

Proposta de otimização do transporte de passageiros por helicópteros em operações offshore da Petrobras**Proposal to optimize passenger transport by helicopters in Petrobras 'offshore operations**

DOI:10.34117/bjdv6n6-080

Recebimento dos originais:08/05/2020

Aceitação para publicação:04/06/2020

Gustavo Valério Mendes

Formação acadêmica mais alta: Mestre em Engenharia de Transportes

Instituição: Instituto Militar de Engenharia - IME

Endereço: Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, 22290-270.

E-mail: gustavovmendes@gmail.com

Luiz Antônio Silveira Lopes

Formação acadêmica mais alta: Doutor em Engenharia de Transportes

Instituição: Instituto Militar de Engenharia - IME

Endereço: Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, 22290-270.

E-mail: laslopes@ime.eb.br

Orivalde Soares da Silva Júnior

Formação acadêmica mais alta: Doutor em Engenharia de Produção

Instituição: Instituto Militar de Engenharia - IME

Endereço: Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, 22290-270.

E-mail: orivalde@ime.eb.br

RESUMO

A indústria do petróleo optou pelo helicóptero como meio de transporte aéreo sobre o mar (*offshore*) de pessoas. Assim, a busca pela otimização dos custos de horas voadas e redução da exposição da força de trabalho a horas de voo se mostra bastante relevante. O cenário alvo deste estudo é a operação da Petrobras na Bacia de Campos, onde são transportados anualmente mais de 500 mil passageiros. É proposto um modelo para um caso do problema do transporte, que visa responder quais helicópteros de cada base deverão realizar quantos voos semanais para atender a demanda de cada uma das unidades marítimas. São comparados três cenários, sendo um sem restrições de infraestrutura aeroportuária, um com as restrições reais existentes e outro com a configuração de voos observada em uma semana específica real das operações. Os resultados mostraram uma base destacadamente melhor e alternativas com ganhos expressivos em relação ao cenário atual.

Palavras chave: Otimização. Problema do Transporte. Transporte aéreo *offshore*.

ABSTRACT

The oil industry has opted for the helicopter as a means of air transport over the sea (offshore) of people. Thus, the search for optimization of the costs of flying hours and reduction of the exposure of the workforce at flight hours is very relevant. The target scenario for this study is the Petrobras operation in the Campos Basin, where more than 500 thousand passengers are transported annually. It is proposed a model for a case of the transport problem, which aims to answer which helicopters from each base must realize how many weekly flights to meet the demand of each of the maritime units. Three scenarios are compared, one of which is without airport infrastructure restrictions, one with actual restrictions and the other with flight configuration observed in a specific actual week of operations. The results showed an outstandingly better base and alternatives with significant gains in relation to the current scenario.

Keywords: Optimization. Transportation Problem. Offshore air transportation.

1 INTRODUÇÃO

As operações aéreas na indústria de óleo e gás visam principalmente o transporte de pessoas e pequenas cargas para unidades marítimas. Essa indústria optou pelo helicóptero por ser o meio mais ágil e seguro, em um ambiente onde cada minuto de operação equivale a alguns milhares de dólares. No entanto, o uso de helicópteros num cenário tão hostil implica em severa ameaça à integridade das pessoas e das sensíveis instalações, assim como movimentam vultuosas quantias financeiras, significativas na estrutura de custos de projetos desse segmento.

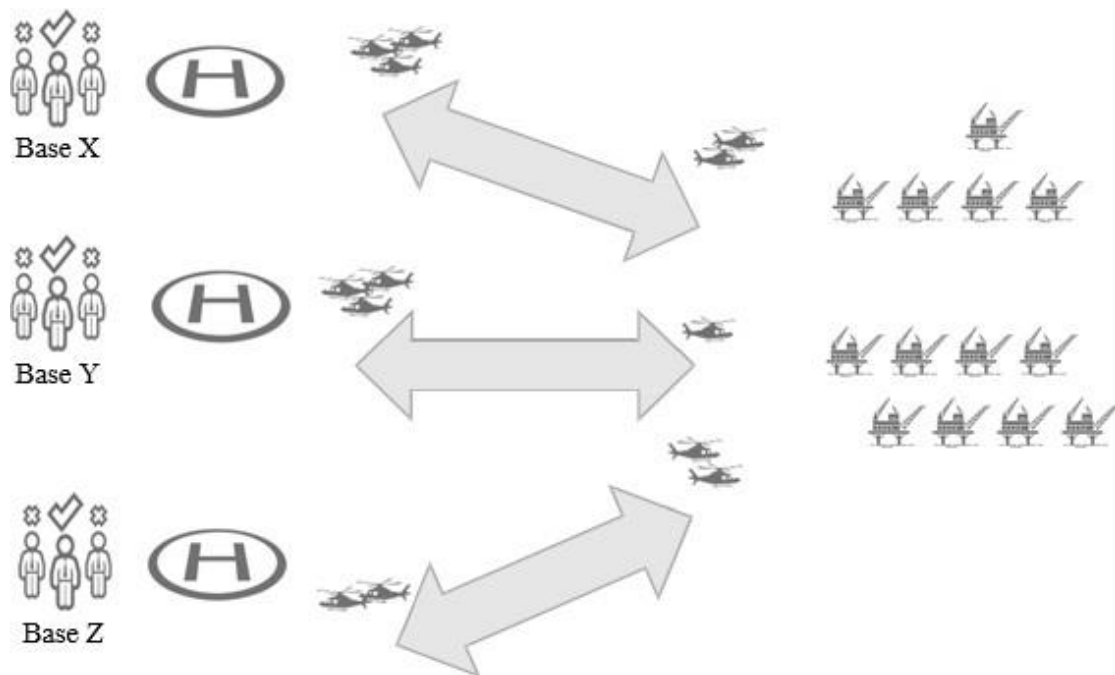
Uma entidade importante nesse ramo é a IOGP - International Association of Oil and Gas Producers, que reúne as empresas que produzem 40% de todo óleo e gás do mundo e identifica e compartilha conhecimento e boas práticas. A partir dos dados da IOGP (2017), a empresa brasileira Petrobras é responsável por cerca de 20% dos passageiros offshore do mundo.

