

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CC LUIZ FREDERICO HORÁCIO DE SOUZA DE BARROS TEIXEIRA

**O APARELHAMENTO, REAPARELHAMENTO E A MANUTENÇÃO
DOS MEIOS NAVAIS: a importância da Pesquisa Operacional nos
processos de obtenção da Marinha do Brasil**

Rio de Janeiro

2024

CC LUIZ FREDERICO HORÁCIO DE SOUZA DE BARROS TEIXEIRA

**O APARELHAMENTO, REAPARELHAMENTO E A MANUTENÇÃO
DOS MEIOS NAVAIS: a importância da Pesquisa Operacional nos
processos de obtenção da Marinha do Brasil**

Monografia apresentada à Escola de
Guerra Naval, como requisito parcial para
a conclusão do Curso Superior.

Orientador: CC EDUARDO QUARESMA

Rio de Janeiro
Escola de Guerra Naval
2024

DECLARAÇÃO DA NÃO EXISTÊNCIA DE APROPRIAÇÃO INTELECTUAL IRREGULAR

Declaro que este trabalho acadêmico: a) corresponde ao resultado de investigação por mim desenvolvida, enquanto discente da Escola de Guerra Naval (EGN); b) é um trabalho original, ou seja, que não foi por mim anteriormente utilizado para fins acadêmicos ou quaisquer outros; c) é inédito, isto é, não foi ainda objeto de publicação; e d) é de minha integral e exclusiva autoria.

Declaro também que tenho ciência de que a utilização de ideias ou palavras de autoria de outrem, sem a devida identificação da fonte, e o uso de recursos de inteligência artificial no processo de escrita constituem grave falta ética, moral, legal e disciplinar. Ademais, assumo o compromisso de que este trabalho possa, a qualquer tempo, ser analisado para verificação de sua originalidade e ineditismo, por meio de ferramentas de detecção de similaridades ou por profissionais qualificados.

Os direitos morais e patrimoniais deste trabalho acadêmico, nos termos da Lei 9.610/1998, pertencem ao seu Autor, sendo vedado o uso comercial sem prévia autorização. É permitida a transcrição parcial de textos do trabalho, ou mencioná-los, para comentários e citações, desde que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos e ideias expressas neste trabalho acadêmico são de responsabilidade do Autor e não retratam qualquer orientação institucional da EGN ou da Marinha do Brasil.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha amada esposa e alma gêmea, Bruna, por estar sempre ao meu lado com amor, paciência e apoio incondicional.

Aos meus filhos, Alice e Fred, que me inspiram diariamente e me ensinam a ser uma pessoa melhor. Minha eterna gratidão a vocês por motivarem cada passo desta jornada.

Aos meus pais, Luiz Frederico e Ester, por sua sabedoria, apoio e amor inabaláveis ao longo da minha vida.

Aos meus sogros, Lindenberg e Lila, e aos meus tios, Robson e Elsa, por todo o carinho e suporte constantes, permitindo que eu me dedique aos estudos com tranquilidade.

AGRADECIMENTO

A Deus, por me dar saúde e me abençoar com a família que eu tenho, guiando meus passos ao longo desta caminhada.

À minha esposa, Bruna, pelo constante encorajamento, paciência e compreensão, especialmente nos momentos mais desafiadores.

Aos meus filhos, Fred e Alice, por sempre trazerem alegria aos meus dias.

Aos meus pais, Luiz Frederico e Ester, aos meus sogros, Lindenberg e Lila, e aos meus tios, Robson e Elsa, pelo amor e dedicação à nossa família.

Ao Diretor do CASNAV, CMG Fabio Kenji Arakaki, ao Superintendente-Geral, CMG Luiz Fernando do Nascimento, e ao Encarregado da Divisão de Pesquisa Operacional, TSIII Maurício José Machado Guedes, pelo apoio institucional e incentivo durante o curso.

Aos amigos da divisão de Pesquisa Operacional do CASNAV, pelo profissionalismo e companheirismo nas diversas tarefas e serviços técnicos.

Ao meu orientador, CC Eduardo Quaresma, por sua orientação e sábios conselhos, essenciais para o desenvolvimento desta monografia.

Às equipes da administração do C-Sup na Escola de Guerra Naval e da disciplina de Metodologia Científica, pelo suporte e dedicação.

Aos instrutores e professores do C-Sup, pela excelência em sala de aula e pela paciência com os oficiais alunos que, muitas vezes, precisavam equilibrar as tarefas de bordo com os estudos.

Aos meus colegas do C-Sup, especialmente aos companheiros da turma Dodsworth e da Praça D'Armas do CASNAV, por compartilharem esta jornada acadêmica comigo, contribuindo com ideias e apoio em todos os momentos.

Por fim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, participaram desta realização e tornaram este projeto possível.

A ciência de hoje se transforma em vitória na guerra de amanhã.

O autor

RESUMO

Este trabalho realiza uma análise do processo de obtenção de meios navais da Marinha do Brasil, com foco na aplicação de técnicas de Pesquisa Operacional (PO). A pesquisa, de natureza qualitativa, foi conduzida por meio de análise documental das normas vigentes, especialmente as publicações EMA-333 (Sistemática para Avaliação Operacional da Marinha do Brasil) e EMA-420 (Normas para a Logística do Material). O estudo se concentra nas cinco fases principais do processo de obtenção, com especial atenção à Avaliação Operacional (AO), fase que mais depende das ferramentas de PO para otimizar o desempenho dos meios navais. O desenvolvimento do trabalho seguiu uma abordagem estruturada, partindo da fundamentação teórica sobre PO, passando pela análise das fases previstas nos processos de obtenção e modernização, até a avaliação de potenciais casos práticos de aplicação das técnicas de PO no contexto militar. Entre as principais ferramentas analisadas estão a modelagem, a simulação e a análise multicritério, que se mostram eficazes na otimização do ciclo de vida dos meios navais. As conclusões evidenciam que a aplicação de técnicas de PO podem contribuir para a redução de custos e riscos, contribuindo tanto no campo operacional quanto no logístico. A utilização dessas ferramentas melhora a avaliação da eficácia operacional dos sistemas navais, o que impacta diretamente o planejamento estratégico e o suporte logístico. Por fim, o estudo demonstra como a aplicação dessas técnicas está alinhada aos objetivos de longo prazo da Marinha do Brasil, promovendo decisões mais assertivas e eficazes. Ao fornecer um arcabouço metodológico robusto para a avaliação e otimização dos sistemas navais, a pesquisa também contribui para o avanço da disciplina de Pesquisa Operacional no contexto militar, mostrando seu valor estratégico para a Marinha do Brasil.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional. Marinha do Brasil. Obtenção de Meios Navais. Avaliação Operacional. Modernização Naval.

ABSTRACT

The Equipping, Re-Equipping, and Maintenance of Naval Assets: The Importance of Operations Research in the Brazilian Navy's Acquisition Processes

This research presents a comprehensive analysis of the Brazilian Navy's process of acquiring naval assets, with a focus on the application of Operational Research (OR) techniques. The study, qualitative in nature, was conducted through document analysis of current regulations, particularly EMA-333 (Systematic Approach to Operational Test and Evaluation of the Brazilian Navy) and EMA-420 (Logistics Standards for Material). The research concentrates on the five main phases of the acquisition process, with special emphasis on the Operational Test and Evaluation (OT&E) phase, which relies most heavily on OR tools to optimize the performance of naval assets. The development of the work followed a structured approach, starting with the theoretical foundations of OR, progressing through an analysis of the phases outlined in the acquisition and modernization processes, and culminating in the evaluation of potential practical cases of OR techniques applied in the military context. These techniques contribute to cost reduction, risk mitigation, and enhanced strategic responsiveness of the Navy to operational demands. The conclusions emphasize that the application of OR techniques in OT&E provides a solid foundation for informed decision-making, both in operational and logistical domains. Finally, the study demonstrates how the application of these techniques aligns with the long-term objectives of the Brazilian Navy, fostering more assertive and effective decisions. By offering a robust methodological framework for the evaluation and optimization of naval systems, this research also contributes to the advancement of the Operational Research discipline in the military context, underscoring its strategic value for the Brazilian Navy.

