87	NÃO
17	NS40	-24.59	-42.20	87	NÃO
18	NS42	-25.08	-42.65	87	NÃO
19	NS43	-25.16	-42.92	87	NÃO
20	NS44	-24.99	-42.64	87	NÃO
21	P_66	-25.60	-42.82	87	NÃO
22	P_67	-25.33	-42.69	87	NÃO
23	P_68	-25.02	-42.67	87	NÃO
24	P_69	-25.66	-42.86	87	NÃO
25	P_70	-24.95	-42.47	87	NÃO
26	P_74	-24.65	-42.51	87	NÃO
27	P_75	-24.79	-42.51	87	NÃO
28	P_76	-24.69	-42.51	87	NÃO
29	P_77	-24.64	-42.41	87	NÃO
30	SS75	-25.69	-43.11	87	NÃO
31	UMMA	-24.65	-42.52	250	NÃO
32	UMPA	-25.60	-42.82	250	NÃO
33	UMTJ	-24.69	-42.51	250	NÃO
34	UMVE	-24.30	-42.71	250	NÃO
35	SRIO	-24.63	-42.42	30	SIM
36	SARU	-25.33	-42.62	30	SIM
37	SAJA	-25.67	-42.83	30	SIM
38	FASA	-24.67	-42.46	30	SIM
39	SECR	-25.54	-42.80	30	SIM
40	SAON	-25.33	-42.69	30	SIM
41	SKST	-25.40	-42.73	30	SIM
42	SKAU	-25.47	-42.71	30	SIM

Fonte: Compilação de dados PETROBRAS (2021)



**Figura 26** Mapa de calor das unidades marítimas – demanda de pax

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

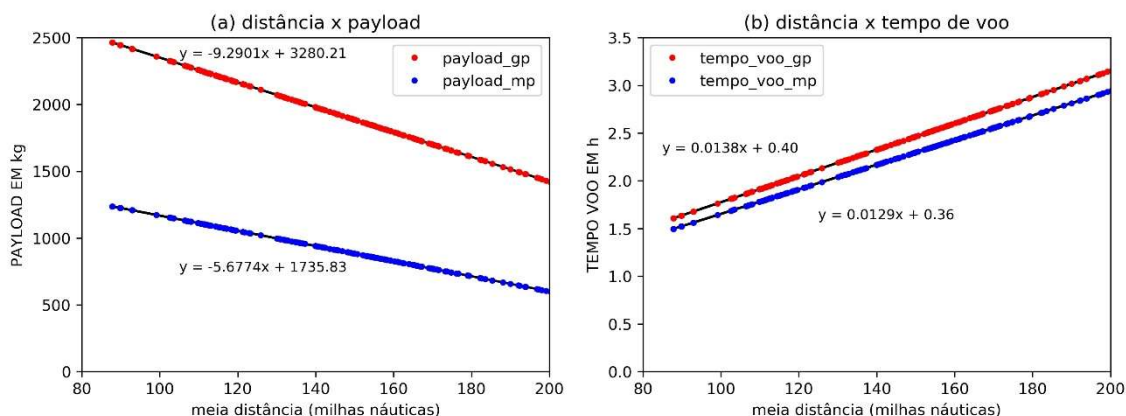
O estudo de caso considera também que os aeródromos terão suas capacidades limitadas em quantidade de voos diárias, seja por porte de aeronave, como também no quantitativo total. A **Tabela 12** apresenta os aeródromos considerados no estudo de caso com suas respectivas restrições virtuais de capacidade.

**Tabela 12:** Localização e restrições dos aeródromos

Aeródromo	Lat.	Long.	Restrição de voos diários		
			Grande porte	Médio porte	Total
SBJR	-22,9875	-43,3700	15	20	26
SBMI	-22,9186	-42,8289	10	10	15
SBCB	-22,9208	-42,0714	15	20	26
SBME	-22,339	-41,762	SEM RESTRIÇÃO	SEM RESTRIÇÃO	SEM RESTRIÇÃO

### 5.3 Parametrização dos tempos de voos e *payloads* das missões

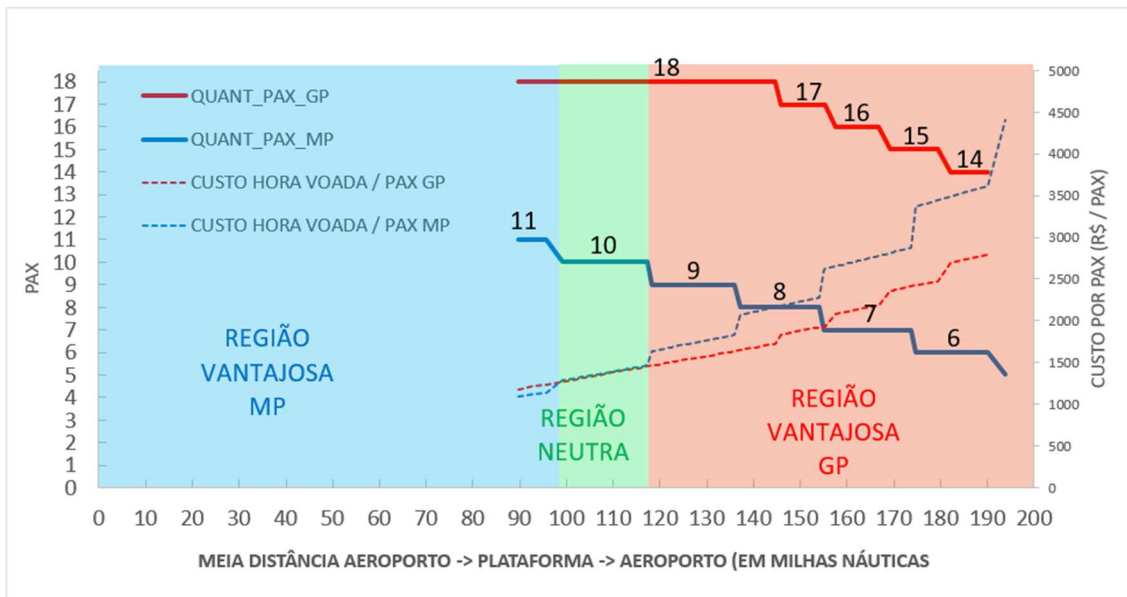
Com o Modelo de Performance de Helicóptero, foi possível parametrizar os tempos totais de voo (desde a decolagem no aeroporto até o pouso final no aeroporto) e capacidades para os dois tipos de helicópteros estudados, GP (Grande Porte) e MP (Médio Porte). O **Gráfico 4** apresenta os resultados destas parametrizações.



**Gráfico 4:** Parametrizações (a) *payload*, (b) tempo de voo

A partir dessas parametrizações é possível avaliar preliminarmente as regiões mais vantajosas para se operar com aeronaves de grande e médio porte considerando a relação entre os custos variáveis (preço de hora voada e de combustível) dos respectivos portes dos helicópteros.

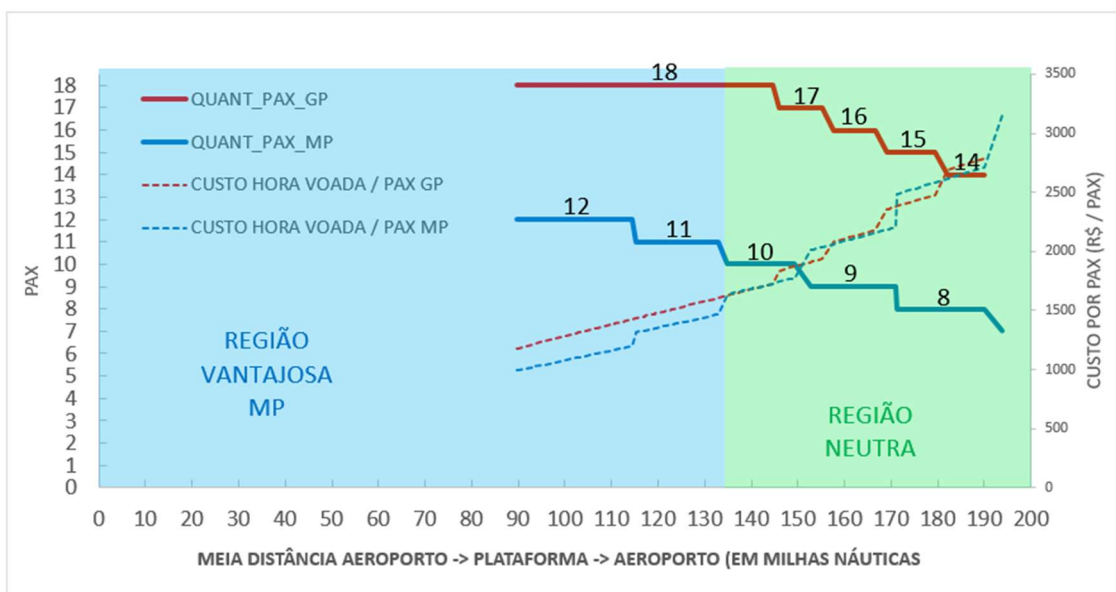
O **Gráfico 5** apresenta as regiões mais vantajosas para operar por tipo de aeronave, levando em conta o custo variável (inclusive combustível) por passageiro transportado, considerando que as aeronaves tenham ocupação total de seus assentos no limite do disponível para cada missão com aeronaves de médio porte considerada neste estudo de MTW de 6.800 kg.



**Gráfico 5:** Região preferencial com MP de MTW = 6.800 kg

Pode-se observar pelo **Gráfico 5** que unidades marítimas que estejam até 99 milhas náuticas de meia distância de roteiro aeroporto → unidade marítima → aeroporto tendem a ser operadas por helicópteros de médio porte. As unidades marítimas que estejam entre 99 e 118 milhas náuticas estão em uma região neutra, ou seja com custo similar de serem atendidas por um ou outro modelo de aeronave. Nesta região a aeronave de médio porte tem capacidade de embarcar 10 passageiros e a de grande porte tem capacidade de 18 passageiros. Já as unidades que se localizam a distância maiores que 118 milhas náuticas tendem a ser operadas por helicópteros de grande porte.

Já quando consideramos a aeronave de médio porte com MTW de 7.000 kg (melhoria estrutural possível no AW139) a aeronave de grande porte não possui mais claramente uma região de preferência. O **Gráfico 6** mostra as novas regiões de preferência com a aeronave de médio porte estando com vantagem para distâncias de até cerca de 133 milhas náuticas. A partir daí os custos se equivalem para os dois modelos.



**Gráfico 6:** Região preferencial com MP de MTW = 7.000 kg

Essa análise pode ser interessante quando se tem incerteza sobre a demanda de embarques para unidades marítimas e se queira utilizar apenas um tipo de modelo de aeronave. Contudo, essa é uma avaliação preliminar, pois, ao não se levar em consideração a demanda de cada unidade marítima especificamente e se utiliza apenas um porte de helicóptero poder-se-á ocorrer sobre ofertas de assentos em determinados voos.

Com a possibilidade de se adotar um mix de atendimento, utilizando helicópteros grande quanto de médio porte para atender a tabela de voos de uma mesma unidade marítima, a possibilidade de sobra de assentos é diminuída, e com isso mais provável de se encontrar a melhor combinação de atendimento na qual será aquela que se obtém o menor custo variável total.

## 5.4 Definições dos cenários e valores dos parâmetros

Foram construídos seis cenários, consolidados na **Tabela 13**, para avaliar a configuração ótima do serviço, considerando as diversas combinações de abertura e fechamento dos aeródromos em análise.

Cenários com um único aeródromo aberto não foram considerados devido à premissa estratégica de não concentrar toda a demanda de passageiros da bacia de Santos em um único ponto de atendimento. O Cenário 6 representa a análise de sensibilidade ao preço do combustível.

**Tabela 13:** Cenários analisados

Cenário	SBJR	SBMI	SBCB	SBME
1	ABERTO	ABERTO	ABERTO	FECHADO
2	ABERTO	FECHADO	ABERTO	FECHADO
3	ABERTO	ABERTO	FECHADO	FECHADO
4	FECHADO	ABERTO	ABERTO	FECHADO
5	ABERTO	FECHADO	FECHADO	ABERTO
6 (sem restrições de capacidade)	ABERTO	ABERTO	ABERTO	FECHADO

Nos cenários que o aeroporto de Cabo Frio (SBCB) encontra-se aberto, abrir o aeroporto de Macaé (SBME) torna-se ineficaz pois todas as unidades em análise são mais próximas de Cabo Frio quando comparado à Macaé.