No Brasil, onde a Petrobras detém quase toda sua operação offshore, a Norma Regulamentadora n.º 37 - Segurança e Saúde em Plataformas de Petróleo (NR 37) estabelece que o transporte de pessoas para essas unidades seja realizado obrigatoriamente por helicópteros, caso sejam mais distantes que 35 milhas náuticas da origem do voo. Além disso, há outras especificidades no país como a proibição de voos noturnos, exceto para atendimentos de resgate médico, e significativas limitações de infraestrutura aeroportuária e de tráfego aéreo. A Petrobras, por sua vez, não se limita apenas à aplicação das leis vigentes,

estabelecendo requisitos e procedimentos alinhados com as melhores práticas recomendadas pelos principais especialistas do setor, sendo conservadora e intolerante a qualquer desvio.

A atividade de transporte de pessoas para unidades marítimas possui como elementos principais os passageiros e respectivas bagagens a serem transportadas, os helicópteros que são o meio de transporte, o espaço aéreo por onde esses equipamentos circulam e os aeródromos terrestres, geralmente representados por aeroportos, e marítimos, representados pelos helidecks das unidades marítimas, onde os passageiros embarcam e desembarcam, conforme Figura 1.

Fig. 1. Esquema de transporte de passageiros para unidades marítimas



Apesar de parecer trivial, essa atividade possui especificidades que trazem um nível de complexidade significativo para o planejamento e execução dessas operações. Afinal, a demanda nem sempre possui um comportamento regular e previsível, os passageiros, diferentemente de cargas, requerem uma atenção especial, as aeronaves possuem diversos preços, limitações e capacidades variáveis em função do destino, o espaço aéreo requer o cumprimento de regras importantes, os aeroportos possuem restrições de capacidade, além dos helidecks de unidades marítimas que, muitas vezes, se movimentam pela costa e que possuem restrições de pouso. Tudo isso sujeito à intercorrências meteoceanográficas adversas que paralisam ou interrompem as operações inesperadamente, deliberações de fabricantes de

helicópteros e de autoridades de aviação civil que causam indisponibilidades de aeronaves, limitações contratuais e legais, dentre outros.

Assim, este estudo tem como tema a otimização dos custos variáveis de hora voada pelos helicópteros que atuam para a Petrobras na Bacia de Campos, bacia petrolífera brasileira que movimenta mais de meio milhão de passageiros por ano, visando demonstrar que a otimização a nível tático e operacional das operações de transporte aéreo conduzem a uma redução de custos e de exposição da força de trabalho ao intrínseco risco de voar.

Para esse problema, um exemplo do clássico problema do transporte, foi desenvolvido um modelo de programação linear inteiro para minimizar o custo total, atendendo algumas restrições operacionais como a demanda semanal de passageiros de cada uma das unidades marítimas, assim como aspectos legais, operacionais, contratuais e de segurança.

O presente estudo buscou analisar alguns cenários para validar duas hipóteses. A primeira hipótese era que a Base X era o aeródromo mais eficiente. A segunda hipótese buscava confirmar que havia melhores alternativas que o cenário base, utilizado como retrato da situação atual.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muitos pesquisadores já observaram a importância, complexidade e possibilidade de ganhos das operações realizadas por helicópteros que atendem unidades offshore, o que impõe a necessidade de um estudo profundo, de forma a assegurar a redução da exposição ao risco e a otimização de custos. Isso pode ser evidenciado por Qian et al. (2011) que relatam que o transporte por helicópteros representa um dos maiores riscos para os empregados que trabalham offshore e por Abbasi-Pooya et al. (2017) que comentam que muitas unidades offshore requerem transporte diário de trabalhadores por helicópteros, o que impõe significativos custos operacionais para empresas de óleo e gás.

Há quase 30 anos atrás, já haviam publicações sobre essas operações, justamente sobre a Bacia de Campos. Galvão e Guimarães (1990) discutem questões importantes que surgiram na concepção e implementação de um sistema informatizado para controlar operações offshore de helicóptero no Brasil, concentrando-se em um algoritmo interativo projetado para rotear os helicópteros.