Keywords: Operations Research. Brazilian Navy. Naval Asset Acquisition. Operational Evaluation. Naval Modernization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	Grandes Campos da PO.....	48
FIGURA 2	Guarda-chuva com subáreas da PO.....	48
FIGURA 3	Fases do Processo de Obtenção.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Simulação Baseada em Agentes
AE	Avaliação de Engenharia
AHP	Analytic Hierarchy Process
ALMDS	Airborne Laser Mine Detection System
AO	Avaliação Operacional
AWS	Aegis Weapon System
CASNAV	Centro de Análises de Sistemas Navais
CPM	Critical Path Method (Método do Caminho Crítico)
DES	Simulação Discreta de Eventos
DLB	Base Logística de Defesa
DoD	Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América
DoN LAIRCM	Large Aircraft Infrared Countermeasures
EE	Estudos de Exequibilidade
ELECTRE	Élimination Et Choix Traduisant La Réalité
EMA	Estado-Maior da Armada
EMGEPRON	Empresa Gerencial de Projetos Navais
EUA	Estados Unidos da América
FCN	Fragatas Classe Niterói
IFORS	International Federation of Operational Research Societies
IME	Instituto Militar de Engenharia
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
MALD	Miniature Air-Launched Decoy
MB	Marinha do Brasil
MCDA	Análise de Decisão Multicritério
MEO	Medidas de Eficácia Operacional
M&S	Modelagem e Simulação
MODFRAG	Modernização das Fragatas Classe “Niterói”
MWORG	Mine Warfare Operations Research Group
NPS	Naval Postgraduate School
OM	Organização Militar
OR Society	The Operational Research Society

PERT	Técnica de Avaliação e Revisão de Programas
PL	Programação Linear
PNM	Programa Nuclear da Marinha
PO	Pesquisa Operacional
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluations
PROSUB	Programa de Desenvolvimento de Submarinos
PSM	Problem Structuring Methods
RANS	Requisitos de Alto Nível dos Sistemas
REM	Requisitos de Estado-Maior
RTO	Requisitos Táticos Operativos
TAF	Teste de Aceitação de Fábrica
TAM	Teste de Aceitação no Mar
TAP	Teste de Aceitação no Porto
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
SAPEVO	Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors
SSM	Soft Systems Methodology
VFT	Value-Focused Thinking
WAA	Wide-Aperture Array Sonar
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	O PROCESSO DE OBTENÇÃO E O REAPARELHAMENTO NA MARINHA DO BRASIL.....	14
2.2	A PESQUISA OPERACIONAL E SUA ORIGEM MILITAR.....	17
3	A PESQUISA OPERACIONAL NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DA MARINHA DO BRASIL.....	21
3.1	FASE DE CONCEPÇÃO DA OBTENÇÃO.....	21
3.2	FASE PRELIMINAR DA OBTENÇÃO.....	27
3.3	FASE DE CONTRATO DA OBTENÇÃO.....	29
3.4	FASE DE EXECUÇÃO DA OBTENÇÃO.....	31
3.5	FASE DE AVALIAÇÃO OPERACIONAL (AO).....	33
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
	REFERÊNCIAS.....	42
	ANEXO A – FIGURAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A obtenção e modernização de meios navais, aeronavais e de fuzileiros navais são processos críticos para a Marinha do Brasil (MB), especialmente no contexto de defesa e proteção da vasta área marítima conhecida como Amazônia Azul¹. Com a crescente complexidade dos sistemas navais e a constante evolução das ameaças globais, a Marinha enfrenta o desafio de garantir que seus meios estejam sempre prontos para atender às exigências operacionais e estratégicas. Nesse cenário, a Pesquisa Operacional (PO) emerge como uma ferramenta essencial para apoiar a tomada de decisões em todas as fases do processo de obtenção e modernização, contribuindo para a eficácia, eficiência e segurança das operações navais.

A motivação para a escolha desse tema reside na importância estratégica dos programas de aparelhamento e reaparelhamento da MB em garantir a soberania nacional e a proteção dos recursos marítimos. A aplicação de técnicas de PO no processo de obtenção e modernização de meios pode proporcionar uma vantagem significativa ao permitir uma análise científica, otimizando o emprego dos recursos da Marinha. Além disso, o estudo visa preencher uma lacuna na literatura, onde a aplicação de PO de forma estruturada ao longo de todas as fases de um programa de obtenção, especialmente na Marinha do Brasil, ainda não é amplamente explorada.

A relevância desta pesquisa está na sua contribuição para o aprimoramento do processo de obtenção e modernização de meios navais, oferecendo uma análise da aplicação de técnicas de PO e suas implicações para a eficiência operacional da Marinha. O problema central desta pesquisa é entender como a PO pode ser aplicada de maneira eficaz no processo de obtenção e modernização de meios navais, com especial atenção para a AO. O objetivo geral é analisar o processo de obtenção e modernização de meios navais à luz da norma EMA-420 (Normas para Logística de Material - Rev.2 Mod.1), destacando a importância do emprego de técnicas de PO no aparelhamento e reaparelhamento da Marinha do Brasil.

¹Amazônia Azul ® refere-se à área que abrange a superfície do mar, águas sobrejacentes ao leito do mar, solo e subsolo marinhos, na extensão atlântica que se estende a partir da costa brasileira até o limite externo da Plataforma Continental do Brasil (Marinha do Brasil, 2011).

As questões de estudo que norteiam esta pesquisa focam em como as técnicas de PO podem ser aplicadas no processo de obtenção de meios navais na Marinha do Brasil. Além disso, busca-se citar quais são as principais técnicas de PO que podem ser empregadas durante a AO. Finalmente, pretende-se citar de que forma a PO pode contribuir para a melhoria da eficiência operacional dos meios navais.

Metodologicamente, a pesquisa se baseia em uma abordagem qualitativa, utilizando revisão bibliográfica e análise documental das normas em vigor na Marinha do Brasil, especialmente a norma EMA-420 (Normas para Logística de Material) e EMA-333 (Sistemática para Avaliação Operacional na Marinha do Brasil).

O trabalho está organizado em capítulos que abordam, respectivamente, a fundamentação teórica sobre PO, o detalhamento das fases do processo de obtenção e modernização de meios navais, incluindo a breve análise do potencial de aplicação de PO nessas fases, com ênfase na AO, e, por fim, as considerações finais que sintetizam os principais achados e contribuições da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O intuito do presente capítulo é fornecer de maneira breve para o leitor o arcabouço teórico que este trabalho tomou como referência e um ponto de partida para o aprofundamento daqueles que se interessarem pelo assunto.

2.1 O processo de Obtenção e o reaparelhamento na MB

O programa de reaparelhamento da Marinha do Brasil tem sido uma parte essencial da estratégia de defesa nacional, especialmente considerando a importância da Amazônia Azul, uma vasta área marítima sob a jurisdição brasileira que abriga recursos naturais estratégicos como petróleo e gás (Camargo, 2024). Historicamente, como apontado por Waldmann Júnior (2019), a Marinha enfrentou desafios significativos ao tentar modernizar sua frota no início do século XX. Programas ambiciosos foram interrompidos por crises econômicas e políticas, resultando em uma esquadra obsoleta. No entanto, o cenário mudou

na Era Vargas² e com o início da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), quando houve um novo impulso para a modernização naval com o apoio dos Estados Unidos.

Contemporaneamente, os desafios permanecem, mas o enfoque tem sido na integração de novas tecnologias e no apoio logístico, como observado a partir da modernização das Fragatas Classe “Niterói”³ sob o programa MODFRAG⁴ (Canuto Filho, 2023). O uso de Apoio Logístico Integrado (ALI) tem se mostrado essencial para garantir que os projetos de modernização sejam bem-sucedidos, destacando a importância de um planejamento rigoroso e execução eficiente.

Além disso, como destacam Brick e Nogueira (2017), a construção e sustentação de uma Base Logística de Defesa (DLB) robusta é fundamental para garantir a capacidade operacional da Marinha a longo prazo. A DLB não apenas sustenta as operações navais atuais, mas também desempenha um papel crucial no desenvolvimento e manutenção de tecnologias autóctones que permitem à Marinha operar com maior independência e eficiência. A modernização da Marinha, portanto, não é apenas uma questão de atualização tecnológica, mas também de garantir a capacidade do Brasil de proteger seus interesses marítimos em um contexto global cada vez mais competitivo. Como destacado no trabalho de Camargo (2024), a modernização da frota brasileira é alinhada com as diretrizes governamentais para garantir que o Brasil possa expandir e proteger sua Zona Econômica Exclusiva⁵.

Segundo Ramos (2020), há três documentos basilares que devem orientar as aquisições de meios na Marinha do Brasil, a fim de atender às exigências

²Era Vargas corresponde ao período entre 1930 e 1945 no qual o político Getúlio Vargas esteve na presidência da República Federativa do Brasil (Moraes, 2019).

³As Fragatas Classe Niterói (FCN) são navios-escolta da MB, projetados para localizar e destruir aeronaves, navios de superfície e submarinos inimigos, além de patrulhar as águas territoriais. As FCN consistem no modelo de navio Vosper Mk 10, desenvolvido pelo estaleiro britânico Vosper Thornycroft. O primeiro navio da classe, a Fragata Niterói, foi incorporado em 1976, seguido por outras cinco fragatas: Defensora (1977), Constituição (1978), Liberal (1978), Independência (1979) e União (1980). As duas últimas foram construídas no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ) com assistência técnica britânica (Marinha do Brasil, 2024a).

⁴MODFRAG refere-se ao Programa de Modernização das Fragatas Classe Niterói, iniciado na década de 1990, com o objetivo de atualizar os sistemas e prolongar a vida útil dessas embarcações. O projeto incluiu a substituição de equipamentos antigos por tecnologias mais modernas, incluindo armamento e sensores (Canuto Filho, 2023).

⁵Zona Econômica Exclusiva (ZEE) refere-se à área marítima compreendida entre as linhas de base do mar territorial até a distância máxima de 200 Milhas Náuticas. (Marinha do Brasil, 2011).

do portfólio de interesses políticos nacionais, permitindo alcançar os objetivos político estratégicos e cumprir a missão constitucional, a saber: Política Nacional de Defesa, Estratégia Nacional de Defesa e Política Naval. A Política Nacional de Defesa (PND) foca na integração das expressões do Poder Nacional para garantir a defesa do Brasil, articulando esforços do Estado para alcançar os objetivos nacionais. Já a Estratégia Nacional de Defesa (END) se desdobra a partir da PND, orientando as ações práticas e estratégias que o Estado deve adotar para dotar o Brasil da capacidade de defesa, promovendo o desenvolvimento científico e tecnológico necessário para manter uma postura adequada em caso de conflito (Brasil, 2020). Por fim, a Política Naval é um documento específico da Marinha do Brasil que estabelece diretrizes e objetivos focando na preparação e capacitação da força naval, no orçamento necessário, na segurança marítima, e na inovação tecnológica para garantir a autonomia e a capacidade de dissuasão naval do país (Brasil, 2019).