Dentre os aeródromos em análise, Cabo Frio seria o único com capacidade de atender toda a demanda especificada, em função de sua estrutura física e operacional. Este aeródromo já foi testado em um nível de operação semelhante no ano de 2016, quando o Rio de Janeiro sediou as Olimpíadas e Paraolimpíadas Rio2016, uma vez que o aeroporto de Jacarepaguá necessitou ter suas operações temporariamente suspensas em função das restrições do espaço aéreo na região da Barra da Tijuca.

Na **Tabela 14** são definidos os parâmetros adotados para o cálculo de performance e verificação de dimensionamento da frota.

**Tabela 14:** Valores dos parâmetros das aeronaves adotados

Item	Porte	
	Grande	Médio
$MTW$	26.500 lb	6.800 kg
$OBW$	18.115 lb	4.680 kg
$w^{pax}$	235 lb	107 kg
$fuelc^f$	1.350 lb/h	400 kg/h
$fuelc^g$	675 lb/h	320 kg/h
$t^g$	17 min	17 min
$t^{dck}$	10 min	8 min
$t^{pc}$	4 min	4 min
$spd^{cru}$	145 kt	155 kt
$cei^{cru}$	3.000 pés	3.000 pés
$r^{asc}$	800 pés/min	800 pés/min
$r^{des}$	500 pés/min	500 pés/min
$Rf$	5 dias	5 dias
$Av^{average}$	92,5%	92,5%
$Window^{op}$	10,5 horas	10,5 horas
$T^{setup}$	45 min	45 min
$f^p$	R\$ 9.000/h	R\$ 5.000/h
$fuelp^p$	R\$ 5,00/l	R\$ 5,00/l
$s$	18 assentos	12 assentos

Fonte: Manuais das aeronaves e estimados pelo Autor

## 5.5 Resultados das alocações ótimas

A **Tabela 15** apresenta o resultado do cálculo das capacidades de embarque de passageiros em cada aeroporto para todas as unidades marítimas.

Nem todas as combinações de origem e destino são factíveis (exemplo: SBME  $\rightarrow$  PMLZ  $\rightarrow$  SBME) em função da autonomia das aeronaves, contudo essa restrição não foi considerada, pois, espera-se que no modelo estas combinações sejam rejeitadas em função do seu alto custo derivado. Aquelas unidades que possuem restrição de helideck para aeronaves de grande porte indicam a quantidade de zero passageiros para este modelo.

**Tabela 15:** Resultado das capacidades de embarque de pax

#	UM	SBJR		SBMI		SBCB		SBME	
		GP	MP	GP	MP	GP	MP	GP	MP
1	PMLZ	0	7	0	5	0	4	0	2
2	PMXL	0	10	0	9	0	7	0	5
3	FPAR	16	7	16	7	15	7	12	5
4	FPIB	15	7	15	6	14	6	11	4
5	FPIT	18	9	18	8	18	8	14	6
6	FPMA	18	8	18	8	17	8	14	6
7	FPMR	17	7	17	7	16	7	13	5
8	FPPA	17	8	17	8	16	7	13	5
9	FPPL	18	9	18	10	18	10	18	8
10	FPCS	18	11	18	11	18	11	18	9
11	FPSP	15	7	15	6	14	6	10	4
12	FPSA	16	7	16	7	16	7	13	5
13	NS31	18	10	18	10	18	10	18	8
14	NS33	18	10	18	10	18	10	17	8
15	NS38	18	9	18	9	18	10	17	8
16	NS39	18	9	18	10	18	10	18	8
17	NS40	18	9	18	10	18	10	18	8
18	NS42	18	9	18	8	18	8	15	6
19	NS43	18	9	18	8	18	8	14	6
20	NS44	18	9	18	9	18	9	15	7
21	P_66	16	7	16	7	15	7	12	5
22	P_67	17	8	17	8	17	8	13	6
23	P_68	18	9	18	9	18	8	15	6
24	P_69	16	7	15	7	15	6	12	4
25	P_70	18	9	18	9	18	9	16	7
26	P_74	18	10	18	10	18	10	17	8
27	P_75	18	9	18	9	18	9	16	7
28	P_76	18	10	18	10	18	10	17	8
29	P_77	18	10	18	10	18	10	18	8
30	SS75	15	7	15	6	14	6	11	4
31	UMMA	18	10	18	10	18	10	17	8
32	UMPA	16	7	16	7	15	7	12	5
33	UMTJ	18	10	18	10	18	10	17	8
34	UMVE	18	11	18	11	18	11	18	9
35	SRIO	0	10	0	10	0	10	0	8
36	SARU	0	8	0	7	0	7	0	5
37	SAJA	0	7	0	7	0	6	0	4
38	FASA	0	9	0	10	0	10	0	8
39	SECR	0	7	0	7	0	7	0	5
40	SAON	0	8	0	8	0	8	0	6
41	SKST	0	8	0	8	0	7	0	5
42	SKAU	0	7	0	7	0	7	0	5



### 5.5.1 Cenário 1 (SBJR, SBMI e SBCB)

Os Gráficos 7 e 8 apresentam o resultado das tabelas semanais de voo para o Cenário 1 da análise, que considera os aeroportos de SBJR, SBMI e SBCB abertos à operação com suas devidas restrições de capacidade atendidas. No Apêndice 1 é apresentado, como exemplo, o resultado da tabela de voos de SBJR com os horários definidos conforme metodologia apresentada na Seção 4.5.

No Gráfico 7(a) é apresentada a verificação da frota, por tipo de modelo em cada aeródromo. Verifica-se que SBJR foi a única base que necessitou de mais aeronaves de grande porte do que de médio porte. Em (b) é apresentado a quantidade de voos semanais em cada base por porte de aeronave. Em (c) a quantidade de horas voadas por porte em cada base e por último em (d) a quantidade de assentos disponibilizados no embarque por semana em cada aeródromo por porte de aeronave.

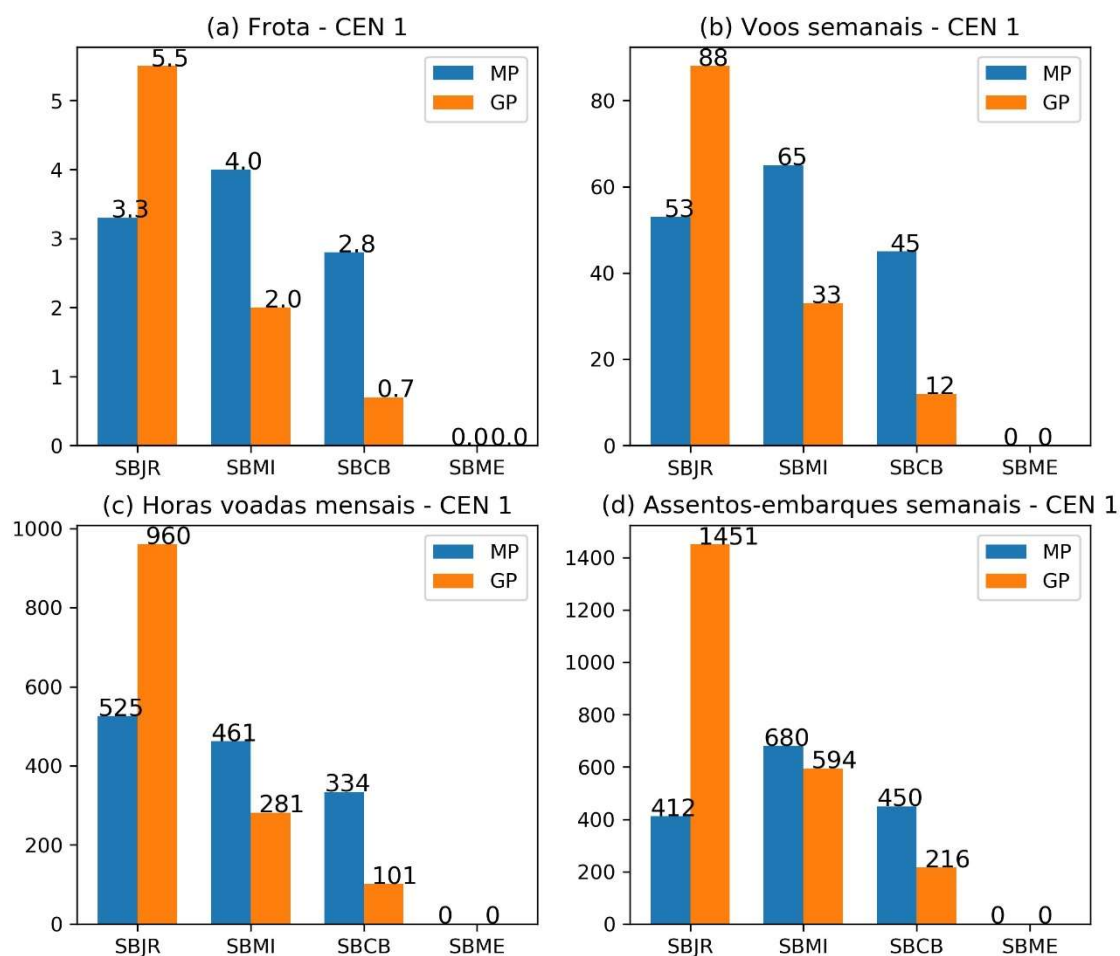
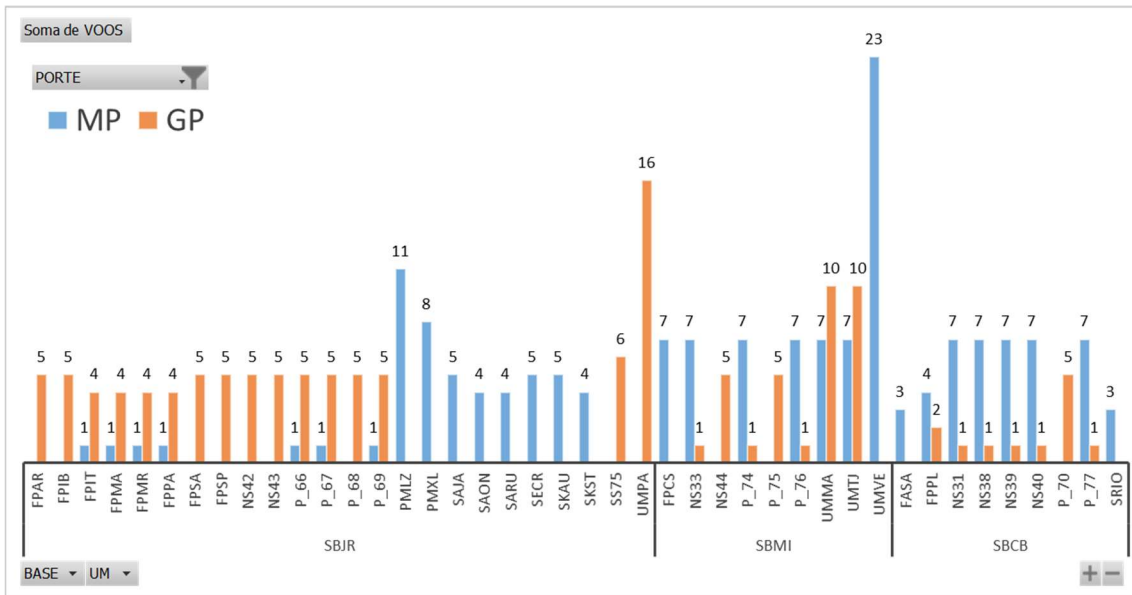
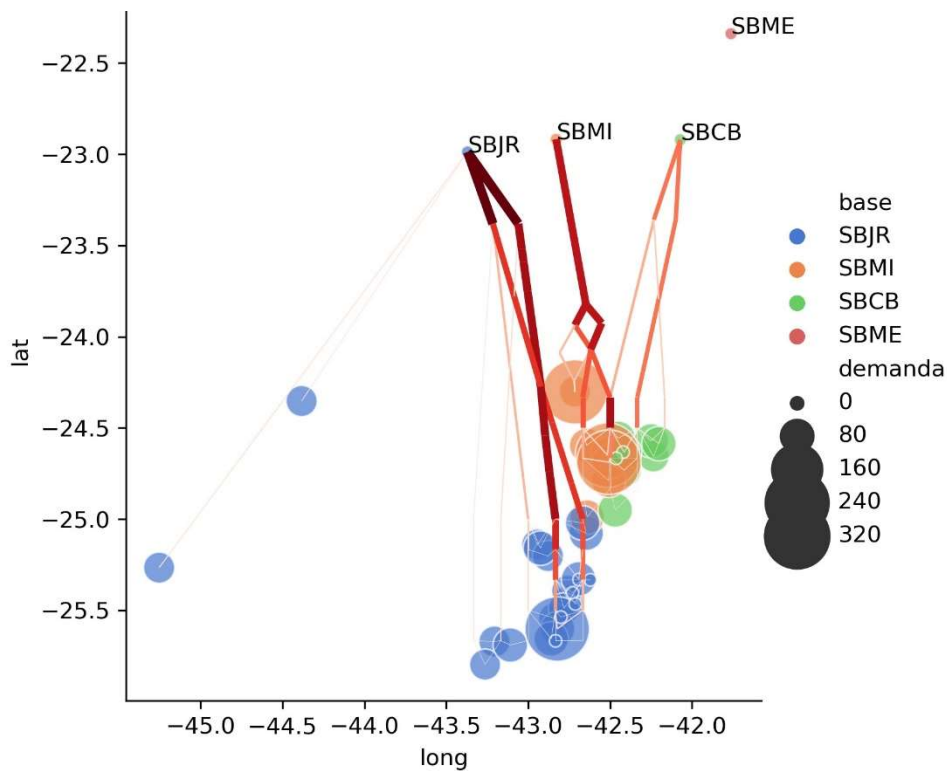