Não muito distante, Moreno et al. (2006) apresentam um algoritmo heurístico baseado em geração de colunas para o problema de planejamento de voos de helicópteros, para

atendimento às solicitações de transporte entre aeroportos e plataformas offshore, também na Bacia de Campos.

Assim como Galvão e Guimarães (1990), Moreno et al. (2006), Menezes et al. (2010) e de Alvarenga Rosa (2016), há diversos autores por todo o mundo discutindo propostas para a roteirização de helicópteros offshore, muitos deles trabalhando no modelo conhecido como Capacitated Helicopter Routing Problem (CHRP), uma derivação do Vehicle Routing Problem (VRP). Qian et al. (2011) se baseiam na análise de acidentes de helicópteros para propor um modelo matemático que pode auxiliar no planejamento de rotas da frota, de forma a minimizar o número esperado de mortes. Qian et al. (2012) complementa seu estudo anterior abordando diferentes políticas de roteamento. Na mesma linha, Halskau (2014) lida com diferentes políticas de roteamento para minimizar o número esperado de mortes, em um cenário com hubs.

As perspectivas de futuro dessa atividade no Brasil são promissoras. Segundo Hermeto et al. (2014), a demanda de transporte de passageiros para unidades marítimas no Brasil vai aumentar e vai se tornar mais complexa à medida que a distância média entre os campos do pré-sal e a costa brasileira aumenta, e que o helicóptero é o mais eficiente meio de transporte em termos de velocidade e segurança, mas também implica em altos custos. Hermeto et al. (2014) apresentam um modelo de otimização para o planejamento de rede logística para transporte de pessoas por helicópteros offshore no Brasil. Seu modelo busca prover o nível gerencial de informações acuradas para subsidiar a tomada de decisão no planejamento de infraestrutura logística.

A Petrobras, que historicamente detém quase toda a operação de helicópteros offshore do Brasil, estabeleceu como premissa para a definição da tabela regular de voos, a não realização de pouso em mais de uma unidade marítima, transformando o problema de roteamento em problema do transporte. Vale lembrar que as etapas mais críticas para a segurança de um voo são a decolagem e o pouso e que quanto menos decolagens e pousos por voo, menor a exposição da força de trabalho a essas etapas. Qian et al. (2015) foi o primeiro artigo a considerar o risco de voos com mais de uma unidade marítima como destino no desenvolvimento da tabela de voos. Gribkovskaia et al. (2015) apresentaram um modelo com voos de apenas uma unidade marítima de destino e relataram que essa proposta reduzirá o número de fatalidades.

Os desafios não se limitam ao transporte regular de passageiros para essas unidades marítimas, mas também no planejamento de resposta a emergências. Brachner e Hvattum

(2017) propõe um modelo matemático que busca soluções considerando tanto o roteamento do transporte regular como o nível de cobertura das unidades de resposta a emergência.

Sobre problemas nesse nível de visão tático e operacional, Kashan et al. (2019) dizem que a tabela de voos deve ser planejada de modo a minimizar o custo, embora considerando todas as condições relacionadas ao tempo máximo de voo, capacidade de peso e de passageiros e prazo para chegada das pessoas no aeroporto.

A referência da literatura mais próxima do modelo desenvolvido neste estudo é a proposta de otimização de planejamento de rede logística proposta por Hermeto et al. (2014), também focada na Bacia de Campos. Diferentemente da maioria dos artigos encontrados, que desenvolvem modelos de roteirização, este trabalho e de Hermeto et al. (2014) consideram que os voos possuem apenas uma unidade marítima de destino. No entanto, Hermeto et al. (2014) apresentam um problema de localização-alocação de fluxo, com visão a nível estratégico e horizonte de planejamento de até 20 anos. O presente estudo foca em um problema de alocação de fluxo, com visão de nível tático e o horizonte de planejamento semanal, considerando a demanda como as vagas negociadas com as unidades marítimas clientes, independentemente da taxa de ocupação, que é monitorada e discutida, mas fora deste escopo. O horizonte de mais curto prazo permite um maior nível de precisão, alinhado aos detalhes da operação. Além disso, este estudo considera premissas de segurança como o número máximo de horas voadas por helicóptero a cada semana e premissas contratuais de remuneração, inclusive o peso da taxa cambial na medição contratual e de desempenho, como o requisito de quantidade mínima de passageiros por voo, o que proporciona maior fidedignidade à solução. Assim, este estudo apresenta uma contribuição inédita, não sendo encontrado na literatura trabalho que trata este problema desta forma.

3 O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE DEMANDA DE VOOS A DIFERENTES HELICÓPTEROS

O transporte de pessoas que trabalham em unidades marítimas e que precisam ir e vir ao continente possui alguns elementos fundamentais para a sua compreensão, que possuem especificidades a depender da região. Neste estudo, a bacia petrolífera alvo possui em sua rede logística 3 bases aeroportuárias terrestres, 59 unidades marítimas, 3 modelos diferentes de helicópteros, sendo dois de médio e um de grande porte e uma quantidade variável de helicópteros por base.