Complementarmente, no contexto interno da MB, o processo de aquisição de meios é normatizado pela publicação EMA-420 (Normas para Logística de Material). Este documento regula de forma abrangente os processos de obtenção, modernização, manutenção, baixa e transferência de meios navais, incluindo sistemas navais, aeronavais e de fuzileiros navais (Brasil, 2002).

O processo de obtenção é estruturado de maneira a garantir aquisições alinhadas aos objetivos estratégicos da Marinha, estando dividido nas fases de Concepção, Preliminar, Contrato, Execução e Avaliação Operacional. Esse processo começa com a fase de Concepção, no qual são definidos os requisitos operacionais e as especificações técnicas dos novos meios, com base nas demandas identificadas pelos diversos setores da MB. A seguir, ocorre a fase de Preliminar, que envolve a análise de viabilidade técnica e financeira, a elaboração de estudos de mercado e a definição das melhores práticas para aquisição ou construção dos meios. Durante essa fase, são exploradas diversas possibilidades de obtenção, como aquisição por oportunidade, construção, conversão ou doações (Brasil, 2002).

Na fase seguinte, de Contrato, são formalizados os processos de aquisição, incluindo a negociação de contratos, supervisão da construção ou adaptação dos meios, e realização de testes e inspeções para garantir o cumprimento dos requisitos estabelecidos. Finalmente, na fase de Execução, o projeto se

desenvolve e o meio é formalmente integrado ao serviço ativo da Marinha, passando para a última fase, a Avaliação Operacional, para assegurar sua aptidão funcional (Brasil, 2002).

2.2 A Pesquisa Operacional e sua origem militar

A Pesquisa Operacional (PO) surgiu como uma resposta à crescente complexidade das organizações, intensificada pela Revolução Industrial. Embora o termo "Pesquisa Operacional" tenha ganhado notoriedade durante a Segunda Guerra Mundial, suas raízes podem ser rastreadas até os anos 1930, quando métodos quantitativos foram aplicados para resolver problemas em contextos civis e militares (Hillier; Lieberman, 2013; McCloskey, 1987).

Durante a Segunda Guerra, a PO foi formalizada como campo científico, impulsionada pela necessidade de alocar eficientemente recursos militares escassos (Kirby, 2003). No Reino Unido, a PO foi essencial para a defesa aérea e operações navais, ajudando a otimizar o uso de radares e o combate aos submarinos alemães, U-boats. Magill (2023) e Blackett (1962) destacam como essas técnicas analíticas foram fundamentais para melhorar a eficácia das operações britânicas, especialmente no uso de bombas e cargas de profundidade. A criação de seções de PO nas Forças Armadas britânicas foi crucial para o sucesso de várias campanhas militares, levando à formalização dessa disciplina.

Nos Estados Unidos, a Marinha foi pioneira na adoção formal da PO, estabelecendo o *Mine Warfare Operations Research Group* (MWORG), em 1942, para combater minas submarinas no Atlântico. Apesar de tensões iniciais entre cientistas e militares, o sucesso da PO em operações antissubmarinas consolidou sua importância (Shrader, 2006; Rau, 2005). A Força Aérea dos EUA também adotou a PO em 1942, enquanto o Exército incorporou essa prática de forma mais gradual. Após a guerra, a PO se tornou uma ferramenta essencial no planejamento estratégico e na formulação de táticas militares, influenciando decisões até os dias atuais (Shrader, 2006; Larnder, 1984).

De Grange (2024) destaca que a PO tem sido uma força motriz na evolução do Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD) por mais de oito décadas, desde suas origens na guerra antissubmarina durante a Segunda Guerra Mundial até suas aplicações modernas em veículos autôno-

mos e operações multidomínios. Assim, a PO tem consistentemente moldado táticas militares, estratégias operacionais e decisões de investimento, atuando como um multiplicador de força crucial em um cenário de ameaças em constante evolução e se consolidando com uma ferramenta de fundamental importância na garantia da segurança nacional dos EUA.

Segundo Pessôa *et al.* (2016), a Pesquisa Operacional na Marinha do Brasil remonta à criação do Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), na década de 1970, durante a aquisição das Fragatas da classe "Niterói". Essa aquisição impulsionou a Marinha a aprofundar seus conhecimentos técnicos para garantir o adequado emprego de navios dotados de tecnologias avançadas. Conseqüentemente, o CASNAV foi estabelecido com a missão de "controlar e executar as atividades de Pesquisa Operacional em todos os escalões da Marinha do Brasil".

Pessôa e Collazo (2018) destacam que, diante de um cenário econômico que exige a redução de despesas, o valor não operativo da Pesquisa Operacional para a Marinha torna-se claro, devido ao seu potencial de economizar recursos e aumentar a eficiência. Observa-se que a expertise em PO é fundamental para a MB, tanto do ponto de vista militar relacionado à atividade-fim da força quanto para promover melhorias na eficiência e redução de custos.

O presente trabalho destaca que o uso de técnicas de PO já é uma realidade no CASNAV, mas há espaço para ampliar esse uso em outras áreas da Marinha. Pessôa *et al.* (2016) explicam que os desenvolvimentos em Pesquisa Operacional realizados pelo CASNAV não são amplamente conhecidos pelo público ou pela comunidade acadêmica devido à natureza específica de suas aplicações. A maior parte das atividades de Pesquisa Operacional no CASNAV está focada na Avaliação Operacional (AO) dos meios da MB, bem como no desenvolvimento de procedimentos táticos operativos e de Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) para operações reais ou que visam atender questões estratégicas. Esses trabalhos são altamente especializados e diretamente aplicados às necessidades operacionais da Marinha, sendo muitas vezes sigilosos, o que limita sua divulgação fora do ambiente militar. Além disso, ao contrário de outras Forças Armadas brasileiras, como a Força Aérea e o Exército, que possuem suas próprias Instituições de Ensino Superior na área de engenharia, respectivamente, o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e o Instituto Militar

de Engenharia (IME), a Marinha não dispõe de um centro específico para a formação acadêmica em Pesquisa Operacional, o que também contribui para a baixa visibilidade dos modelos e métodos desenvolvidos internamente pelo CASNAV (Pessôa *et al.*, 2016).

Após a Segunda Guerra Mundial, as técnicas e metodologias desenvolvidas no campo da Pesquisa Operacional começaram a se expandir rapidamente para além das aplicações militares, alcançando o domínio civil. Essa transição ocorreu à medida que as empresas e governos perceberam o potencial dessas ferramentas analíticas para melhorar a eficiência e a tomada de decisões em várias indústrias, como transporte, manufatura e saúde. O uso de PO permitiu a otimização de processos complexos e a resolução de problemas logísticos em ambientes civis, refletindo a adaptabilidade e a versatilidade da disciplina em contextos não-militares (Laporte, 2023).

A definição contemporânea de Pesquisa Operacional, conforme descrita pela *International Federation of Operational Research Societies* (IFORS), enfatiza que essa disciplina é dedicada à melhoria da tomada de decisões por meio de métodos analíticos. Assim, PO é uma abordagem científica que visa aprimorar a eficiência e a eficácia das decisões em ambientes gerenciais complexos em diversos setores, tanto públicos quanto privados (IFORS, 2020). Segundo a *The Operational Research Society* (2024), a PO é uma abordagem amplamente utilizada em diversos setores, incluindo empresas, governo, setor público, instituições de caridade, comunidades e até mesmo por indivíduos. Os benefícios de aplicar a Pesquisa Operacional para a solução de problemas reais incluem desde a redução de custos e aumento de receita até a melhoria do serviço ao cliente e mitigação de riscos, resultando em sistemas mais produtivos baseados em análises de dados robustas e na colaboração entre todos os envolvidos (OR Society, 2024). Em suma, a Pesquisa Operacional é a técnica de utilizar ferramentas de diferentes campos do conhecimento, em especial das ciências exatas, de forma lógica e objetiva, para a resolução de problemas complexos em diferentes áreas do cotidiano, até mesmo mediante situações subjetivas, inclusive das ciências humanas e sociais.

No Brasil, atualmente, a PO geralmente está ligada a cursos de áreas como administração, ciência da computação, engenharia industrial, engenharia de produção e matemática. Santos (2018) define cinco grandes campos da PO,

conforme ilustrado na figura 1 do Anexo A. Gomes *et al.* (2023), por sua vez, apresentam o conceito de “Guarda-chuva da Pesquisa Operacional”, no qual destacam quais as principais subáreas da PO, cada qual que pode fazer uso de diferentes técnicas e ferramentas. A figura 2 do Anexo A ilustra o Guarda-chuva da PO.