Gráfico 7: Cenário 1 – Distribuição ótima por base (a) frota, (b) voos, (c) horas voadas, (d) assentos embarque



**Gráfico 8:** Cenário 1 – Distribuição ótima por unidade marítima

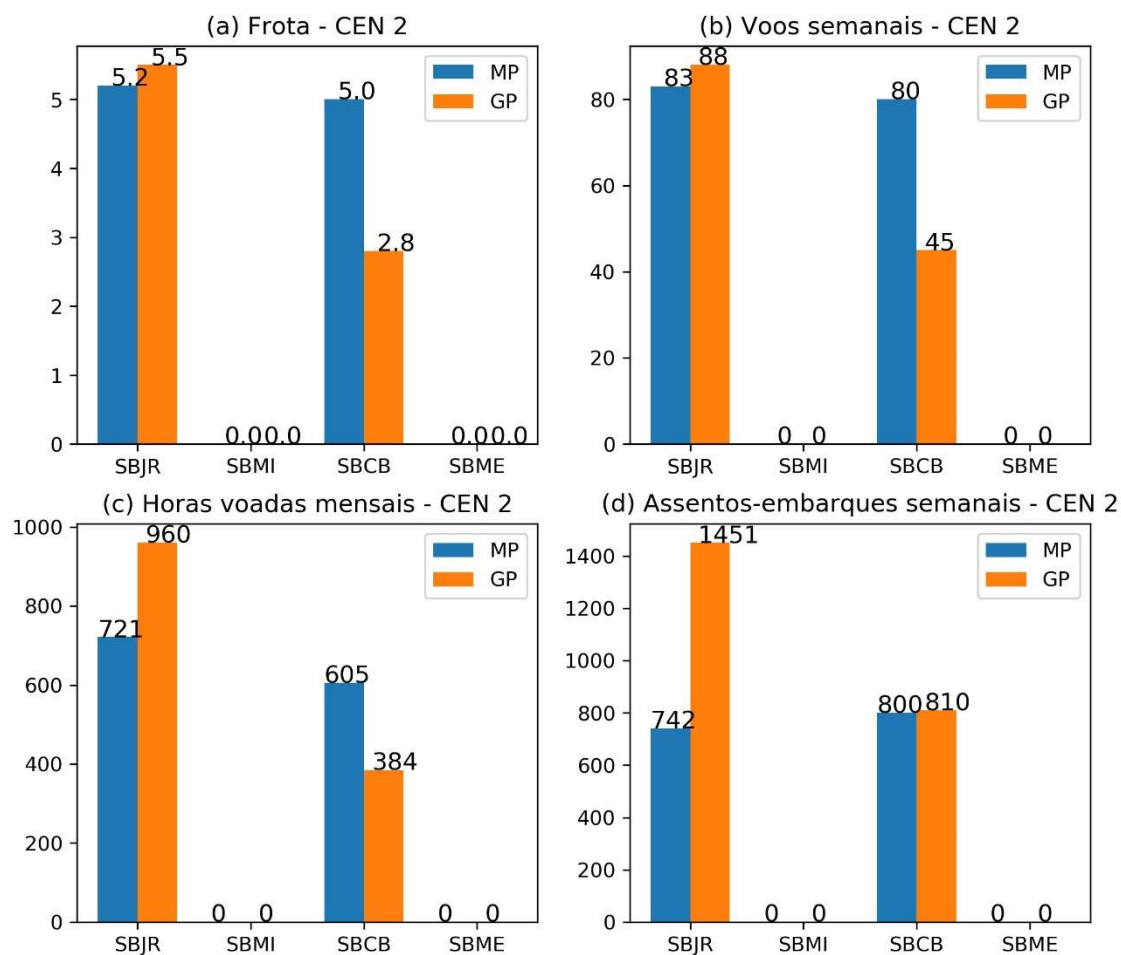
Verifica-se uma maior concentração de voos de grande porte no aeroporto de Jacarepaguá e de médio porte nos aeroportos de Maricá e Cabo Frio. No eixo x do **Gráfico 8** constam as unidades marítimas com seus respectivos voos semanais. A **Figura 27** apresenta mapa com a alocação de atendimento para o Cenário 1. Quanto mais espessa e escura a aresta indica, maior tráfego aéreo no trecho resultante da otimização.



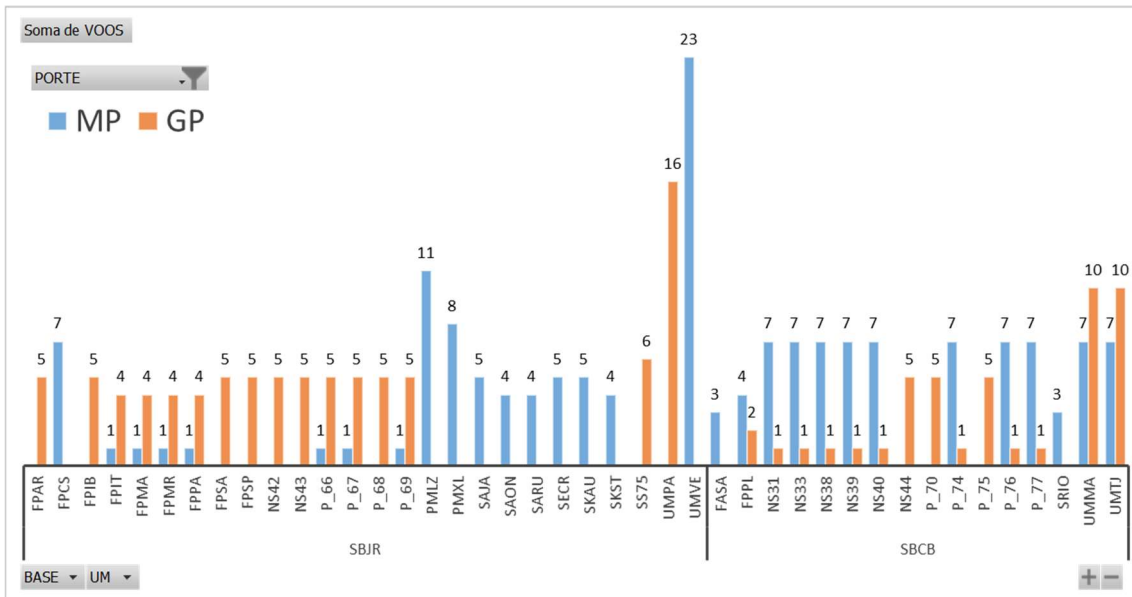
**Figura 27** Cenário 1: Mapa com localização ótima das unidades marítimas

## 5.5.2 Cenário 2 (SBJR e SBCB)

Os Gráficos 9 a 10 apresentam os resultados das tabelas semanais de voo para o cenário de análise que considera os aeroportos de SBJR e SBCB abertos à operação com suas respectivas capacidades limitadas. O Gráfico 9 representa o mesmo padrão do Gráfico 7.

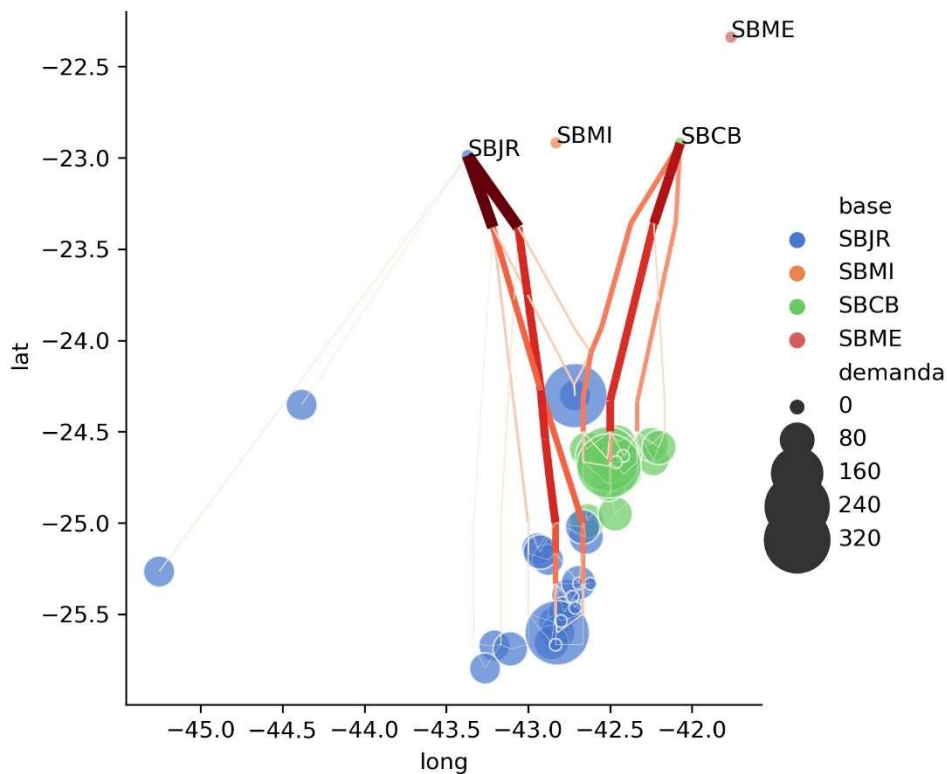


**Gráfico 9:** Cenário 2 – Distribuição ótima por base (a) frota, (b) voos, (c) horas voadas, (d) assentos embarque



**Gráfico 10:** Cenário 2 – Distribuição ótima por unidade marítima

Verifica-se uma maior concentração de voos de grande porte no aeroporto de Jacarepaguá e de médio porte no aeroporto de Cabo Frio. A **Figura 28** apresenta mapa com a alocação de atendimento para o Cenário 2.