O contrato que rege a relação entre as partes desse processo possui basicamente duas formas de remuneração, sendo uma fixa e outra variável, atrelada à quantidade de horas de voo realizada. A parcela fixa serve para remunerar custos que, independentemente da utilização da aeronave, serão incorridos como leasing da aeronave, salários de equipes, custos administrativos e de infraestrutura e sua medição é afetada pela disponibilidade da aeronave e respectiva tripulação. A parcela variável, alvo deste estudo, remunera principalmente a manutenção da aeronave, parte do salário das equipes, combustível, peças sobressalentes, ferramentas e equipamentos de apoio e sua medição é impactada pela quantidade e tempo de duração de voos.

Tanto a parcela fixa quanto a variável estão parcialmente vinculadas à variação cambial.

Todo o pagamento é feito em moeda nacional, mas há uma parcela definida em moeda estrangeira que é convertida considerando o câmbio da data de medição. Assim, quanto maior a variação do câmbio na data de medição, maior a variação do valor a ser pago, tendo em vista que muitos dos insumos são importados. Logo, a variação na instável taxa de câmbio pode provocar uma alteração da solução, pois cada modelo de helicóptero possui uma proporção diferente entre moeda nacional e moeda estrangeira convertida.

Todo voo deve possuir um plano de voo que, por sua vez, deve conter o aeroporto de alternativa, que deve oferecer uma infraestrutura mínima para um caso de emergência. Logo, quanto mais distantes forem as opções de aeroportos de alternativa, maior deverá ser a provisão de combustível na aeronave, o que implicará em redução de passageiros, maior necessidade de voos e maior gasto variável. A quantidade de voos é definida pelo departamento de planejamento de voos, centralizado na Petrobras, que busca ganhos de escala e sinergias entre as demandas dos diversos clientes e os contratos de afretamento de diferentes fornecedores, visando o aumento da ocupação das aeronaves nos voos.

A capacidade dos helicópteros varia de acordo com o modelo da aeronave, distância entre aeródromo de origem e unidade marítima de destino e distância até aeródromo de alternativa previsto. Afinal, cada modelo de helicóptero possui suas especificidades técnicas e maiores distâncias implicam em quantidades maiores de transporte de combustível e, conseqüentemente, menor capacidade de passageiros.

O tempo de voo é calculado de acordo com a velocidade praticada por cada modelo de aeronave, distância entre aeródromo de origem e unidade marítima de destino e respectivas aerovias a ser utilizadas. As aerovias nada mais são que vias aéreas invisíveis criadas para

ajudarem a organizar o tráfego aéreo e promover um nível maior de segurança, refletindo, porém, em maior distância a ser percorrida.

A demanda regular de passageiros de cada unidade marítima é previamente negociada entre as partes envolvidas nessa atividade, determinística e responsável por mais de 90% da demanda total, a qual precisa ser transportada entre base e unidade marítima, em ambos sentidos.

A função objetivo do problema é a minimização do custo das horas de voos necessárias para atender a demanda regular de passageiros de cada unidade marítima, respeitando restrições como limite de horas voadas por helicóptero, limite de voos por base, restrição de pouso em helidecks e, dependendo do cenário, restrições de frota de helicópteros por base.

Foi considerado um horizonte de tempo semanal pelo fato de ser o menor período de tempo que os voos regulares se repetem, tendo em vista a escala de trabalho quinzenal da maioria dos trabalhadores embarcados. O uso de planejamento semanal permite incorporar as diversas mudanças de curto prazo que ocorrem na taxa de câmbio, na disponibilidade de aeronaves, e na demanda de passageiros.

3.1 MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

O modelo de programação linear inteira (MIP) foi desenvolvido considerando dois cenários. O cenário 1 é mais flexível, sem limitação de frota por base e o cenário 2 com essa limitação.

As tabelas 1, 2, 3 e 4 a seguir apresentam os respectivos conjuntos e índices, subconjuntos e índices, parâmetros e variáveis do modelo matemático proposto para o problema. Alguns parâmetros da tabela 3 foram calculados previamente ao modelo, considerando o contexto operacional.

Tabela 1

Índices e Conjuntos	
Índices e Conjuntos	Descrição
$h \in H$	Conjunto de helicópteros
$m \in M$	Conjunto de modelos de helicópteros
$a \in A$	Conjunto de bases aeroportuárias
$u \in U$	Conjuntos de unidades marítimas

Tabela 2

Índices e subconjuntos	
Índices e subconjuntos	Descrição
$h \in I$	Subconjunto de helicópteros do modelo N não existentes na Base Z
$h \in J$	Subconjunto de helicópteros do modelo O não existentes nas Bases X e Y
$h \in K$	Subconjunto de helicópteros do modelo P não existente na Base Y
$m \in N$	Subconjunto do modelo de helicóptero N
$m \in O$	Subconjunto do modelo de helicóptero O
$m \in P$	Subconjunto do modelo de helicóptero P
$a \in X$	Subconjunto da base aeroportuária X
$a \in Y$	Subconjunto da base aeroportuária Y
$a \in Z$	Subconjunto da base aeroportuária Z
$u \in R$	Subconjuntos de unidades marítimas restritas