Diversos estudos recentes têm explorado, direta ou indiretamente, o processo de obtenção na Marinha do Brasil e a aquisição de produtos de defesa no país, como os trabalhos de Marroni (2018), Barrêto (2021), Viveiros (2022), Silveira Junior (2023), El-Mann (2023) e Torres (2023). Silveira Junior (2023) concentra-se nos desafios e oportunidades da construção dos navios da Classe Tamandaré⁶, enquanto Viveiros (2022) analisa o papel da EMGEPRON⁷ na gestão de projetos de defesa, destacando sua importância para o fortalecimento da Base Industrial de Defesa. Barrêto (2021) compara as diferenças nos processos de obtenção de produtos de defesa na Marinha do Brasil, focando nas particularidades entre compras realizadas no mercado interno e externo. El-Mann (2023) aborda as dificuldades na aquisição de itens sensíveis e complexos, especialmente no contexto do Programa Nuclear da Marinha⁸ e do PROSUB⁹. Marroni (2018) examina as práticas de aquisição de defesa dos Estados Unidos e discute como essas práticas podem ser adaptadas e implementadas no Brasil, especialmente no âmbito do Ministério da Defesa e da Marinha. Torres (2023) discute o suporte logístico integrado nas aquisições da Força Aérea Brasileira, explorando as melhores práticas e os desafios enfrentados na aplicação desse conceito. Contudo, observa-se que nenhum desses estudos aborda de forma detalhada o potencial das técnicas de Pesquisa Operacional para melhorar os processos de aquisição, identificando uma lacuna significativa que poderia ser explorada para melhorar a eficiência dessas operações.

⁶ O Programa Fragatas Classe Tamandaré (FCT) é um projeto estratégico da MB iniciado em 2017, com o objetivo de construir quatro fragatas modernas e de alto poder combatente em território nacional (Marinha do Brasil, 2024b).

⁷A Empresa Gerencial de Projetos Navais (EMGEPRON) é uma entidade pública fundada em 1982, subordinada ao Ministério da Defesa através do Comando da Marinha do Brasil. Sua missão envolve o fomento da indústria naval do país, além da gestão de projetos relacionados a programas estratégicos da Marinha e a execução de tarefas ligadas à aquisição e manutenção de equipamentos militares navais (Brasil, 2021).

⁸O Programa Nuclear da Marinha (PNM) tem como objetivo o domínio tecnológico do ciclo do combustível nuclear e o desenvolvimento e construção de uma planta nuclear de geração de energia elétrica (Marinha do Brasil, 2024d).

⁹ O Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB) é um programa estratégico da MB que visa a construção de cinco submarinos para a MB, incluindo um de propulsão nuclear convencionalmente armado (Marinha do Brasil, 2024c).

3 A PESQUISA OPERACIONAL NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DA MARINHA DO BRASIL

Neste capítulo, busca-se analisar o potencial de aplicação da Pesquisa Operacional no processo de aquisição da Marinha do Brasil, especialmente em programas de aparelhamento, reaparelhamento ou modernização da força naval. O processo de obtenção de meios na MB, conforme previsto na norma EMA-420 (Brasil, 2002), é dividido em cinco fases principais, cada uma com funções e objetivos específicos que garantem a aquisição eficiente e alinhada aos requisitos estratégicos da Força. A figura 3 ilustra o desencadeamento das fases desse processo, conforme descrito no EMA-420, que são detalhadas a seguir. Para cada fase do processo de obtenção da MB, é possível aplicar técnicas de Pesquisa Operacional para melhorar e contribuir com o processo de tomada de decisão, assegurando maior eficiência e alinhamento estratégico. A seguir, são apresentadas sugestões específicas para cada fase:

Figura 3: Fases do Processo de Obtenção.



Fonte: Adaptado de BRASIL (2002)

3.1. Fase de Concepção da Obtenção:

A Fase de Concepção inicia o processo de obtenção, onde são identificadas as necessidades operacionais e definidos os Requisitos de Estado-Maior (REM). Esses requisitos estabelecem as capacidades que o novo meio ou sistema deve possuir para atender às demandas estratégicas e operacionais. Nessa fase, são realizados os Estudos de Exequibilidade (EE), que avaliam alternativas tecnológicas em termos de custo-benefício, considerando restrições orçamentárias. Além disso, são definidos os Requisitos de Alto Nível dos Sistemas (RANS), que detalham as funcionalidades e características necessárias, garantindo uma abordagem integrada entre os aspectos operacionais, logísticos e técnicos desde o início (Brasil, 2002).

Nessa fase inicial, a técnica de PO denominada *Value-Focused Thinking* (VFT) poderia ser útil para identificar e estruturar os objetivos de alto nível da Marinha em relação aos sistemas a serem adquiridos. O *Value-Focused Thinking* é uma técnica desenvolvida por Ralph Keeney que se diferencia das abordagens tradicionais de tomada de decisão ao focar primeiramente nos valores e objetivos fundamentais antes de considerar as alternativas. Enquanto as abordagens convencionais, como a decisão centrada em alternativas, começam com um conjunto de opções a serem avaliadas, o VFT propõe que os tomadores de decisão identifiquem primeiro o que é realmente importante — os valores e objetivos subjacentes — e, em seguida, desenvolvam alternativas que maximizem esses valores (Keeney, 1996).

A técnica do VFT envolve a criação de uma hierarquia de valores que organiza os objetivos em categorias, desde os mais fundamentais até os mais específicos. Essa estrutura ajuda a esclarecer o que realmente importa na decisão e a explorar um leque mais amplo de alternativas que podem não ser óbvias em uma análise focada apenas nas opções existentes. Além disso, o VFT facilita a avaliação de *trade-off*¹⁰ entre diferentes objetivos, permitindo uma tomada de decisão mais alinhada aos valores essenciais da organização ou do tomador de decisão (Keeney, 2009).

Em vez de focar apenas nas alternativas disponíveis, o VFT permite que os tomadores de decisão comecem pelo estabelecimento de valores e objetivos fundamentais, o que pode orientar o desenvolvimento dos Requisitos de Alto Nível dos Sistemas (RANS) e dos Estudos de Exequibilidade (EE). Isso ajuda a garantir que todas as opções sejam avaliadas à luz dos objetivos estratégicos de longo prazo da Marinha.

As aplicações do VFT são amplas e incluem planejamento estratégico, avaliação de políticas públicas, e tomada de decisão em projetos complexos. Por exemplo, em projetos de engenharia, o VFT pode ser utilizado para identificar e priorizar os objetivos de desempenho do projeto, garantindo que as decisões técnicas sejam orientadas pelos valores mais críticos para o sucesso do projeto. Em políticas públicas, o VFT pode ajudar a estruturar debates sobre alocação de recursos, concentrando-se em como as diferentes opções de po-

¹⁰Expressão idiomática em inglês que indica compensação ou o ato de escolher uma opção em detrimento de outra mutuamente exclusiva (Empiricus, 2023).

lítica atendem aos valores fundamentais da sociedade (Parnell *et al.*, 2013; Fenkart *et al.*, 2024; Martin *et al.*, 2024).

No contexto militar, o VFT poderia, ainda, ser aplicado na formulação de estratégias e políticas, ajudando os tomadores de decisão a identificar e priorizar valores fundamentais antes de avaliar as alternativas. Isso é crucial em ambientes militares, onde os objetivos estratégicos são complexos e multifacetados. Por exemplo, o VFT pode ser utilizado para definir prioridades em missões humanitárias conduzidas pelas Forças Armadas, garantindo que as decisões tomadas reflitam os valores essenciais da missão.

A técnica de PO denominada Análise de Decisão Multicritério (*Multicriteria Decision Analysis* - MCDA) ou Apoio à Decisão Multicritério também possui aderência com esta fase do processo de obtenção. A MCDA pode ser usada para avaliar e priorizar diferentes alternativas de sistemas com base em critérios múltiplos e conflitantes, como custo, tempo de implementação, e capacidade tecnológica. Ferramentas de MCDA como os métodos AHP, ELECTRE, PROMETHEE ou SAPEVO podem ser aplicadas para ajudar a Marinha a comparar diferentes alternativas de sistemas, levando em consideração múltiplos critérios que afetam a decisão final (Teixeira *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2023).

Pivatto Junior (2024) argumenta que, de maneira geral, ao longo dos anos, as prioridades para atendimento a projetos estratégicos na Marinha foram estabelecidas de acordo com as experiências passadas e preferências pessoais das autoridades que ocuparam os cargos de decisão. Martins Filho (2015), por sua vez, já pontuava que em países como o Brasil, as Forças Armadas possuem uma autonomia tal dentro do Estado, que somada a uma aparente falta de envolvimento por parte da sociedade e de instituições civis em questões de defesa, permite que as decisões sobre a aquisição de navios de guerra e outros equipamentos permaneçam, em grande medida, sob a responsabilidade da força naval. O autor aduz que, tanto na origem do processo quanto nos níveis mais altos da hierarquia naval, surgem divergências em relação às opções de aquisição, que representam diferentes pontos de vista, tanto técnicos quanto operacionais, e refletem desacordos que podem estar ligados a preferências políticas ou a distintas estratégias navais (Martins Filho, 2015).

A Análise de Decisão Multicritério é uma área da Pesquisa Operacional que se concentra em apoiar a tomada de decisões complexas envolvendo múltiplos

tiplos critérios, que podem ser conflitantes ou complementares. Essa técnica é particularmente útil quando se deve considerar diversos fatores simultaneamente, como custo, tempo, qualidade, e impacto ambiental, entre outros. A MCDA oferece uma estrutura para avaliar, comparar e priorizar alternativas de decisão com base em critérios definidos. Entre as técnicas mais conhecidas dentro da MCDA estão o AHP, ELECTRE, PROMETHEE e SAPEVO (Gomes e Gomes, 2019).