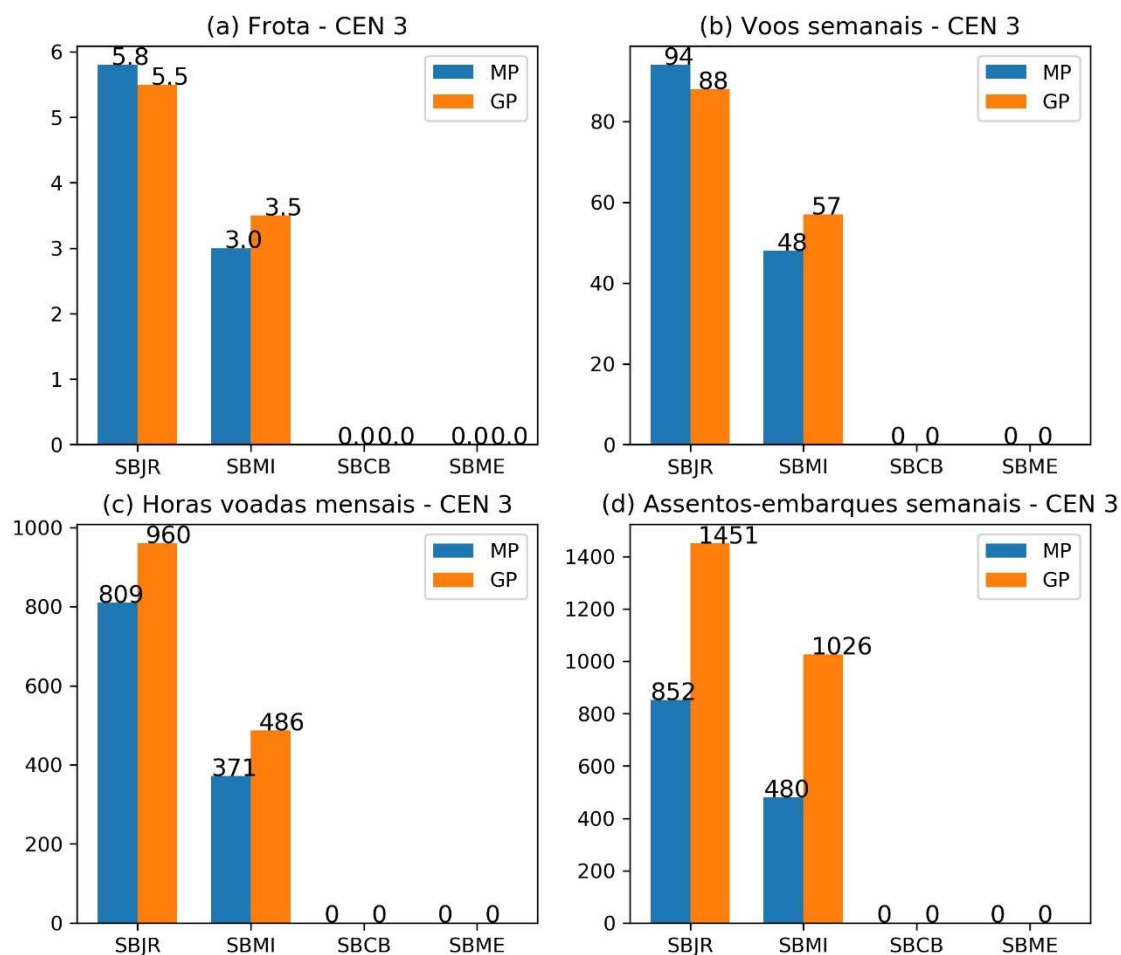


**Figura 28** Cenário 2: Mapa com localização ótima das unidades marítimas

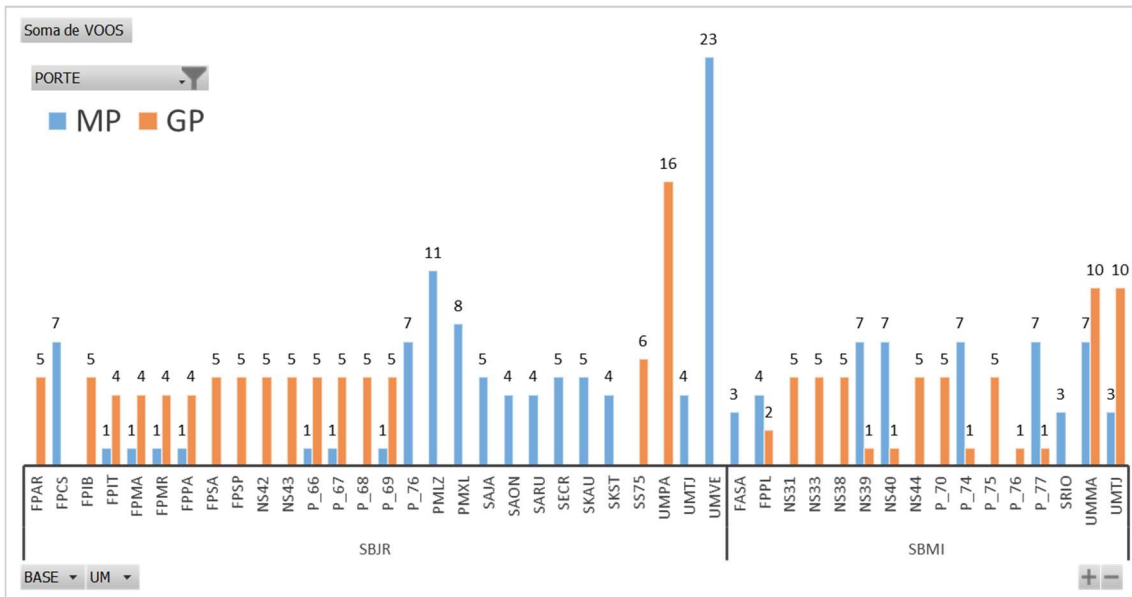
### 5.5.3 Cenário 3 (SBJR e SBMI)

Os Gráficos 11 a 12 apresentam os resultados das tabelas semanais de voo que considera os aeroportos de SBJR e SBMI abertos à operação com as restrições de capacidade. O Gráfico 11 representa o mesmo padrão do Gráfico 7.

Toda a capacidade do aeroporto de Jacarepaguá foi atingida. A parte remanescente de demanda mais a leste da bacia foi atendida por Maricá. Em SBJR, apesar da quantidade de voos semanais ser maior nas aeronaves de médio porte a quantidade de horas voadas é maior nas de grande, o que indica que os voos mais longos estão sendo alocadas a aeronaves de grande e os voos mais curtos nas de médio.

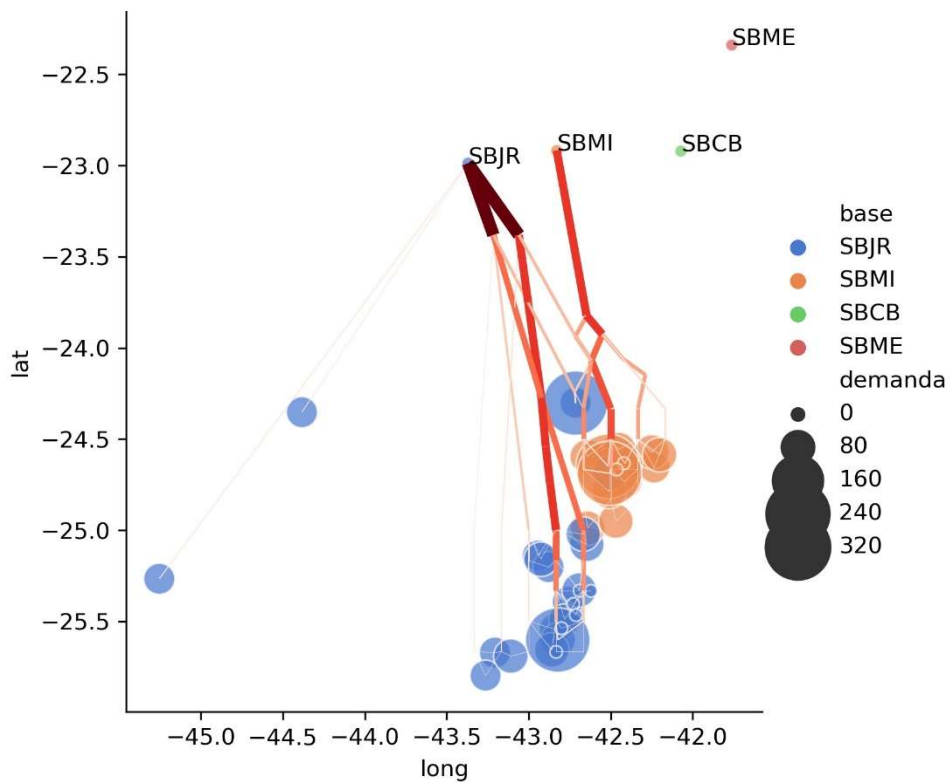


**Gráfico 11:** Cenário 3 – Distribuição ótima por base (a) frota, (b) voos, (c) horas voadas, (d) assentos embarque



**Gráfico 12:** Cenário 3 – Distribuição ótima por unidade marítima

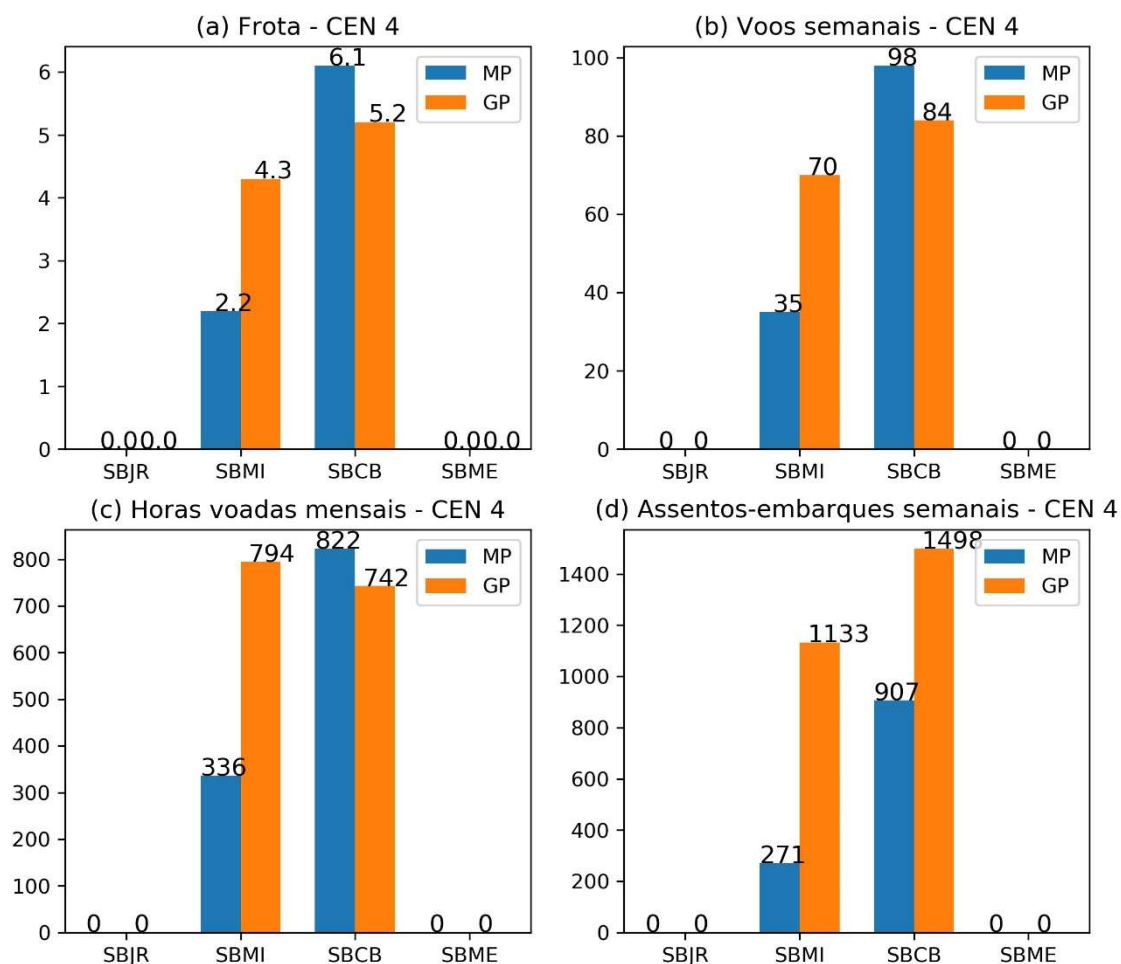
A **Figura 29** apresentada mapa com a alocação de atendimento para o Cenário 3.