Tabela 3

Parâmetros	
Parâmetros	Descrição
CustoHVMN _m	Custo da hora de voo em moeda nacional, de cada modelo m
CustoHVME _m	Custo da hora de voo em moeda estrangeira, de cada modelo m
TaxaCambio	Taxa de câmbio
NumeroMaxHV	Nº máximo de horas de voo por helicóptero
DemandaPax _u	Demanda semanal de transporte de passageiros, de cada unidade marítima u
HVporVoo _{mau}	Nº de horas de voos necessárias para realizar o voo (ida e volta), de cada modelo m , de cada base a , para cada unidade marítima u
PaxporVoo _{mau}	Nº máximo de passageiros transportados por voo, de cada modelo m , de cada base a , para cada unidade marítima u
MaxVoos	Nº máximo de voos por base

Tabela 4

Variáveis	
Variáveis	Descrição
Voo _{hmau}	Nº de voos realizados por cada helicóptero h , de cada modelo m e de cada base a para cada uma unidade marítima u

A função objetivo e as restrições gerais do problema foram definidas conforme abaixo:

$$\text{Min} \sum_h \sum_m \sum_a \sum_u Voo_{hmau} \times HVporVoo_{mau} \times (\text{CustoHVMN}_m + (\text{CustoHVME}_m \times \text{TaxaCambio})) \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_h \sum_m \sum_a Voo_{hmau} \times PaxporVoo_{mau} \geq \text{DemandaPax}_u \quad \forall u \quad (2)$$

$$\sum_u Voo_{hmau} \times HVporVoo_{mau} \leq \text{NumeroMaxHV} \quad \forall h, m, a \quad (3)$$

$$\sum_h \sum_a Voo_{hmau} = 0 \quad \forall m \in P, u \in R \quad (4)$$

$$\sum_h \sum_m \sum_u V_{OO_{hmau}} \leq MaxVoos \quad \forall a \quad (5)$$

Para o cenário 2 são consideradas também as restrições operacionais relativas à limitação de aeronaves em aeródromos, conforme abaixo:

$$\sum_h \sum_u V_{OO_{hmau}} = 0 \quad \forall m \in N, \quad a \in X \quad (6)$$

$$\sum_u V_{OO_{hmau}} = 0 \quad \forall h \in J, \quad m \in O, \quad a \in X \quad (7)$$

$$\sum_h \sum_u V_{OO_{hmau}} = 0 \quad \forall m \in N, \quad a \in Y \quad (8)$$

$$\sum_u V_{OO_{hmau}} = 0 \quad \forall h \in J, \quad m \in O, \quad a \in Y \quad (9)$$

$$\sum_u V_{OO_{hmau}} = 0 \quad \forall h \in K, \quad m \in P, \quad a \in Y \quad (10)$$

$$\sum_u V_{OO_{hmau}} = 0 \quad \forall h \in I, \quad m \in N, \quad a \in Z \quad (11)$$

$$\sum_h \sum_u V_{OO_{hmau}} = 0 \quad \forall m \in O, \quad a \in Z \quad (12)$$

$$\sum_h \sum_u V_{OO_{hmau}} = 0 \quad \forall m \in P, \quad a \in Z \quad (13)$$

A função objetivo (1) busca minimizar não o número de horas voadas necessariamente, mas o custo variável total da operação, representado pelo número de voos, multiplicado pelo tempo do respectivo voo, multiplicado pelo custo unitário dessa hora de voo, tanto em moeda nacional quanto em moeda estrangeira, tendo a taxa de câmbio como um fator de sensibilidade. As restrições (2) visam garantir que, no mínimo, todas as vagas regulares para passageiros solicitadas pelas unidades marítimas sejam oferecidas pela solução. Cada unidade possui uma demanda semanal de passageiros diferente.

As restrições (3) servem para que a solução apresente um resultado sem nenhum helicóptero voando mais que uma determinada quantidade de horas por semana. Como os

modelos possuem custos e tempos de voo diferentes, especialmente porque há bases mais próximas das unidades e com tempo de voo menor, essa limitação é importante para manter o uso responsável e operacionalmente saudável da frota, mantendo os níveis de segurança.

Por sua vez, as restrições (4) asseguram que o modelo de helicóptero de grande porte não seja escalado para realização de voos para unidades marítimas com helidecks com restrição de piso ou de dimensão a esse tipo de modelo. São várias unidades marítimas com essa restrição, sendo unidades mais velhas e de menor porte.

Já as restrições (5) evitam que a solução imponha uma quantidade de voos grande o suficiente para tornar inviável a operação de alguma das três bases. Como há bases mais próximas das unidades e com tempo de voo menor, mas limitações aeroportuárias que restringem o número de aeronaves nas bases, é necessário evitar essa possível sobrecarga. Foi considerado um valor limite de voos semanais por base, contemplando inclusive o baixo nível de operações no fim de semana.

No cenário 1, considera-se que há uma grande quantidade de helicópteros de todos os modelos em todas as bases. Essa quantidade excessiva de aeronaves é utilizada para responder qual seria a melhor distribuição de aeronaves se não houvesse restrição de helicópteros por base, ou seja, se fosse possível distribuir a frota nas bases conforme a solução ideal. O cenário 2 impõe as restrições de aeronaves por base existentes, que atualmente impõe uma solução menos ótima.