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP), ou Processo Analítico Hierárquico, desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970, é um método amplamente utilizado para organizar e analisar decisões complexas, combinando princípios matemáticos e psicológicos. O AHP estrutura o problema em uma hierarquia que inclui o objetivo principal, as alternativas de solução e os critérios para avaliação dessas alternativas. O método se destaca por permitir a comparação par a par entre critérios, onde os *stakeholders* avaliam a importância relativa de cada critério, expressando preferências em termos quantitativos. Essas preferências são então sintetizadas em prioridades numéricas, que ajudam a identificar a alternativa que melhor atende ao objetivo global. A capacidade do AHP de quantificar as preferências e integrá-las em uma estrutura de decisão racional o diferencia de outras técnicas de decisão. (Saaty, 2004; Vaidya e Sushil, 2006; Gomes e Gomes, 2019).

A família de métodos ELECTRE (*Élimination Et Choix Traduisant la Réalité*) foi introduzida por Bernard Roy na década de 1960, na Europa, como uma solução para os desafios enfrentados na aplicação em problemas reais de decisão multicritério. Inicialmente, o ELECTRE foi concebido para selecionar a melhor ação de um conjunto de alternativas, mas sua aplicação se expandiu para três principais áreas: escolha, classificação e ordenação. Os métodos ELECTRE são classificados como métodos de sobreclassificação (*outranking*), onde as alternativas são comparadas par a par com base em relações de dominância parcial. A contribuição de Roy, amplamente reconhecida, posiciona o ELECTRE como um dos pilares da escola europeia de tomada de decisão (Roy, 1991; Gomes E Gomes, 2019).

Desenvolvidos no início da década de 1980 por Jean-Pierre Brans e, posteriormente, Bertrand Mareschal, os métodos PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*) são ferramentas

poderosas para apoiar a tomada de decisão em diversos cenários. Esses métodos proporcionam um framework racional e abrangente para estruturar problemas de decisão, identificando e quantificando conflitos, sinergias e agrupamentos de ações. Sua aplicabilidade é vasta, abrangendo setores como negócios, instituições governamentais, transporte, saúde e educação, oferecendo uma análise clara e interativa das alternativas disponíveis. (Brans E Yves, 2016; Gomes E Gomes, 2019).

A família SAPEVO (*Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors*) compreende um conjunto de métodos voltados para a análise multicritério, que utiliza a agregação simples de preferências expressas por vetores ordinais. Esses métodos são bastante flexíveis e permitem que os tomadores de decisão expressem suas preferências de forma ordinal, ou seja, classificando as alternativas sem necessariamente quantificar a diferença entre elas. Podem ser utilizados tanto para problemas com um único decisor quanto para decisões em grupo (Teixeira *et al.*, 2019; Teixeira *et al.*, 2019a; Gomes *et al.*, 2020).

As aplicações da MCDA são amplas e incluem áreas como planejamento urbano, gestão de recursos naturais, avaliação de impacto ambiental, e escolha de fornecedores em cadeias de suprimentos. Por exemplo, no planejamento urbano, a MCDA pode ser utilizada para decidir sobre a localização de novos empreendimentos considerando tanto os benefícios econômicos quanto os impactos sociais e ambientais. A Análise Multicritério tem sido amplamente utilizada em contextos militares para apoiar a tomada de decisões complexas, onde vários critérios conflitantes precisam ser avaliados simultaneamente. Em operações militares, o MCDA pode ser empregado para a seleção de bases militares, alocação de recursos em missões e priorização de alvos em operações. Por exemplo, ao selecionar locais para bases avançadas, a MCDA pode integrar fatores como segurança, acessibilidade logística, impacto ambiental e proximidade a áreas de interesse estratégico (Costa *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2024; Gavião *et al.*, 2024).

Outra técnica com potencial de utilização nesta fase é a Simulação de Cenários, visando prever o impacto de diferentes configurações de sistemas e avaliar sua viabilidade em cenários operacionais variados. A Simulação de Cenários é uma técnica da Pesquisa Operacional que permite modelar e analisar

sistemas complexos para prever o comportamento e os resultados em diferentes cenários. Essa técnica é fundamental em situações onde há incerteza ou onde o sistema é muito complexo para ser analisado de forma analítica direta. A simulação permite que os decisores experimentem com diferentes estratégias e observem os possíveis resultados antes de implementar ações no mundo real.

Entre as técnicas mais comuns de simulação estão a Simulação Discreta de Eventos (DES - *Discrete Event Simulation*), a Simulação de Monte Carlo e a Simulação baseada em Agentes (ABS - *Agent-Based Simulation*). A Simulação Discreta de Eventos modela o funcionamento de um sistema como uma série de eventos discretos, enquanto a Simulação de Monte Carlo utiliza técnicas estatísticas para modelar e prever a probabilidade de diferentes resultados em processos aleatórios. A Simulação baseada em Agentes, por outro lado, modela sistemas como um conjunto de agentes individuais que interagem de acordo com regras específicas, permitindo a simulação de comportamentos emergentes (Ingalls, 2011; Hillier e Lieberman, 2013; Ross, 2022).

As aplicações da Simulação de Cenários são vastas e incluem desde o planejamento de produção em fábricas até a gestão de cadeias de suprimentos e a avaliação de políticas públicas. Por exemplo, no gerenciamento de cadeias de suprimentos, a simulação pode ajudar a prever os efeitos de interrupções nas cadeias de abastecimento e a desenvolver estratégias de mitigação. A Simulação de Cenários é amplamente usada nas Forças Armadas para planejar e treinar operações militares, além de avaliar a logística necessária para o sucesso de missões complexas. A simulação permite que as forças militares testem diferentes estratégias e identifiquem riscos potenciais antes de implementar operações reais. Em logística militar, a simulação pode ser usada para modelar a cadeia de suprimentos em situações de combate, garantindo que as tropas tenham acesso a equipamentos e suprimentos no tempo certo (Maria, 1997; Gomes E Gomes, 2019; Ross, 2022).

Esse conjunto de técnicas de PO apresentadas possui potencial para otimizar as decisões inerentes à primeira etapa do processo de obtenção. Após o término da Fase de Concepção, espera-se que a conceituação do projeto e a definição das configurações básicas do meio estejam concluídas, tendo início a etapa seguinte do processo de obtenção, a fase Preliminar.

3.2. Fase Preliminar da Obtenção:

Na Fase Preliminar, os conceitos da Fase de Concepção são refinados e os Requisitos Táticos Operativos (RTO) são elaborados, especificando as características e capacidades necessárias para cumprir as missões operacionais da Marinha. Além disso, são realizados estudos de viabilidade técnica, financeira e operacional para garantir que o projeto atenda aos parâmetros estabelecidos. Essa fase também contempla a preparação para os processos de licitação e a seleção de fornecedores, quando aplicável, minimizando riscos e otimizando o processo de obtenção. O CASNAV inicia o planejamento da AO, participando de cursos e adestramentos e tomando conhecimento dos manuais dos sistemas e equipamentos de interesse (Brasil, 2002; Brasil, 2004). Estes estudos que caracterizam a fase Preliminar possuem grande potencial para serem otimizados mediante o uso de técnicas de PO.

Nesta segunda fase, a técnica *Soft Systems Methodology* (SSM) pode ser empregada para lidar com situações complexas e pouco estruturadas durante a elaboração dos Requisitos Táticos Operativos (RTO). Segundo Lima (2015), o SSM é um dos principais Métodos de Estruturação de Problemas (*Problem Structuring Methods* - PSM) usados na Pesquisa Operacional. Essa metodologia é útil para facilitar a comunicação entre diferentes partes interessadas e para garantir que todos os aspectos operacionais e táticos sejam considerados de maneira holística. O SSM pode ajudar a esclarecer os objetivos, identificar restrições e explorar diferentes visões do problema.

Soft Systems Methodology é uma abordagem qualitativa para a estruturação de problemas complexos e mal definidos, desenvolvida por Peter Checkland. Diferente das abordagens mais tradicionais de Pesquisa Operacional, que geralmente tratam problemas bem estruturados com soluções matemáticas, o SSM é particularmente útil em situações onde os problemas são complexos, ambíguos, e envolvem múltiplos *stakeholders* com diferentes perspectivas e interesses (Wang, Liu E Mingers, 2015; Checkland E Poulter, 2020).

A metodologia SSM envolve uma série de etapas que começam com a expressão da situação problemática e continuam com a construção de modelos conceituais que representam as diferentes perspectivas dos envolvidos. Esses modelos são usados para promover debates e aprendizado entre os partícipes

do projeto, com o objetivo de chegar a uma compreensão compartilhada da situação e das possíveis ações a serem tomadas. Uma característica importante do SSM é que ele não busca uma solução única, mas sim uma melhor compreensão do problema e um conjunto de ações viáveis que sejam aceitáveis para os envolvidos (Wang, Liu e Mingers, 2015; Checkland e Poulter, 2020).