**Figura 29** Cenário 3: Mapa com localização ótima das unidades marítimas

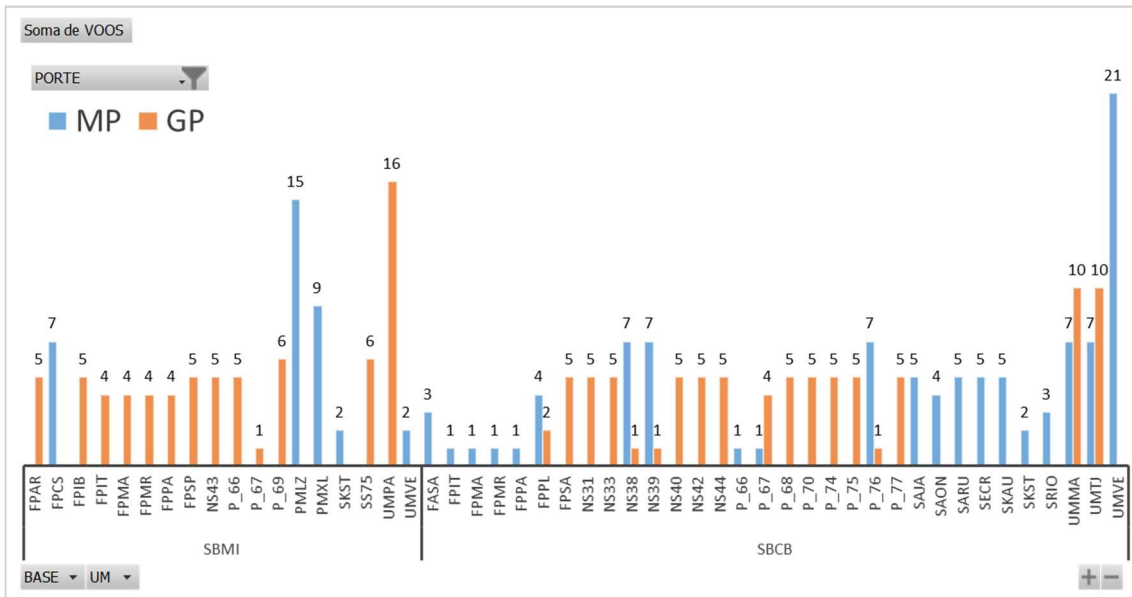
## 5.5.4 Cenário 4 (SBMI e SBCB)

Os Gráficos 13 a 14 apresentam os resultados das tabelas semanais de voo para o cenário de análise que considera os aeroportos de SBMI e SBCB abertos à operação com suas capacidades limitadas. O Gráfico 13 representa o mesmo padrão do Gráfico 7.



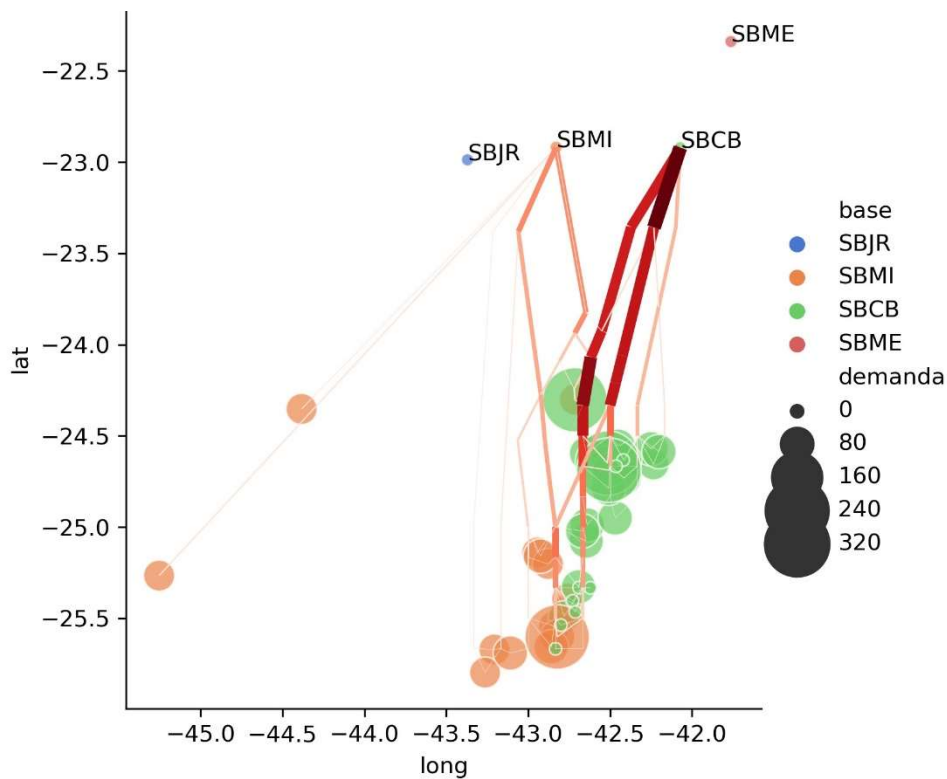
**Gráfico 13:** Cenário 4 – Distribuição ótima por base (a) frota, (b) voos, (c) horas voadas, (d) assentos embarque

Verifica-se uma maior concentração de voos, horas voadas e assentos de grande porte nos aeroportos de Maricá e Cabo Frio apesar de maior número de voos e horas voadas de médio porte, a quantidade de assentos de grande porte é mais utilizada, em função de sua maior capacidade de transporte.



**Gráfico 14:** Cenário 4 – Distribuição ótima por unidade marítima

A **Figura 30** apresenta mapa com a alocação de atendimento para o Cenário 4.



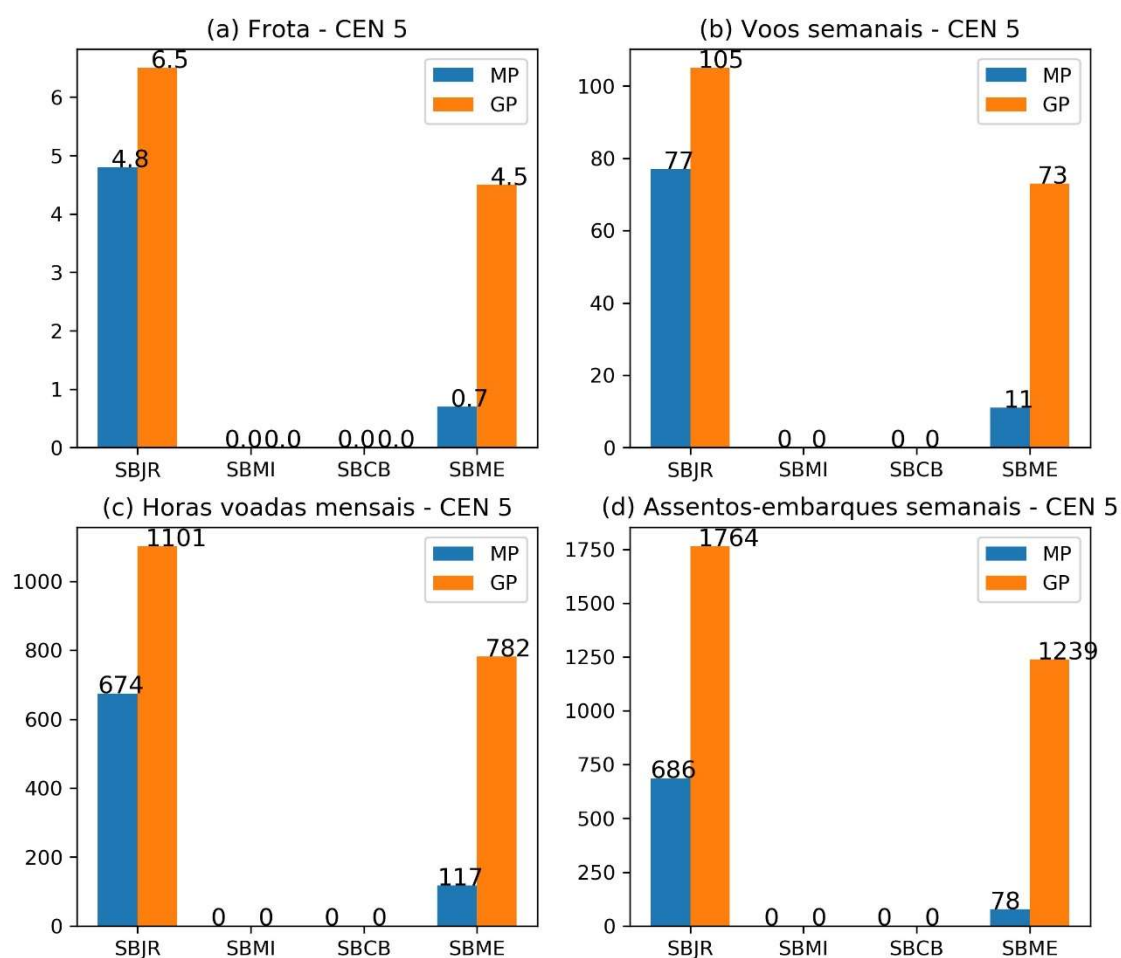
**Figura 30** Cenário 4: Mapa com localização ótima das unidades marítimas



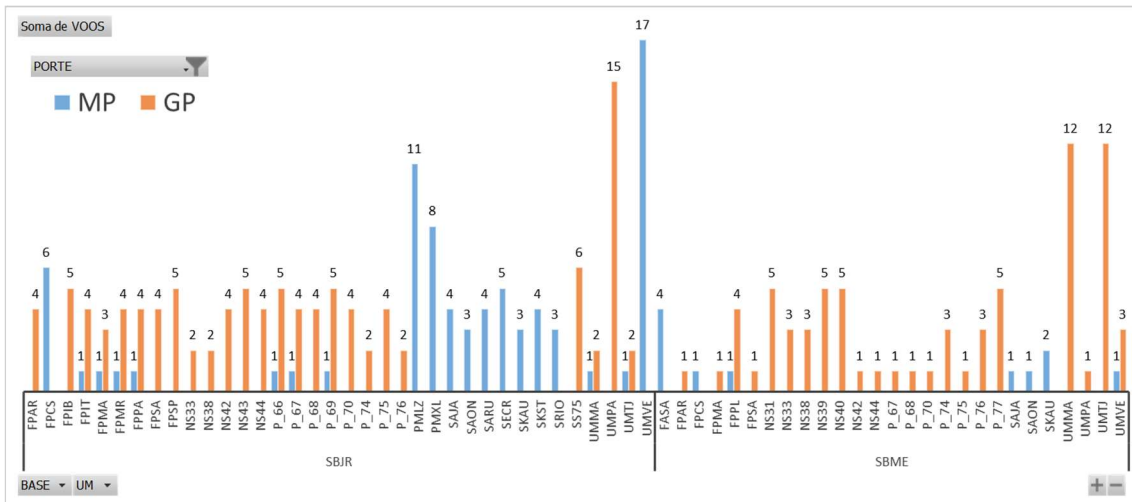
### 5.5.5 Cenário 5 (SBJR e SBME)

Os Gráficos 15 a 16 apresentam os resultados das tabelas semanais de voo para o cenário de análise que considera os aeroportos de SBJR e SBME abertos à operação com suas devidas restrições de capacidade. O Gráfico 15 representa o mesmo padrão do Gráfico 7.

Observa-se a predominância de uso de aeronaves de grande porte nos quatro quesitos analisados.

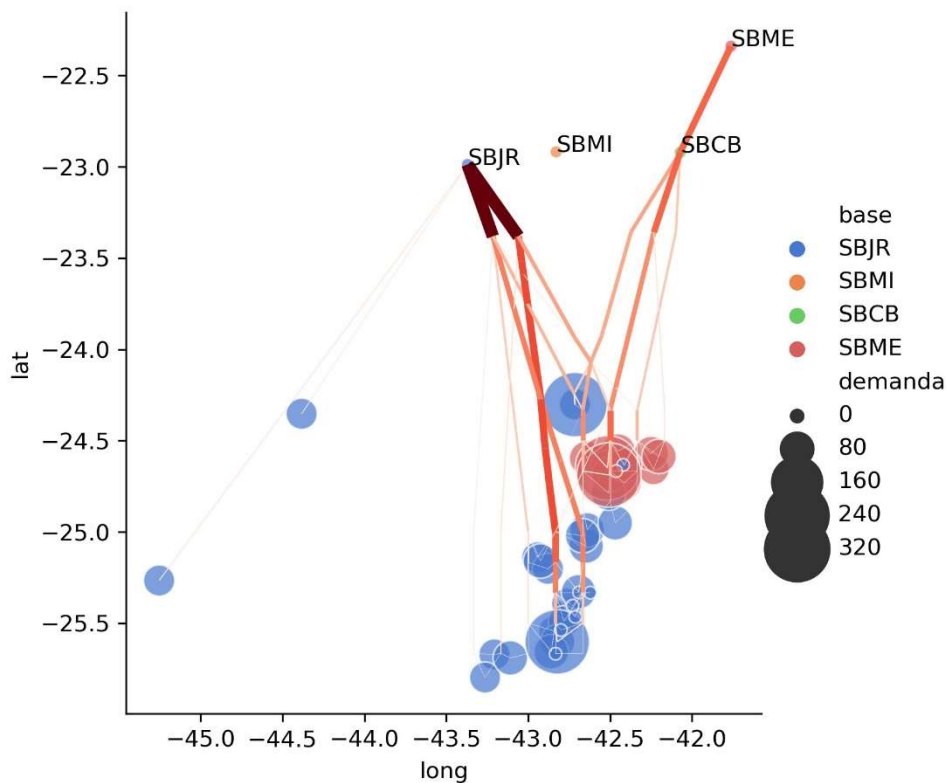


**Gráfico 15:** Cenário 5 – Distribuição ótima por base (a) frota, (b) voos, (c) horas voadas, (d) assentos embarque



**Gráfico 16:** Cenário 5 – Distribuição ótima por unidade marítima

Neste cenário tanto a capacidade de voos de grande porte como a capacidade total de SBJR foram atingidas, por isso a demanda remanescente, localizada mais a leste da bacia, teve que ser atendida por SBME prioritariamente por aeronaves de grande porte. A **Figura 31** apresenta mapa com a alocação de atendimento para o Cenário 5.