As restrições específicas adicionais do cenário 2 (restrições 6 a 13) são utilizadas de forma a nivelá-lo com o cenário base, que retrata a situação real. Tendo em vista o horizonte de tempo semanal, não há muitas possibilidades para alteração de quantidade ou modelos, tampouco de remanejamento entre bases da frota que já está contratada e distribuída nas bases, conforme respectivas limitações. Dessa forma, as restrições de (6) a (13) servem para limitar a quantidade de helicópteros que pode ser utilizada em cada base, conforme frota existente, sendo uma restrição para cada modelo de cada base. As restrições da Base X informam que, nessa base, não há um modelo disponível (6) e que a quantidade de helicópteros de outro modelo é limitada (7). As restrições da Base Y demonstram que, nessa base, também não há um modelo disponível (8), que a quantidade de helicópteros de outro modelo é limitada (9) e quantidade de helicópteros de um terceiro modelo também é limitada (10). As restrições da Base Z enfatizam que há apenas helicópteros de um único modelo e em quantidade limitada nessa base (11), (12) e (13).

4 ESTUDO DE CASO: PETROBRAS

Para a obtenção dos resultados desse MIP foi utilizada uma licença de desenvolvedor do software AIMMS, versão 4.44 utilizando o CPLEX. As soluções são obtidas em poucos segundos para os cenários propostos.

A partir disso, foi possível realizar várias análises de sensibilidade para verificar a coerência dos resultados, considerando a análise gradual de versões simplificadas do problema,

especialmente em relação ao cumprimento de todas as restrições, a nulidade de soluções para cenários com dados de entrada absurdos e a comparação com os dados da operação real.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O modelo apresentou 3717 variáveis de decisão inteiras para os cenários 1 e 2, considerando as quantidades de voos possíveis entre as 59 unidades marítimas, 3 bases aeroportuárias, 3 modelos de helicópteros e 7 helicópteros de cada modelo, em cada base. O cenário 1 utilizou 139 restrições e o cenário 2, mais restritivo, 160 restrições.

A solução ótima encontrada para o cenário 1 (sem restrições de infraestrutura aeroportuária) e cenário 2 (com restrições de infraestrutura), comparadas ao Cenário Base (atualmente realizado) demonstram a diferença de valores financeiros e de número de voos e horas voadas de cada uma dessas três alternativas.

A tabela 5 apresenta os resultados de cada um dos cenários. A coluna “CustoTotal” apresenta o percentual do custo total das horas voadas semanal de cada cenário em relação ao cenário base e mostra que há uma grande oportunidade de ganhos com a otimização proposta. Em relação ao cenário 1, que demanda ajustes na infraestrutura aeroportuária, há uma redução de até 18,6%. Em relação ao cenário 2, que demanda apenas a implementação da distribuição de voos proposta, há de 11,2%. A coluna “TotalHV” apresenta o número total de horas voadas realizadas por cada cenário. O cenário 1 possui o menor valor, que chega a ser quase 47% menor que o cenário base, que apresenta destacadamente o maior valor, demonstrando uma oportunidade para se reduzir o tráfego aéreo. A coluna “TotalVoos” apresenta o total de voos realizados. A coluna “Vagas” apresente a disponibilidade total de vagas oferecidas. Foi considerado como valor mínimo o praticado pelo cenário base, atual realidade, sendo restrição a ser atendida pelos cenários 1 e 2. A variação ocorrida nos demais cenários demonstra uma variação pouco significativa de pouco mais que 1%, conforme demonstrado na coluna “Atendimento” e provoca uma folga de vagas disponibilizadas para algumas unidades

marítimas. O tempo de processamento é mínimo e adequado para a utilização do modelo em um horizonte de tempo pequeno como o semanal.

Tabela 5

Resultados dos cenários estudados

	CustoTotal (%)	TotalHV	TotalVoos	Vagas	Atendimento	CPU(s)
Cenário 1	81,42	355	411	5869	100,96%	1,44
Cenário 2	88,83	374	390	5878	101,12%	172,62
Cenário base	100,00	666	460	5813	100,00%	NA

A tabela 6, que apresenta o detalhamento do cenário 1, deixa claro que existe um aeródromo mais vantajoso em relação às outras duas bases. Isso é reflexo do seu estratégico posicionamento geográfico, mais próximo das unidades marítimas, que pode ser corroborado pelos dados do parâmetro HVporVoo e que demonstram tempos de voo mais curtos para a Base X em relação às demais. Nesse cenário, 11,77% das horas voadas são realizados em helicópteros do modelo N, 37,1% no modelo O e 51,1% no modelo P. Tais percentuais são proporcionais ao quantitativos de voos entre modelos.