O SSM tem sido amplamente aplicado em contextos como planejamento organizacional, gestão de mudanças, e desenvolvimento comunitário. Por exemplo, em organizações que enfrentam problemas de comunicação e coordenação entre departamentos, o SSM pode ser usado para explorar as percepções de diferentes grupos e identificar maneiras de melhorar a colaboração. Em projetos de desenvolvimento comunitário, o SSM ajuda a reunir diferentes grupos da comunidade para entender suas necessidades e desenvolver soluções que sejam amplamente apoiadas. O *Soft Systems Methodology* também pode ser usada para estruturar problemas complexos e mal definidos em ambientes militares, como na coordenação entre diferentes ramos das forças armadas ou na implementação de novas políticas de defesa. O SSM facilita o entendimento das diferentes perspectivas dos *stakeholders* e auxilia na formulação de soluções que atendam às necessidades e restrições de todos os envolvidos (Mingers e Taylor, 1992; Checkland e Haynes, 2019).

Para essa fase também se vislumbra o emprego de VFT, analogamente à fase anterior. Verifica-se, ainda, o potencial de uso de Simulação de Cenários para testar e validar os Requisitos Táticos Operativos (RTO) em diferentes condições operacionais, antecipando desafios, e da Análise de Decisão Multicritério, para apoiar na definição final dos RTO, considerando diversos fatores que podem impactar a eficácia dos sistemas.

As técnicas de PO supracitadas podem contribuir para maximizar a eficiência da Fase Preliminar. Ao final desta, espera-se que o setor do Material possua o projeto bem estruturado, incluindo estimativas iniciais de custo, de modo que as formalidades necessárias ocorram na etapa seguinte.

3.3 Fase de Contrato da Obtenção:

Na Fase de Contrato, a MB formaliza a aquisição do sistema ou meio selecionado, sendo o Setor de Material responsável pela escolha dos fornece-

dores e pela elaboração do contrato, com apoio do Setor Financeiro para viabilizar a operação de crédito. O contrato especifica requisitos técnicos, prazos, garantias e condições financeiras, além de prever penalidades em caso de descumprimento. Cláusulas do contrato devem permitir à Marinha acompanhar a execução do projeto, garantindo que qualquer problema seja identificado e corrigido rapidamente, assegurando o cumprimento das especificações estabelecidas (Brasil, 2002).

Nesta terceira fase vislumbra-se, ainda, o emprego da Programação Matemática, em especial da técnica de Programação Linear (PL) para otimizar a alocação de recursos financeiros e selecionar os fornecedores que oferecem o melhor custo-benefício. Segundo Dantzig (2002), a Programação Linear é uma técnica de Programação Matemática da Pesquisa Operacional que busca otimizar um objetivo linear, sujeito a um conjunto de restrições lineares. Essa técnica é amplamente utilizada para resolver problemas de alocação de recursos onde a relação entre as variáveis pode ser expressa por equações ou inequações lineares. O método mais conhecido para resolver problemas de Programação Linear é o método Simplex, desenvolvido por George Dantzig (Hillier e Lieberman, 2013).

Na Programação Linear, o problema típico envolve maximizar ou minimizar uma função objetivo, como o lucro ou o custo, enquanto se considera um conjunto de restrições que representam as limitações do sistema, como disponibilidade de recursos ou capacidades de produção. A aplicação dessa técnica é crucial em setores como logística, produção industrial, finanças, e agricultura. Por exemplo, na logística, a PL pode ser utilizada para otimizar rotas de transporte, minimizando o custo total de entrega e respeitando as restrições de capacidade dos veículos. Na agricultura, pode ser aplicada para determinar a melhor combinação de culturas a serem plantadas para maximizar o rendimento com base em restrições de terra, água e recursos financeiros (Dantzig, 2002; Hillier E Lieberman, 2013).

A Programação Linear tem aplicações importantes em logística militar, especialmente na otimização de rotas de transporte, alocação de recursos e planejamento de missões. Por exemplo, essa técnica pode ser usada para determinar a distribuição mais eficiente de suprimentos entre diferentes unidades militares, minimizando custos e tempo de entrega, enquanto maximiza a pronti-

dão operacional. Ressalta-se que a PL pode ser usada combinada com outras técnicas, como MCDA, para a otimização de recursos.

A Teoria dos Jogos é outra técnica de PO que pode ser aplicada nesta fase, de negociação dos contratos, especialmente em situações onde existem múltiplos fornecedores ou partes interessadas com interesses divergentes. A Teoria dos Jogos permite modelar as interações estratégicas entre as partes envolvidas, auxiliando na elaboração de estratégias de negociação que maximizem os benefícios para a Marinha.

A Teoria dos Jogos é uma área da Pesquisa Operacional que estuda situações de interação estratégica onde o resultado para cada participante depende das ações dos demais. Desenvolvida inicialmente por John von Neumann e Oskar Morgenstern, e popularizada por John Nash, essa teoria é usada para analisar conflitos de interesse, colaboração e competição em diversos contextos. Uma das contribuições mais famosas da Teoria dos Jogos é o conceito de Equilíbrio de Nash, onde nenhum jogador pode melhorar sua situação mudando sua estratégia unilateralmente, assumindo que os outros jogadores mantêm suas estratégias. Outro conceito importante é o valor de Shapley, desenvolvido por Lloyd Shapley, que distribui os ganhos de forma justa entre os participantes de um jogo cooperativo (Fudenberg E Tirole, 1991; Owen, 2013; Maschler, Zamir E Solan, 2020).

As aplicações da Teoria dos Jogos são amplas e incluem economia, biologia, ciência política e operações militares. Em economia, por exemplo, a Teoria dos Jogos é usada para modelar o comportamento de empresas em um mercado competitivo, ajudando a prever as estratégias de preço e de produção. Em operações militares, a Teoria dos Jogos pode ser aplicada para otimizar estratégias em situações de conflito, como a alocação de recursos em uma batalha (Straffin, 1993; Barron, 2024).

Ao término da fase de Contrato, o processo de obtenção evolui para a quarta etapa, a Fase de Execução.

3.4. Fase de Execução da Obtenção:

Na Fase de Execução, o sistema ou meio naval é efetivamente construído, adaptado ou modernizado conforme os RANS, RTO e o contrato. A MB su-

pervisiona o projeto com inspeções técnicas e testes de engenharia, garantindo que o produto final atenda às especificações contratuais e operacionais. Os setores do Material e Operativo planejam a Avaliação Operacional, sob assessoria do CASNAV, que elabora os testes exploratórios necessários para verificar a prontidão do meio em condições reais (Brasil, 2002; Brasil, 2004).

Uma opção de técnica de PO a ser empregada na fase de Execução, no contexto da Gestão de Projetos, é o Método de Caminho Crítico (CPM - *Critical Path Method*). O CPM, também conhecido como Análise de Caminho Crítico, pode ser utilizada para identificar as atividades mais críticas do cronograma de execução que podem impactar diretamente no prazo final. O CPM ajuda a garantir que todas as atividades críticas sejam monitoradas de perto, evitando atrasos e garantindo que o projeto seja concluído no tempo previsto.

A Gestão de Projetos com o Método do Caminho Crítico é uma técnica de planejamento e controle de projetos que identifica as atividades críticas que determinam o tempo total de um projeto. Desenvolvido por James E. Kelly e Morgan R. Walker na década de 1950, o CPM é amplamente utilizado em diversos setores, como construção, engenharia, manufatura e TI. O método permite que os gerentes de projeto identifiquem o caminho mais longo de atividades dependentes (isto é, caminho crítico) que deve ser completado para finalizar o projeto no menor tempo possível (Carruthers E Battersby, 1966; Aliyu, 2012).

O CPM envolve a construção de um diagrama de rede do projeto, onde cada atividade é representada por um nó, e as dependências entre atividades são mostradas por setas. Com base nessa rede, o CPM calcula as datas de início e término mais cedo e mais tarde para cada atividade, identificando quais atividades têm folga (ou seja, podem ser adiadas sem afetar o prazo do projeto) e quais não têm (atividades críticas). A técnica também permite que os gerentes analisem diferentes hipóteses, ajustem recursos e tomem decisões embasadas para evitar atrasos (Carruthers E Battersby, 1966; Wofuru-Nyenke, 2024). O CPM é particularmente útil em projetos complexos, onde o gerenciamento eficaz do cronograma é essencial para o sucesso. Por exemplo, em projetos de construção, o CPM ajuda a coordenar a sequência de atividades como escavação, fundação, estrutura, e acabamento, garantindo que o trabalho pro-

grida de maneira eficiente e sem interrupções desnecessárias (Aliyu, 2012; Wofuru-Nyenke, 2024).

Nesta fase de Execução outra técnica de PO com potencial de ser bastante útil é o PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). Trata-se de uma técnica de planejamento e controle de projetos que lida com a incerteza no cronograma de projetos complexos, especialmente aqueles em pesquisa e desenvolvimento. Desenvolvido na década de 1950 para o projeto do míssil *Polaris* da Marinha dos EUA, o PERT permite que os gerentes de projeto estimem o tempo necessário para concluir cada atividade usando três estimativas de tempo: o mais otimista, o mais provável, e o mais pessimista (Ba'its, Puspita E Bay, 2020).

A técnica PERT utiliza essas estimativas para calcular o tempo esperado para cada atividade e, em seguida, determina o caminho crítico do projeto, semelhante ao CPM. No entanto, enquanto o CPM assume que os tempos de atividade são determinísticos, o PERT considera os tempos de atividade como variáveis aleatórias, o que o torna mais adequado para projetos onde há grande incerteza sobre os tempos de conclusão das atividades (Roos E Hertog, 2021). O PERT é amplamente utilizado em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), construção e projetos governamentais. Por exemplo, na gestão de grandes projetos de infraestrutura, o PERT ajuda a identificar as atividades mais incertas e a planejar contingências para mitigar os riscos associados a esses elementos críticos do projeto (Bachwani, Malek E Bharadiya, 2023).