**Figura 31** Cenário 5: Mapa com localização ótima das unidades marítimas

Na **Tabela 16** é feita a comparação de custos anuais operacionais variáveis (hora voada e preço de combustível constante, sem incluir o custo fixo da frota) para cada um dos 5 (cinco) cenários analisados. A coluna “Dif Anual R\$” compara o custo do cenário correspondente ao custo do Cenário 1.

**Tabela 16:** Comparação dos Cenários

Cen.	Bases	Frota		Custo total variável R\$	Dif. Anual R\$
		GP	MP		
1	SBJR, SBMI, SBCB	8,2	10,1	337.396.925	0
2	SBJR, SBCB	8,3	10,2	338.074.784	677.859
3	SBJR, SBMI	9,0	8,8	340.353.712	2.956.787
4	SBMI, SBCB	9,5	8,3	352.222.483	14.825.558
5	SBJR, SBME	11,0	5,5	372.055.979	34.659.054

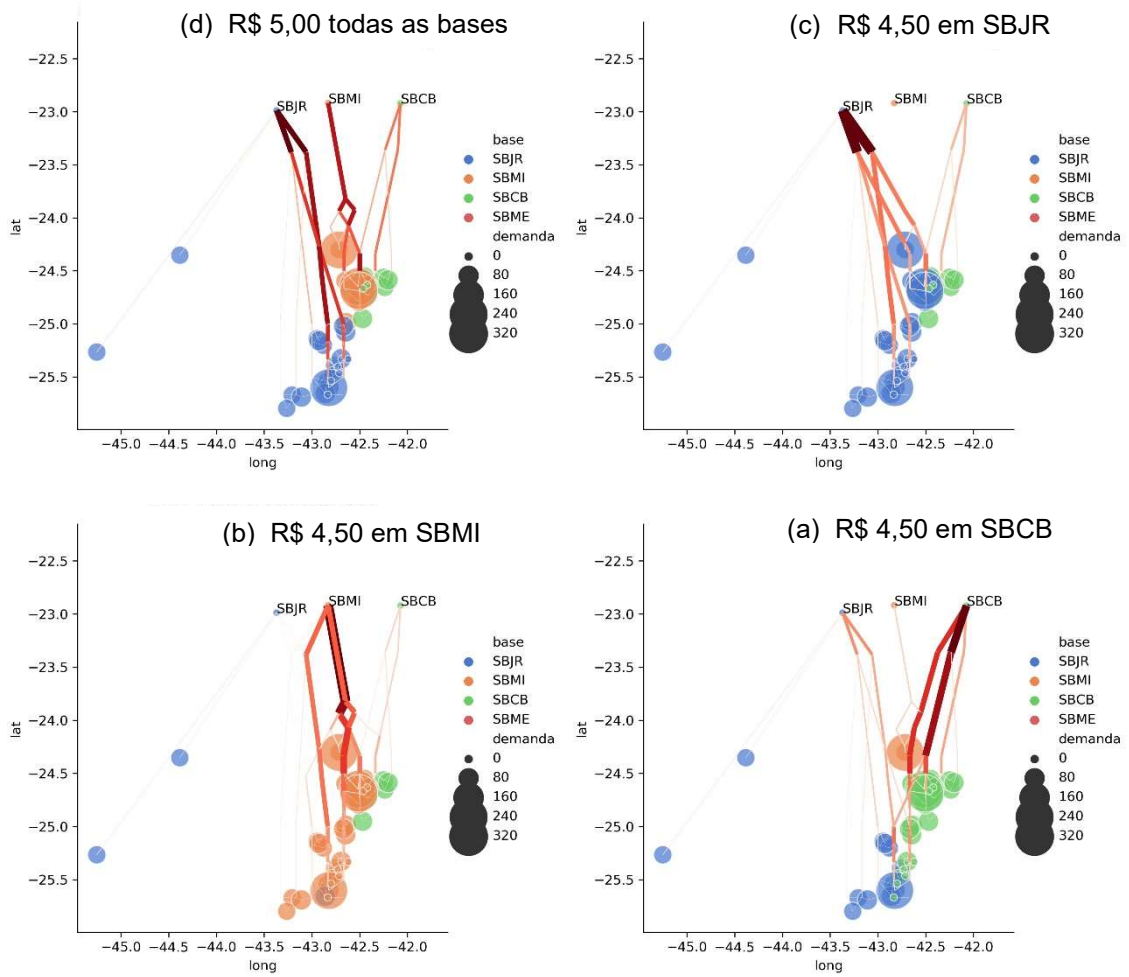
Verifica-se que Cenário 1 é que tem menor custo anual considerando apenas as horas voadas e custos com combustível, porém muito próximo ao custo do Cenário 2, o que era de se esperar pois além das restrições de capacidade não terem sido atingidas no Cenário 1, com esta configuração de atendimento se aproveita as menores distâncias possíveis das unidades marítimas para o continente.

No Cenário 5, que apresenta os maiores custos variáveis, o modelo indicou a necessidade de menos aeronaves, isso pode ser explicado pela maior concentração da demanda no aeroporto de Jacarepaguá o que acarreta uma maior economia de escala na frota calculada. Este cenário ainda apresenta uma frota de aeronaves de grande porte maior do que a de médio porte, assim como os Cenários 3 e 4.

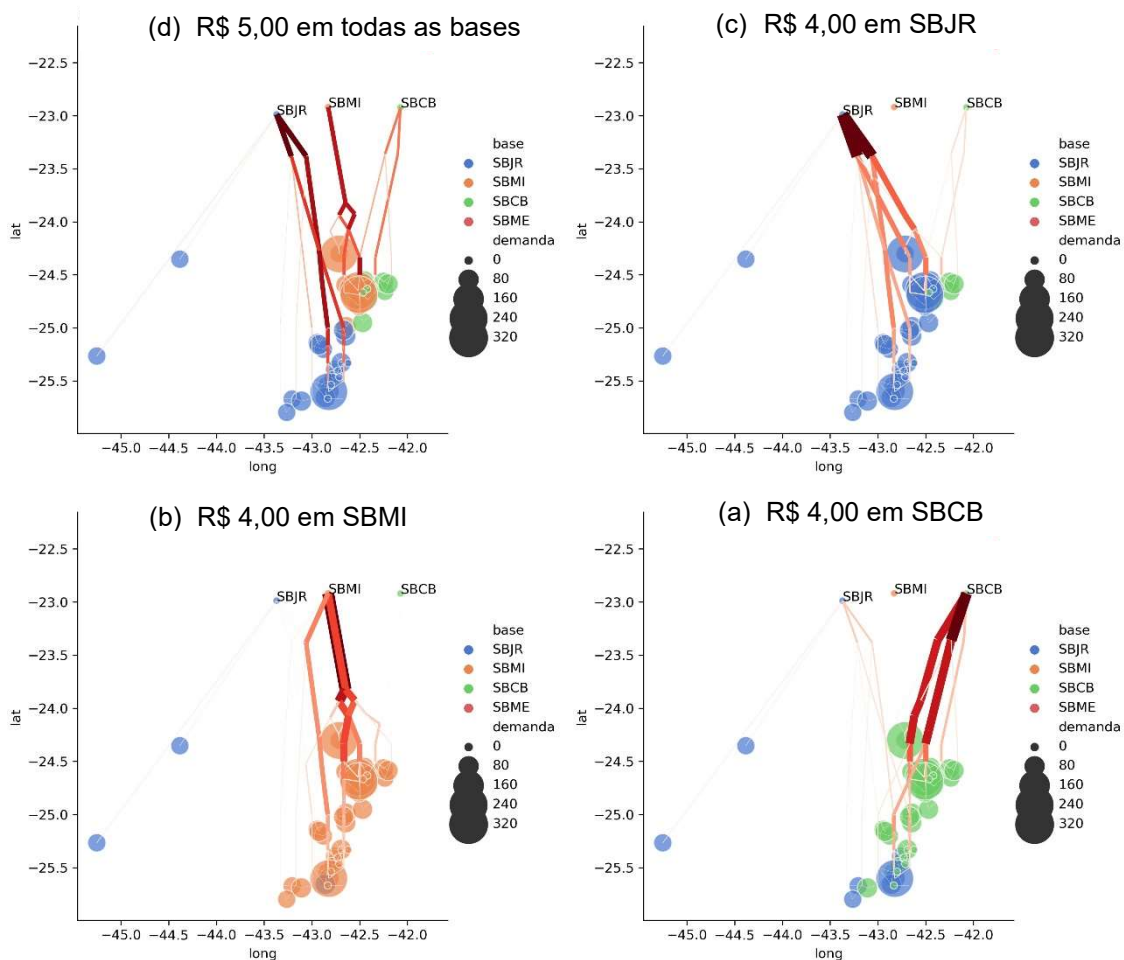
Nos dois cenários de menor custo (Cenário 1 e 2), o modelo resultou em uma configuração na qual cria dois principais cluster de atendimento na bacia de Santos, podendo ser resumido da seguinte maneira:

- *Cluster* Tupi (ex-Lula) / Sapinhoá (P-66, P-67, P69, entre outras) atendido preferencialmente por Jacarepaguá com maior utilização de helicópteros de grande porte; e
- *Cluster* Búzios / Libra (P-74, P-75, P-76, P-77, entre outras) atendido preferencialmente por Cabo Frio com maior utilização de helicópteros de médio porte.





**Figura 33** Análise de sensibilidade ao preço do combustível - redução de 10% em cada base independente



**Figura 34** Análise de sensibilidade ao preço do combustível - redução de 20% em cada base independente

A **Tabela 17** apresenta o cenário analisado considerando o impacto na redução do preço do combustível em 10% (R\$ 4,50) e 20% (R\$ 4,00) por vez em cada base aberta no Cenário1, mas desta vez sem considerar restrições de capacidade nos aeródromos, mantendo as demais bases com o preço original de R\$ 5,00 por litro.

**Tabela 17:** Análise de sensibilidade ao preço do combustível

Cen.	Base	Preço QAV R\$ / litro	Custo total variável R\$	Dif. %
6 (livre)	TODAS	5,00	337.396.925	0,0%
6 (livre)	SBJR	4,50	329.626.170	-2,3%
6 (livre)	SBMI	4,50	331.607.244	-1,7%
6 (livre)	SBCB	4,50	333.407.095	-1,2%
6 (livre)	SBJR	4,00	320.068.907	-5,1%
6 (livre)	SBMI	4,00	321.979.020	-4,6%
6 (livre)	SBCB	4,00	326.014.701	-3,4%

Verifica-se que as reduções de preço de combustível na base de Jacarepaguá (SBJR) impactam mais o custo logísticos para as duas faixas percentuais (-10 e -20%), em função da maior demanda que esta base atrai.

Observa-se também que para as mesmas reduções, sejam de 10 ou 20% no preço do combustível, os impactos são mais sentidos em SBMI do que em SBCB, denotando que SBMI tende a ganhar mais demanda do que a SBCB, devido a localização de SBMI ser mais central na bacia de Santos.