Tabela 6: Solução do cenário 1

Cenário 1	Total_HV			Total_Voos		
	Base X	Base Y	Base Z	Base X	Base Y	Base Z
Modelo N	41,81	-	-	50	-	-
Modelo O	131,76	-	-	174	-	-
Modelo P	181,41	-	-	187	-	-

O detalhamento do cenário 2, apresentado pela tabela 7, mostra que, considerando a frota real já distribuída entre as bases e suas respectivas restrições aeroportuárias, o melhor aeródromo, Base X, realiza o máximo de 270 voos possíveis, correspondente a 69% do total, sendo mais de 75% dos voos realizados pelos helicópteros do modelo P e cerca de 25% pelo modelo O. A Base Y realiza quase 28% dos voos, sendo 24% pelo modelo P e 76% pelo modelo O. A Base Z aproximadamente 3% com seu modelo N. Em relação às horas voadas, 49,5% são feitas pelos P da Base X, o que equivale a 26,5 horas voadas para cada helicóptero. Além disso, 13,6% são feitas pelos O da Base X, 9,5% pelos P da Base Y, 24% pelos O da Base Y e 3,2% pelos N da Base Z.

Tabela 7: Solução do cenário 2

Cenário 2	Total_HV			Total_Voos		
	Modelo	Base X	Base Y	Base Z	Base X	Base Y
N	-	-	12,0	-	-	11
O	51,0	89,8	-	67	83	-
P	185,2	35,5	-	203	26	-

Sobre a divergência do cenário 1 possuir mais voos realizados que o cenário 2, mas o cenário 1 realizar menos horas voadas, isso pode ser explicado pelo fato de o cenário 1 utilizar menos voos do modelo P, de grande porte, que transporta até 18 passageiros em relação aos modelos N e O que não transportam mais que 12 passageiros, sendo necessário menos voos para se atender a demanda. Por outro lado, o cenário Y realiza voos pelas Bases Y e Z que são mais distantes das unidades marítimas do que a Base X. Isso implica em voos mais longos, provocando um aumento do número total de horas voadas em relação ao cenário 1.

Já a tabela 8, que detalha os resultados do cenário base, que não possui o modelo O, mais eficiente que o modelo N, de mesmo porte e não utiliza o melhor aeródromo, Base X, em sua máxima capacidade, pois realiza apenas 232 voos no mesmo. Isso significa 50,4% dos voos realizados nessa base, 22% na Base Y e 27,6% na Base Z. A respeito das horas voadas, utiliza-se mais o P da Base X, em relação aos demais cenários, com mais de 201 horas. Porém, apenas 30,2% das horas são voadas com essas aeronaves. Outros 19,5% são voados pelos N da Base X, 13,4% pelos P da Base Y, 7,7% pelos N da Base Y e 29,2% pelos N da Base Z.

Tabela 8: Solução do cenário base

C. Base	Total_HV			Total_Voos		
	Modelo	Base X	Base Y	Base Z	Base X	Base Y
N	129,75	51,4	194,26	100	51	127
O	-	-	-	-	-	-
P	201,16	89,3	-	132	50	-

6 CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que há oportunidades promissoras para otimizar a operação de transporte aéreo offshore. O helicóptero, apesar de ser o meio de transporte mais ágil e seguro para o transporte de pessoas, é também o mais oneroso financeiramente e possui elevados riscos. Assim, considerando que a região alvo movimentada aproximadamente meio milhão de passageiros por ano, os ganhos obtidos com a implementação das recomendações

propostas neste estudo serão significativos, pois abrangerá redução de custos e de exposição ao risco de milhares de pessoas.

O presente estudo validou as duas hipóteses propostas. A primeira delas, que a Base X era realmente o aeródromo mais eficiente, foi confirmada pelo resultado do cenário 1. Para isso, foi utilizada como premissa os mesmos custos e parcelas de moeda estrangeira da hora voada de cada modelo para todas as bases. Assim como a mesma restrição de máximo de número de voos e de horas voadas de cada helicóptero para todas as bases. Essa premissa de utilizar valores médios iguais para todas as bases não é necessariamente verdadeira, mas era fundamental pois garantia isonomia entre as bases. A segunda hipótese, que buscava confirmar que havia melhores alternativas que o cenário base, também foi confirmada pelo cenário 2.

Conforme demonstrado, os impactos desses ganhos podem ser financeiros quanto de segurança, pela possível redução da exposição da força de trabalho a voos e horas voadas desnecessárias. Isso pode ser verificado no cenário 1, especialmente na Base X, pois possibilita a maior redução de custos e de horas voadas. Assim, é recomendável que seja a base para onde sejam direcionados todos os investimentos e esforços de ampliação e melhorias de infraestrutura aeroportuária.

O cenário 2, demanda uma revisão da frota de helicópteros, tanto na quantidade de aeronaves de cada modelo quanto na alocação das aeronaves em cada base. O ganho provocado por essa mudança é significativo, sendo fortemente recomendada. Ou, pelo menos, a redução das operações na Base Z e substituição de modelos de helicóptero N por O, mais eficientes.

Por fim, a simplicidade do modelo, o seu reduzido prazo de processamento e o curto horizonte de tempo escolhido para análise favorecem o uso prático deste modelo, por refletir de forma fiel a realidade operacional. Afinal, diferentemente de outros modelos desenvolvidos, com horizonte de tempo maior, neste modelo aqui proposto é possível ajustar semanalmente parâmetros como a taxa e câmbio, eventuais reajustes de preços de contratos, entradas e saídas de novas unidades marítimas na escala de atendimento, movimentação de unidades marítimas como sondas e embarcações de apoio, assim como quaisquer novas restrições que possam vir a surgir.