As técnicas de PO citadas acima se constituem importantes ferramentas para a gestão do projeto de obtenção, comprovando sua relevância para a fase de Execução. Ao término da quarta fase, é esperado que o meio esteja pronto e seja entregue ao Setor Operativo, passando para a última fase do processo, a Avaliação Operacional.

3.5. Fase de Avaliação Operacional (AO):

Esta fase final consiste em um conjunto de procedimentos científicos e operacionais destinados a fornecer dados quantitativos que suportam decisões críticas sobre aquisição, utilização, suporte logístico e atualizações de sistemas (Brasil, 2004). De acordo com Guedes e Agner Junior (2019), com o aumento

da complexidade dos sistemas que integram os meios da Marinha, a Avaliação Operacional (AO), última fase durante o processo de obtenção, tornou-se uma tarefa progressivamente mais complexa e onerosa, demandando cada vez mais o suporte das ferramentas da Pesquisa Operacional. Na MB, o Centro de Análises de Sistemas Navais é a Organização Militar (OM) encarregada de conduzir a AO dos sistemas navais, aeronavais e de fuzileiros navais. Entre suas principais responsabilidades estão: realizar a AO de sistemas e meios navais; pesquisar e desenvolver procedimentos e táticas para o emprego desses sistemas; projetar e criar sistemas de informação para apoio à decisão; além de prestar assessoria técnica para a tomada de decisões, entre outras atividades.

A metodologia de AO na MB é regida pela norma EMA-333 (Sistemática para Avaliação Operacional na Marinha do Brasil), que divide o processo em cinco fases. É importante não confundir com as cinco fases da Obtenção. As cinco fases da AO, segundo o EMA-333, são:

1ª Fase - Definição do Problema: nesta fase inicial, o problema que a Avaliação Operacional busca resolver é claramente definido. Isso envolve a compreensão detalhada dos requisitos operacionais e a modelagem inicial do sistema a ser avaliado. O objetivo é garantir que todos os envolvidos tenham um entendimento comum do problema, para orientar o planejamento subsequente.

2ª Fase - Planejamento: nesta fase, são desenvolvidos os instrumentos necessários para a execução da avaliação. Isso inclui o estudo detalhado dos sistemas, a análise das tarefas, ameaças e cenários, a modelagem dos experimentos, e a elaboração de planos detalhados para a condução dos testes e simulações que serão realizados na fase seguinte.

3ª Fase - Execução: a fase de execução consiste na realização dos experimentos e simulações conforme planejado, sob condições que simulam o ambiente operacional real do sistema. Nesta fase, é essencial que todos os recursos estejam disponíveis e que os procedimentos planejados sejam seguidos rigorosamente para garantir a validade dos resultados.

4ª Fase - Apresentação dos Resultados: após a execução dos experimentos, os dados coletados são analisados de forma detalhada e os resultados são compilados em relatórios. Esta fase visa fornecer informações claras e

quantificáveis sobre o desempenho do sistema, que são então utilizados para fundamentar decisões sobre o emprego, suporte logístico, ou possíveis modificações no sistema.

5^a Fase - Projeto de Exercícios Operativos: a fase final envolve a criação de um conjunto de exercícios operativos baseados nos resultados da AO. Esses exercícios são projetados para continuar a avaliar o desempenho do sistema em condições operacionais reais, servindo também como um *feedback* contínuo para o aperfeiçoamento do sistema ao longo de seu ciclo de vida.

Em que pese a Avaliação Operacional seja considerada por muitos autores como um campo próprio da Pesquisa Operacional verifica-se que ao longo do processo de AO faz-se necessário o uso de outras técnicas diversas de PO. Entre as principais técnicas e ferramentas de Pesquisa Operacional e ciências afins as quais a AO fará uso, destacam-se o Delineamento de Experimentos, a Programação Matemática, a Simulação e a Estatística (Guedes e Kischinhevsky, 2006; Santos, 2018; Guedes e Agner Junior, 2019; Santos, 2023). Constata-se que a Avaliação Operacional é considerada a etapa mais dependente do emprego de técnicas de PO no processo de obtenção da MB. Isso ocorre devido à complexidade e à necessidade de precisão na avaliação dos sistemas e meios adquiridos, que devem ser testados em condições tão realistas quanto possível para garantir que atendam aos requisitos operacionais estabelecidos. A Pesquisa Operacional oferece um conjunto de ferramentas e metodologias que são essenciais para enfrentar os desafios impostos por essa fase.

Durante a AO, é fundamental avaliar a eficácia, adequabilidade e desempenho dos sistemas em cenários operacionais simulados. Para isso, técnicas de modelagem e simulação (M&S) são frequentemente empregadas. Essas técnicas permitem a criação de modelos matemáticos que representam o comportamento do sistema em situações complexas, ajudando a prever o desempenho sob diferentes condições de operação. A M&S é particularmente útil para testar cenários que seriam inviáveis ou excessivamente caros de reproduzir no mundo real, como operações em ambientes extremos ou sob intensa atividade adversária (Guedes e Kischinhevsky, 2006; Guedes e Agner Junior, 2019).

A coleta e análise de dados são também elementos cruciais da AO que dependem fortemente de técnicas de PO. Os dados coletados durante os testes operacionais são usados para calcular Medidas de Eficácia Operacional (MEO), que quantificam o desempenho do sistema em relação aos objetivos definidos. A análise estatística é fundamental para garantir que as conclusões derivadas dos dados sejam válidas e confiáveis. Além disso, técnicas como a análise de sensibilidade são usadas para determinar como as variações nos parâmetros de entrada afetam os resultados, ajudando a identificar os fatores mais críticos para o sucesso operacional do sistema.

Segundo Ribeiro (2018), a logística influencia diretamente as estratégias operacionais e táticas, tornando-se um componente essencial para o sucesso militar. Esse entendimento é vital para a AO, que visa otimizar o emprego e contribuir com a Gestão do Ciclo de Vida dos meios e sistemas navais da Marinha, assegurando que as operações sejam conduzidas com máxima eficiência e eficácia.

Como mencionado, a fase de Execução da AO ocorre após o encerramento das avaliações de engenharia do meio, a saber: Teste de Aceitação de Fábrica (TAF), Teste de Aceitação no Porto (TAP) e Teste de Aceitação no Mar (TAM). A Avaliação Operacional se distingue de um processo de aceitação de equipamento devido à sua abordagem mais abrangente e sistêmica. Enquanto a aceitação se concentra em verificar se o desempenho de um equipamento está em conformidade com as especificações estabelecidas, a AO vai além, avaliando diversos equipamentos necessários para a execução de uma tarefa, com o objetivo de otimizar seu uso em condições que se assemelham ao máximo à operação real. Em outras palavras, o foco da AO está na missão, a qual define os cenários de utilização do navio. O cenário é uma descrição hipotética usada para simular um ambiente operacional real. Na elaboração do cenário, são criadas linhas de ação, que consistem em procedimentos a serem seguidos para alcançar a missão. A partir dessas linhas de ação, são desenvolvidos modelos de emprego, que servem como guia para as simulações destinadas a coletar as informações necessárias sobre as características e o desempenho operacional do sistema (Guedes e Kischinhevsky, 2006; Guedes e Agner Junior, 2019).

Ou seja, os Testes de Aceitação (TAF, TAP e TAM) não conseguem refletir o desempenho operacional e obter as capacidades pretendidas. A AO, por meio de Testes de Exploração (também chamados de Testes Exploratórios) com rigor científico e estatístico, analisa o desempenho do sistema em condições realistas, avaliando sua adequação às tarefas, ameaças e cenários operacionais, fornecendo informações para otimização do emprego do meio, acompanhamento da vida útil, mitigação de riscos e melhorias táticas e doutrinárias. Pode-se dizer que a realização do conjunto de testes de aceitação compõe uma Avaliação de Engenharia (AE), focada em avaliar um sistema em relação às especificações técnicas detalhadas, enquanto a AO vai além, considerando o desempenho do sistema em condições operacionais reais. A AE é útil para fornecer informações iniciais sobre um sistema, mas a AO é crucial para entender como o sistema funcionará no ambiente para o qual foi projetado.

A literatura sobre o impacto da Avaliação Operacional no Brasil ainda é limitada, mas alguns exemplos dos benefícios de sua aplicação podem ser observados em experiências das Forças Armadas dos EUA, onde esse processo está mais consolidado. Entre os casos consagrados na literatura em que os testes exploratórios da AO possibilitaram o incremento da eficiência operacional mediante a detecção de falhas ou limitações não percebidas nos testes de aceitação da AE, estão o *Wide-Aperture Array (WAA) Sonar*, o *Aegis Weapon System (AWS)*, o *Airborne Laser Mine Detection System (ALMDS)*, o *Large Aircraft Infrared Countermeasures (DoN LAIRCM)*, *AH-64E Apache Attack Helicopter* e o *Miniature Air-Launched Decoy (MALD)*.