## 5.7 Impacto da AIC 27/21 (uso das rotas ATS)

Todo o trabalho desenvolvido até agora considerou o uso das Rotas ATS de acordo com a AIC 27/21, o objetivo agora é quantificar o aumento das distâncias médias percorridas, tempos de voo, consumo de combustível e custos logísticos que esta Circular trouxe quando comparado com a situação anterior com os voos com trajetória direta.

Para isso, o espaço aéreo foi novamente modelado como um grafo, mas desta vez com arestas diretas conectando cada aeroporto a cada unidade marítima nos dois sentidos. Assim, o caminho mínimo escolhido pelo algoritmo será a conexão direta tanto para ir até a unidade quanto para retornar ao continente, sem a obrigatoriedade de passar pelas portas de entrada, saída e demais *waypoints*.

Na **Tabela 18** a seguir é apresentado o comparativo das médias de todas as missões (aeroporto → unidade marítima → aeroporto) possíveis, considerando os dois tipos de porte de aeronave, excetuando as missões estimadas com origem no aeroporto de Macaé para a bacia de Santos e aquelas cuja impossibilidade de ser realizada em função da restrição dos helipontos.

**Tabela 18:** Comparação das missões: Rotas ATS AIC 27/21 e Rotas Diretas

Item	Tipos de rotas		%
	Diretas	ATS AIC 27/21	
Meia distância média (nm)	132,3	137,2	<b>3,7%</b>
Consumo QAV médio (kg)	1.115	1.148	<b>2,9%</b>
# Pax médio	12,4	12,2	<b>-1,6%</b>
Custo total médio R\$	21.517	22.172	<b>3,0%</b>

A **Tabela 19** apresenta o resultado da comparação dos 3 (três) *waypoints* que demandam mais movimentos em cada cenário de análise, incluindo aqueles que reduzem o preço do combustível.

Verifica-se que nos cenários 1 a 5, cuja distribuição é mais uniforme entre os aeródromos, a quantidade de movimentos/hora (considerando 10 h de janela operacional em cada *waypoint*) não ultrapassou 3 movimentos.

Já quando foi feita a sensibilidade de redução de preço do combustível em alguns aeródromos, devido a concentração de operação derivada, apresentou *waypoints* com mais de 4 movimentos por hora, como foi o caso extremo do CS011, que no cenário de preço de R\$ 4,00 / litro em Maricá atraiu 6,2 movimentos/h, o que corresponde a 9,6 min de separação longitudinal entre aeronaves naquela posição desconsiderando níveis de voos diferentes, ou de 19.2 min se for considerando o nível FL025 na ida e FL035 na volta.

Observa-se ainda que o *waypoint* CS011, aparece no Top 3 de 4 dos 11 cenários analisados e o CS017 em 5 dos 11, o que denota que este local pode ter uma concentração de movimentos que mereça atenção.



**Tabela 19:** Concentração de movimentos nos *waypoints*

Ponto	Cenário	Mov. / semana	Mov. / h	Separação em min
CS011	cen1_5.00_reais	196	2.8	21.4
CS021	cen1_5.00_reais	186	2.7	22.6
CS017	cen1_5.00_reais	166	2.4	25.3
CS021	cen2_5.00_reais	186	2.7	22.6
DIBIL	cen2_5.00_reais	152	2.2	27.6
EGUDI	cen2_5.00_reais	152	2.2	27.6
CS011	cen3_5.00_reais	210	3.0	20.0
CS021	cen3_5.00_reais	186	2.7	22.6
CS017	cen3_5.00_reais	178	2.5	23.6
CS017	cen4_5.00_reais	196	2.8	21.4
PAPIS	cen4_5.00_reais	182	2.6	23.1
BS082	cen4_5.00_reais	167	2.4	25.1
CS021	cen5_5.00_reais	166	2.4	25.3
DIBIL	cen5_5.00_reais	163	2.3	25.8
EGUDI	cen5_5.00_reais	163	2.3	25.8
DIBIL	cen1.1_4.50_reais_SBJR	220	3.1	19.1
EGUDI	cen1.1_4.50_reais_SBJR	220	3.1	19.1
BS009	cen1.1_4.50_reais_SBJR	204	2.9	20.6
CS011	cen1.1_4.50_reais_SBMI	343	4.9	12.2
CS017	cen1.1_4.50_reais_SBMI	265	3.8	15.8
CS013	cen1.1_4.50_reais_SBMI	203	2.9	20.7
PAPIS	cen1.1_4.50_reais_SBCB	178	2.5	23.6
BS023	cen1.1_4.50_reais_SBCB	156	2.2	26.9
CS018	cen1.1_4.50_reais_SBCB	156	2.2	26.9
DIBIL	cen1.1_4.00_reais_SBJR	259	3.7	16.2
EGUDI	cen1.1_4.00_reais_SBJR	259	3.7	16.2
BS009	cen1.1_4.00_reais_SBJR	220	3.1	19.1
CS011	cen1.1_4.00_reais_SBMI	437	6.2	9.6
CS017	cen1.1_4.00_reais_SBMI	308	4.4	13.6
CS013	cen1.1_4.00_reais_SBMI	219	3.1	19.2
PAPIS	cen1.1_4.00_reais_SBCB	247	3.5	17.0
CS014	cen1.1_4.00_reais_SBCB	216	3.1	19.4
CS017	cen1.1_4.00_reais_SBCB	216	3.1	19.4

Percebe-se também uma saturação das rotas aéreas quando se tem a operação de forma mais concentrada em algum aeroporto em função da redução do preço do combustível. Os cenários que são mais impactados são os que ocorre a redução do preço em SBMI, muito em função da preferência em se utilizar as arestas ligadas ao *waypoint* CS011 e o aeroporto de Maricá. Cabe salientar, no entanto, que as altitudes de voos são diferentes

no trajeto continente → mar e de mar → continente, conforme preconiza a AIC 27/21 em seu item 2.3.4:

*“2.3.4 Os helicópteros em evolução nos setores 1, 2, 4 e 5 devem cumprir os níveis de voo estabelecidos da seguinte forma:*

*a) Voos do continente para as UM: FL025, FL045, FL065, FL085; e*

*b) Voos das UM para o continente: FL035, FL055, FL075, FL095.”*

Por isso, uma análise conjunta considerando a sobrecarga desses trechos de Rotas ATS deve ser realizada. Não foi escopo desse trabalho realizar simulações estocásticas do tráfego aéreo na região, contudo, é possível, com o modelo aqui proposto, identificar os possíveis *waypoints* mais sujeitos a tais restrições de forma determinística, indicando a quantidade de movimentos médios em cada ponto do Grafo para cada cenário de análise, comparando seus resultados.

Apesar da AIC 27/21 fazer distinção entre *waypoints* de “reporte compulsório” quando “existe a possibilidade de cruzamento de aeronaves em níveis de voo coincidentes” e de “reporte não compulsório” quando “não existe a possibilidade de cruzamento de aeronaves em níveis de voo coincidentes”, neste trabalho, indicaremos que todos os *waypoints* terão os seus movimentos somados, tanto nos sentidos continente → mar quanto no sentido mar → continente, para indicar a sua saturação.

Para fins de comparação, a ICA 100-37 Serviços de Tráfego Aéreo, emitida pelo DECEA, em 01/12/2020, estipula no item 4.3.12.7 os “Mínimos de separação longitudinal baseados em intervalos de tempo” da seguinte forma:

*4.3.12.7.1 Aeronaves, no mesmo nível de cruzeiro, que seguem a mesma rota:*

*a) 15 minutos (Figura 17);*

*b) 10 minutos, se os auxílios à navegação permitirem determinar, continuamente, as posições e as velocidades (Figura 18);*

*c) 5 minutos, quando a aeronave precedente mantiver uma velocidade verdadeira que exceda em 20 kt ou mais a velocidade da aeronave que a segue, nos seguintes casos (Figura 19): - entre aeronaves que tenham decolado do mesmo aeródromo; - entre aeronaves em rota, desde que tenham reportado o mesmo ponto de notificação; e - entre uma aeronave que parte e outra em rota, depois que a aeronave em rota tenha reportado um ponto de notificação, situado de tal forma em relação ao ponto de saída que se assegure uma separação de 5 minutos no ponto em que a aeronave que parte for interceptar a rota;*

*d) 3 minutos, nos casos enumerados em “c” anterior sempre que a aeronave precedente mantiver uma velocidade verdadeira que exceda em 40 kt ou mais a velocidade da aeronave que a seguir (Figura 20).*

O que mostra que o limite de 10 min de separação longitudinal definida em 4.3.12.7.1 (b) estaria no limite no *waypoint* CS011 no cenário de preço de R\$ 4,00 em Maricá, caso se desconsidere os níveis de voos diferentes entre continente → mar e mar → continente.

Convém ressaltar, no entanto, que a análise realizada neste trabalho é determinística, ou seja, considera apenas as médias das movimentações e que estas ocorrem de forma distribuídas linearmente durante o dia, o que não acontece em uma operação normal, por isso, em uma análise estocástica espera-se que a quantidade de movimentos horários se intensifique ainda mais.

Salienta-se ainda, que a demanda de unidades marítimas considerada abrangeu apenas as unidades da principal operadora de E&P na bacia em junho de 2021, contudo com a inclusão das demais unidades, a quantidade de movimentos também aumentaria

## 6. Conclusões

Com este trabalho conseguimos, inicialmente com o modelo de desempenho proposto, apresentar mapas de regiões preferenciais utilizando como parâmetro a distância do aeroporto até a unidade marítima a fim de escolher de forma sucinta o melhor tamanho de aeronave a ser utilizada. Observou-se que ao utilizar aeronaves de médio porte, com MTW de 7.000 kg, a região preferencial para utilização desse porte chega a cerca de 135 milhas náuticas e mesmo a partir daí esse porte ainda é bastante competitivo quando comparado ao de grande porte.

Esses mapas podem ser muito úteis quando se está em uma fase inicial de planejamento logístico em que a maturidade dos projetos ainda não está totalmente definida, contribuindo assim para que a escolha dos recursos se torne mais assertiva.

Utilizando o modelo de desempenho com as distâncias rigorosamente calculadas através da metodologia do caminho mínimo indicada por um grafo previamente modelado computacionalmente e pelo Modelo de Alocação de Mix de Voos (**MAMV**), foi possível determinar as tabelas de voo para diferentes cenários, indicando de forma otimizada por qual aeroportos cada unidade marítima e por qual tamanho de helicóptero cada voo deve ser realizado para atender a demanda proposta. Com isso, é possível alocar recursos de forma adequada a fim de minimizar os custos logísticos da atividade. O **MAMV** indicou que há potencial de redução de custos logísticos na ordem de dezenas de milhões de reais por ano, dependendo do cenário, quando totalmente utilizado.

Além da análise que considerou preços de combustível constantes por aeroporto, foi realizada uma análise de sensibilidade reduzindo os preços dos combustíveis em 10 e 20%, devido à sua importância nos custos globais da atividade. Esta análise mostrou que a partir da redução de 10%, a distribuição ótima passa a ser consideravelmente alterada, sendo a demanda muito atraída pelo aeroporto com preço reduzido. Com base nas análises realizadas, os aeroportos de Jacarepaguá e Maricá foram os que mais indicaram que poderiam se beneficiar de uma possível redução nos preços dos combustíveis. Como o cenário de preços diferenciados por aeroportos é relativamente comum, gestores e planejadores logísticos devem sempre considerá-lo em suas tomadas de decisão.

Por outro lado, a concentração de operações em um determinado aeroporto, seja por motivos geográficos ou por benefícios no preço do combustível, por exemplo, pode trazer

um efeito colateral que é a concentração de movimentos no espaço aéreo. Por isso foi realizada esta verificação onde se constata que com a implantação das rotas ATS, originárias da AIC 27/21 e no cenário de redução de 20% no preço do combustível em Maricá, o *waypoint* CS011 estaria próximo da saturação. Portanto, ações contingentes de controle de tráfego podem ser necessárias nessa região.

## 6.1 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros com a mesma temática, sugere-se que haja um aprofundamento das capacidades dos aeroportos analisados, avaliando através de modelos de simulação as restrições dos terminais, pátio de aeronaves, bem como possíveis impactos no espaço aéreo estudando a incorporação de restrições adicionais no modelo para limitar a quantidade de números de voos/movimentos em determinada Rota ATS e/ou *waypoint*, por exemplo.