7 TRABALHOS FUTUROS

Apesar de terem sido consideradas várias restrições como de limitações de horas de voo por helicóptero, limitação de voos por base, restrições de pouso em helidecks por helicópteros

de grande porte, restrições de frota em cada base, ainda pode haver uma série de restrições que ocorre na etapa de negociação de vagas e voos entre a área de planejamento do transporte aéreo e os seus clientes como número mínimo de voos por semana, necessidade de atendimento em determinados dias da semana ou em determinados intervalos, exigência contratual de atendimento por uma determinada base, requerimento de atendimento por base única, dentre outros. Assim, o modelo pode se tornar ainda mais robusto na medida em que tais restrições forem incorporadas.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se também a realização de uma avaliação econômica para identificar se os investimentos necessários para aumentar a capacidade da Base X, de forma a contemplar o cenário 1, compensam os ganhos econômicos em relação ao cenário 2, que pode ser implementado sem necessidade de nenhuma obra ou investimento.

Além disso, a demanda de voos considerada neste estudo foi a demanda regular semanal, planejada e negociada com antecedência. No entanto, a indústria de óleo e gás possui uma parcela de demanda menos previsível e irregular que são os voos extras e voos de comitiva. Os voos extras atendem demandas como embarque de equipes para atividades não previstas, desembarque por motivos de falecimento de familiares, dentre outros. Os voos de comitivas geralmente atendem autoridades, que muitas vezes permanecem durante todo o dia na unidade marítima, sendo necessário ou a aeronave permanecer na unidade, imobilizando esse recurso, ou realizar etapas de voos vazios, de forma a utilizar a aeronave para outros voos durante o dia. Esse tipo de demanda também pode ser tratado em estudos futuros, o que proporcionará resultados mais abrangentes.

REFERÊNCIAS

Abbasi-Pooya, A., & Kashan, A. H. (2017). New mathematical models and a hybrid Grouping Evolution Strategy algorithm for optimal helicopter routing and crew pickup and delivery. *Computers & Industrial Engineering*, 112, 35-56.

Brachner, M., & Hvattum, L. M. (2017). Combined emergency preparedness and operations for safe personnel transport to offshore locations. *Omega*, 67, 31-41.

Brasil. Ministério do Trabalho. Portaria nº 1186, de 20 de dezembro de 2018. Aprova a Norma Regulamentadora n.º 37 – Segurança e Saúde em Plataformas de Petróleo. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília (DF)*; 2018 Dez 21. Web page. . Acessado: 2019-03-03.

de Alvarenga Rosa, R., Machado, A. M., Ribeiro, G. M., & Mauri, G. R. (2016). A mathematical model and a Clustering Search metaheuristic for planning the helicopter transportation of employees to the production platforms of oil and gas. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 303-312.

Galvão, R. D., & Guimarães, J. (1990). 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*, 49(2), 266-270.

Gribkovskaia, I., Halskau, O., & Kovalyov, M. Y. (2015). Minimizing takeoff and landing risk in helicopter pickup and delivery operations. *Omega*, 55, 73-80.

Halskau, Ø. (2014). Offshore helicopter routing in a hub and spoke fashion: minimizing expected number of fatalities. *Procedia Computer Science*, 31, 1124-1132.

Hermeto, N. D. S. S., Ferreira Filho, V. J. M., & Bahiense, L. (2014). Logistics network planning for offshore air transport of oil rig crews. *Computers & Industrial Engineering*, 75, 41-54.

IOGP. (2018). "Safety Performance Indicators – 2017 data".

Kashan, A. H., Abbasi-Pooya, A., & Karimiyan, S. (2019). A Rig-Based Formulation and a League Championship Algorithm for Helicopter Routing in Offshore Transportation. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Data Engineering and Communication Technology* (pp. 23-38). Springer, Singapore.

Menezes, F., Porto, O., Reis, M. L., Moreno, L., Aragão, M. P. D., Uchoa, E., ... & Nascimento, N. C. D. (2010). Optimizing helicopter transport of oil rig crews at Petrobras. *Interfaces*, 40(5), 408-416.

Moreno, L., de Aragão, M. P., & Uchoa, E. (2006, May). Column generation based heuristic for a helicopter routing problem. In *International Workshop on Experimental and Efficient Algorithms* (pp. 219-230). Springer, Berlin, Heidelberg.

Qian, F., Strusevich, V., Gribkovskaia, I., & Halskau, Ø. (2015). Minimization of passenger takeoff and landing risk in offshore helicopter transportation: Models, approaches and analysis. *Omega*, 51, 93-106.

Qian, F., Gribkovskaia, I., Laporte, G., & Halskau sr, Ø. (2012). Passenger and pilot risk minimization in offshore helicopter transportation. *Omega*, 40(5), 584-593.

Qian, F., Gribkovskaia, I., & Halskau Sr, Ø. (2011). Helicopter routing in the Norwegian oil industry: Including safety concerns for passenger transport. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(4), 401-415.