Pode-se também avaliar os custos das instalações com a abertura de novas facilidades, a mensuração dos custos de deslocamento terrestre das equipes, bem como o impacto das possíveis transferência de voos (hospedagem, horas extras etc.), que impacta diretamente o nível de serviço, com a finalidade de complementar o modelo aqui proposto.

Uma avaliação estratégica qualitativa do número das bases de atendimento, frota de aeronaves entre outros, em função da variação de demanda temporal esperada (novas Rodadas da ANP, por exemplo), bem como outros riscos associados poderiam ser objeto de estudo futuro complementar.

Outra discussão possível seria avaliar a eficácia dos projetos de aerovias em bacias *offshore* frente as novas tecnologias embarcadas nas aeronaves, que poderiam facilitar o retorno das rotas diretas, uma vez que, apesar de buscarem uma maior organização do espaço aéreo com foco em segurança, as aerovias aumentam os tempos de voos e de consumo de combustível e conseqüentemente diminuem a capacidade das aeronaves de transportar passageiros e cargas.

## Referências Bibliográficas

AIRBUS. **Foto parque eólico.** Disponível em: <<https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/09/airbus-helicopters-focuses-on-the-wind-turbine-growth-market.html>>. Acesso em: 20 de dezembro 2018.

\_\_\_\_\_. **Foto helideck plataforma.** Disponível em: <<https://www.airbus.com/helicopters/civil-missions/oil-and-gas.html>>. Acesso em: 20 de dezembro 2018.

ALMEIDA, P. P. **Aplicação do método AHP – Processo Analítico Hierárquico – à seleção de helicópteros para apoio logístico à exploração e produção de petróleo “offshore”.** 101 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ANAC. **RBAC nº 153 Aeródromos - Operação, Manutenção e Resposta à Emergência,** Emenda nº 01, 2016.

\_\_\_\_\_. **Panorama de Segurança 2013.** Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/SGSO2/Semin%C3%A1rios/2013/PanoramadeSeguranca.pdf>>. Acesso em: 16 de setembro 2018

ANP. **Dados estatísticos.** Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-sobre-exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/paineis-dinamicos-de-producao-de-petroleo-e-gas-natural>>. Acesso em: 28 de junho 2022.

ARENALES M.; ARMENTANO V.; MORABITO R.; YANASSE H. **Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia.** Elsevier: ABEPRO, 2011.

BALLOU, R.H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/logística Empresarial.** Porto Alegre: Bookman, 2004.

CAA. **Paper 2008/03 Helideck Design Considerations - Environmental Effects,** 2009.

\_\_\_\_\_. **CAP 437 Standards for offshore helicopter landing areas,** Edition 8, 2016.

CABO FRIO AIRPORT. **Dados do aeroporto.** Disponível em: <<https://www.cabofrioairport.com.br/pt/nossa-infraestrutura/>>. Acesso em: 15 de fevereiro 2019.

CENIPA. **Helicópteros Sumário Estatístico 2008-2017,** 2018.

\_\_\_\_\_. **Painel SIPAER,** Disponível em: <[www.painelsipaer.cenipa.aer.mil.br](http://www.painelsipaer.cenipa.aer.mil.br)>. Acesso em: 07 de janeiro 2020.

DECEA. **ICA 100-4 Regras e Procedimentos Especiais de Tráfego Aéreo para Helicópteros,** 2016.

\_\_\_\_\_. **ICA 100-12 Regras do Ar,** 2016.

\_\_\_\_\_. **ICA 100-37 Serviços de Tráfego Aéreo,** 2020.

\_\_\_\_\_. **Cartas Aeronáuticas SBJR**, Disponível em: <<https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=cartas>>. Acesso em: 07 de janeiro 2019.

\_\_\_\_\_. **Cartas Aeronáuticas SBCB**, Disponível em: <<https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=cartas>>. Acesso em: 07 de janeiro 2019.

\_\_\_\_\_. **Pôr do Sol SBJR**, Disponível em: <<https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=aerodromos&p=sol>>. Acesso em: 22 de janeiro 2019.

\_\_\_\_\_. **AIC 27/21 Operação Offshore na Bacia Petrolífera de Santos**, Disponível em: <<https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/aic-n-2721>>. Acesso em: 15 de julho 2021.

DIJKSTRA E.W. **A Note on Two Problems in Connexion with Graphs**. Numerische Mathematik, 1, 269-27, 1959.

EISELT H. A.; MARIANOV V. **Foundations of Location Analysis**. Springer Science+Business Media, LLC, 2011.

FERREIRA FILHO, V. J. M. **Gestão de Operações e Logística na Produção de Petróleo**. Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier, 2016.

FERNÁNDEZ-CUESTA E., NORDAL I. D., ANDERSON H. & FAGERHOLD K. **Base location and helicopter fleet composition in the oil industry**. INFOR: Information Systems and Operational Research, 2016.

GALVÃO, R. D.; GUIMARÃES, J. **The control of helicopter operations in the Brazilian oil industry: Issues in the design and implementation of a computerized system**. European Journal of Operational Research, v. 49, n. 2, p. 266-270, 1990.

HAMACHER, S.; FERREIRA FILHO, V. J. M. **Aplicações de pesquisa operacional na indústria internacional de petróleo e gás**. Rio de Janeiro, Brasil, Elsevier, 2015.

HERMETO N.S.S., FERREIRA FILHO V. J.M. & BAHIENSE L. **Logistics network planning for offshore air transport of oil rig crews**. Computers & Industrial Engineering, 75 (2014) 41–54, 2014.

HERMETO T. S., MULLER C. **Analysis of offshore helicopter air traffic operations at the Campos Basin**. 18th ATRS World Conference, 2015.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8a. ed. São Paulo, McGraw-Hill, 2006.

ICAO. **Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Aerodromes, Volume I, Aerodrome Design and Operations, Fifth Edition, 2009**.

\_\_\_\_\_. **Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Aerodromes, Volume II, Heliports, Third Edition, 2009**.

\_\_\_\_\_. **Annex 6 to the Convention on International Civil Aviation, Operation of Aircraft, Part III — International Operations — Helicopters, Eighth Edition, 2016**.

IHST. **Apresentação**. Disponível em: <[http://www.ihst.org/portals/54/presentations/Oil\\_GasSubcommittee.ppt](http://www.ihst.org/portals/54/presentations/Oil_GasSubcommittee.ppt)>. Acesso em: 13 de maio 2019.

INFRAERO. **Dados Jacarepaguá**. Disponível em: <http://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-de-jacarepagua-roberto-marinho/sobre-o-aeroporto/caracteristicas/> Acesso em: 03 de maio 2018.

IOGP. **Report 2014s, Safety performance indicators – Aviation – 2014 data**, 2015.

\_\_\_\_\_. **Report 2016a, Safety performance indicators – Aviation – 2013 - 2016 data**, 2017.

\_\_\_\_\_. **Report 590, Aircraft Management Guidelines**. Version 2, 2017.

LEONARDO. **Foto AW139**. Disponível em: [https://www.leonardocompany.com/documents/63265270/69071306/body\\_BROCHURE\\_AW139\\_Offshore\\_Mk217.pdf](https://www.leonardocompany.com/documents/63265270/69071306/body_BROCHURE_AW139_Offshore_Mk217.pdf). Acesso em 10 de outubro 2018.

LOCKHEEDMARTIN. **Foto SK92**. Disponível em: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/sikorsky-s-92-helicopter.html>. Acesso em: 10 de outubro 2018.

MARINHA DO BRASIL. **NORMAM-27/DPC**, 2ª Revisão, 2017.

\_\_\_\_\_. **Foto NS52**, Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dpc/node/4080>>. Acesso em: 21 de janeiro 2020.

\_\_\_\_\_. **Foto FCSV**, Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dpc/node/4167>>. Acesso em: 21 de janeiro 2020.

MENEZES F.; PORTO O.; REIS M. L.; MORENO L.; ARAGÃO M. P.; UCHOA E.; ABELEDO H.; NASCIMENTO N. C. **Optimizing Helicopter Transport of Oil Rig Crews at Petrobras**. *Interfaces*, v. 40, n. 5, p. 408-416, 2010.

MOLLER E. B.; VIANNA M. F. D; VIANNA D. S.; MEZA E. B. M. **Definição de Nível de Serviço para Situação de Crise no Transporte Aéreo Offshore Utilizando o Método AHP – Analytic Hierarchic Process**. XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Blumenau, v. 49, n. 1, p.260-271, ago. 2017.

MOREIRA, D. D. **Disponibilidade de frotas de transporte aéreo offshore por helicópteros**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2015.

MORENO L., ARAGÃO M. P., & UCHOA E. **Column Generation Based Heuristic for a Helicopter Routing Problem**. *Experimental Algorithms (WEA 2006)*, Vol. 4007. Springer, Heidelberg, Germany. 219-230, 2006.

MTB. **Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho NR-37**. Disponível em: <http://www.trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/nr-37-atualizada-2018.pdf>. Acesso em 20 de fevereiro 2019.

NetworkX. **Network Analysis in Python**. Available at: <https://networkx.org/>. Acesso em 16 de junho de 2022.



PEREIRA, R. R. D. **Método de Análise de Vulnerabilidade Utilizando Redes Complexas: Aplicação na Rede de Transporte Aéreo Brasileira**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação PPGT/ENC. T.DM-008/2016, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 146p, 2016.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA DO BRASIL. **Lei No 13.475 de 28 de agosto de 2017**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/L13475.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13475.htm). Acesso em 2 de maio de 2022.

**PULP - OPTIMIZATION WITH PULP**. Disponível em: <https://coin-or.github.io/pulp/index.html>. Acesso em 16 de junho de 2022.

OGP. **Report No. 434 – 12 Occupational risk**, 2010

\_\_\_\_\_. **Report 390, Aircraft Management Guidelines**, 2013.

PETROBRAS. **Plano estratégico de negócios e gestão 2022-2026**. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/quem-somos/plano-estrategico/>. Acesso em: 28 de junho 2022.

\_\_\_\_\_. **Agência Petrobras**. Disponível em: <https://exposicao60anos.agenciapetrobras.com.br>. Acesso em 04 de agosto 2018.

\_\_\_\_\_. **Investidor Petrobras**. Disponível em: <https://www.investidorpetrobras.com.br/apresentacoes-relatorios-e-eventos/apresentacoes/>. Acesso em 17 de julho 2021.

\_\_\_\_\_. **Rima Relatório de Impacto Ambiental. Atividade de produção e escoamento de petróleo e gás natural do polo Pré-sal da bacia de Santos – etapa 3 (2017)**. Disponível em: [https://www.comunicabaciadesantos.com.br/sites/default/files/RIMA\\_Etapa\\_3.pdf](https://www.comunicabaciadesantos.com.br/sites/default/files/RIMA_Etapa_3.pdf). Acesso em 09 de janeiro 2019.

\_\_\_\_\_. **Nossas Atividades**. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-de-santos.htm>. Acesso em 09 de janeiro de 2019.

PINEDO, M.L. **Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems**. Springer Science+Business Media, LLC, 2012.

QIAN F., GRIBKOVSKAIA I. & HALSKAU SR Ø. **Helicopter routing in the Norwegian oil industry. Including safety concerns for passenger transport**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v. 41, Iss 4 pp. 401 – 415, 2011.

QIAN F.; GRIBKOVSKAIA I.; LAPORTE G.; HALSKAU SR Ø. **Passenger and pilot risk minimization in offshore helicopter transportation**. Omega, v. 40, n. 5, p. 584-593, 2012.

QIAN F., STRUSEVICH V., GRIBKOVSKAIA I. & HALSKAU SR. Ø. **Minimization of passenger takeoff and landing risk in offshore helicopter transportation: Models, approaches and analysis**. Omega, v. 51, p. 93-106, 2015.

ROCHA, P. P. F. **Modelo de dimensionamento de frota de helicópteros para um sistema de distribuição física de pessoas voltado às atividades offshore de exploração de produção de uma bacia petrolífera: estudo de caso.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SENA, N. S. **Planejamento de rede logística de transporte aéreo de pessoas para atividades de exploração e produção de petróleo em bacia marítima utilizando programação inteira mista.** Dissertação (mestrado) - UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Produção, 2011.

SLACK, N. C., S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** São Paulo: Atlas, 2009.

VILAMEÁ E. **Logistical Challenges for Crew Transportation in Brazilian Pre-Salt Province.** Proceedings of the RINA 9th Symposium on High Speed Marine Vehicles, 2011.