Na Avaliação de Engenharia da aeronave AH-64E do Exército norte-americano, não foi incluído o teste de Segurança da Informação, sob o argumento de que o helicóptero seria invulnerável a ataques cibernéticos. No entanto, Testes Exploratórios realizados por uma equipe de operações de rede durante a AO descobriram vulnerabilidades, que foram corrigidas posteriormente (OTAE, 2015a). No caso do ALMDS, sistema usado no helicóptero MH-60S para detectar minas, os testes de aceitação iniciais não identificaram limitações cruciais. No entanto, a Avaliação Operacional da Marinha dos EUA, considerando condições de ameaça real, revelou falhas em situações de mar agitado, o que levou à necessidade de melhorias no projeto original. Da mesma forma, a AO do sonar WAA dos submarinos da classe Virgínia apresentou estimativas

de alcance imprecisas, resultando em modernizações com novos algoritmos de processamento, aprimorando o desempenho em ambientes ruidosos (OTAE, 2015b).

Durante a AO do MALD, um despistador de mísseis autopropulsado, testes exploratórios em condições reais revelaram falhas anteriormente não observadas, como a entrada de água no compartimento de combustível, que congelava em altas altitudes, levando a falhas no motor. A Força Aérea dos EUA implementou um novo filtro de combustível que solucionou o problema (OTAE, 2015b). O AWS, instalado em navios-escolta da US Navy, foi avaliado durante a AO sob condições realistas de combate, enfrentando ataques simultâneos de mísseis e outras ameaças. A AO identificou um erro que levou à autodestruição do míssil de defesa. O software do sistema foi corrigido após esses testes. Já o sistema DoN LAIRCM, usado para proteger aeronaves de asa rotativa contra mísseis infravermelhos, foi testado durante a AO em terrenos acidentados, o que revelou falhas em detectar ameaças em cenários montanhosos, que não haviam sido identificados nos testes de aceitação. Uma atualização de software foi implementada, e os testes subsequentes demonstraram a eficácia da correção, essencial para operações dos EUA no Afeganistão (OTAE, 2015b).

A AO, na Marinha do Brasil, possui uma dicotomia entre ser um serviço técnico especializado, com características de desenvolvimento de ciência, tecnologia e inovação e, ao mesmo tempo, ser uma atividade logística administrativa no processo de obtenção. Assim sendo, naturalmente se depara com alguns dilemas na Marinha do Brasil. O primeiro dilema é relacionado ao *trade-off* entre escopo da AO e custo. Quanto mais abrangente a Avaliação Operacional, englobando o máximo de sistemas, sensores, equipamentos e armamentos, maior a quantidade de testes exploratórios e melhor será aferição do desempenho do meio como um todo. Por outro lado, o aumento do escopo implica em aumento de tempo e custo da AO. Em que pese a realização da AO não deva ser entendida como um custo afundado mas sim em um investimento para que a MB conheça ainda mais os seus meios e saiba empregá-los melhor, em meio ao cenário de restrições financeiras a AO tende a ter seu escopo reduzido.

Neste contexto, outro dilema diz respeito ao financiamento da Avaliação Operacional. De acordo com as normas EMA-420 (Brasil, 2002) e EMA-333

(Brasil, 2004), a Avaliação Operacional deve ser iniciada com o meio subordinado ao Setor do Material (Fases 1 e 2) e é concluída com o meio subordinado ao Setor Operativo (Fases 3, 4 e 5). Como parte do processo de obtenção, faz-se necessário reservar recursos para toda a AO desde a fase da Concepção.

Mais um dilema da AO diz respeito à equipe que conduzirá os testes exploratórios. Como visto anteriormente, embora seja a última fase do processo de aquisição ou modernização de um meio, segundo a publicação EMA-420 (Brasil, 2002) a AO deve ser iniciada na fase Preliminar de Obtenção, visando, principalmente, à familiarização do pessoal com a operação dos novos equipamentos e sistemas. A publicação EMA-333 (Brasil, 2004), por sua vez, destaca que a equipe responsável pelos trabalhos desenvolvidos na AO é o recurso mais crítico do processo. Deste modo, deve-se alocar um período relativamente extenso para formação do pessoal envolvido na AO, o que abrange, obrigatoriamente, a participação em cursos e adestramentos específicos sobre o meio a ser avaliado. Contudo, muitas das vezes a equipe que conduzirá a AO ainda não está disponível na fase Preliminar. Ademais, constata-se uma dificuldade para qualificação de pessoal na ciência da Avaliação Operacional, pela demorada curva de aprendizado inerente à atividade.

Finalmente, o quarto dilema, que está relacionado aos anteriores, diz respeito à importância de não subestimar as fases de Definição do Problema e Planejamento da AO. A terceira fase da AO, de Execução é a fase de maior visibilidade, com a realização dos testes exploratórios, após a entrega do meio ao setor operativo. Contudo, para uma Execução eficaz e eficiente, é fundamental que seja feito um bom Planejamento, que por sua vez, depende de uma boa Definição do Problema.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No capítulo anterior, algumas técnicas consagradas em problemas de PO foram apresentadas, relacionando-as separadamente às fases do processo de obtenção ou modernização dos meios, de modo a facilitar o entendimento. Contudo, conforme Gomes *et al.* (2023) atestam, em problemas complexos, geralmente serão necessários os empregos conjuntos de diferentes técnicas de Pesquisa Operacional para se obter a solução desejada.

De acordo com Gomes *et al.* (2023) e Taha (2008), as técnicas de PO mais utilizadas no meio acadêmico e profissional são a Programação Linear e a Análise Multicritério. Para o processo de obtenção, inclusive, verifica-se, com base em trabalhos anteriores, que estas poderiam ser utilizadas combinadas desde a primeira até a terceira fase. Santos *et al.* (2023), por exemplo, utilizaram-nas em uma aplicação prática para melhorar a alocação de recursos orçamentários da Marinha do Brasil. Os autores descrevem um modelo desenvolvido para o Ministério da Defesa, que proporcionou um ganho aproximado de 15% na eficiência orçamentária da Marinha em 2022. O estudo conclui que a aplicação do método pode ser amplamente replicada em outros contextos militares e governamentais para otimização de recursos, o que justificaria a sua aplicação também no processo de obtenção da MB.

Outra utilização combinada de técnicas de PO no contexto de desenvolvimento de projetos navais foi desenvolvido por Galvan (2018). Neste trabalho, o autor explora a aplicação da Teoria de Jogos e de Programação Matemática no contexto da engenharia naval, com o objetivo de maximizar a eficiência e reduzir os custos operacionais no processo de construção de um navio. Lima (2022b), por sua vez, aplica a Simulação, PERT e CPM na gestão de projeto de construção civil, desde o planejamento até a execução. Esta autora argumenta que as técnicas de PO auxiliam na identificação de riscos e otimização de recursos e podem prevenir desperdícios e atrasos, evitando possíveis sobrecustos, concluindo que esta aplicação pode ser estendida a outros projetos complexos de engenharia. Já em Lima (2022 a) e Silva (2023), as autoras focam na melhoria da gestão de obras públicas, empregando as técnicas de VFT e MCDA, atestando sua possibilidade de ser replicada em outros projetos estratégicos da administração pública.

Estudos recentes desenvolvidos por pesquisadores do CASNAV apresentam situações hipotéticas nos quais a PO, mediante uso de técnicas de MCDA, podem contribuir com o processo de escolha de projetos de meios navais, aeronavais e de fuzileiros navais, como em Costa *et al.* (2024), Costa *et al.* (2023), Moreira *et al.* (2022), Maêda *et al.* (2021) e Moreira *et al.* (2021). Tais publicações sugerem que a MB detém o conhecimento necessário para a utilização destas ferramentas na seleção de alternativas, sistemas ou equipamentos em diferentes momentos do processo de obtenção.

No tocante à Avaliação Operacional, verificou-se que desempenha um papel essencial no processo de aparelhamento, reaparelhamento e manutenção dos meios navais da Marinha do Brasil, sendo crucial para a melhoria contínua dos processos. Conforme exemplificado no capítulo anterior, a ausência ou inadequação de uma AO pode comprometer a Gestão do Ciclo de Vida dos meios, levando à subutilização de sistemas, falhas operacionais não identificadas e maior risco para a tripulação. Sem uma AO eficaz, as capacidades dos meios podem não ser totalmente aproveitadas, impactando a confiabilidade operativa e a eficiência nas operações. Isso pode resultar em custos mais elevados e, eventualmente, prejudicar a imagem e a credibilidade da Marinha.

A AO é fundamental para estabelecer os parâmetros de desempenho do meio, fornecendo dados cruciais para monitorar sua vida útil e decidir sobre necessidades futuras de modernização ou substituição. Além de retroalimentar o desenvolvimento de projetos futuros com base em lições aprendidas, a PO aplicada na AO permite uma análise quantitativa detalhada dos sistemas em condições operacionais reais. Isso garante o cumprimento dos requisitos operacionais e otimiza o ciclo de vida dos meios, mitigando riscos, reduzindo custos e fortalecendo a capacidade de resposta da Marinha às demandas estratégicas.

Este estudo demonstrou que, ao integrar técnicas como simulação, análise multicritério e outras ferramentas de PO, a Marinha pode tomar decisões mais fundamentadas, garantindo que seus recursos sejam empregados da maneira mais eficaz possível. Isso é particularmente relevante no atual cenário de restrições orçamentárias, no qual cada decisão precisa ser otimizada para maximizar o retorno sobre o investimento. As técnicas analisadas neste trabalho não apenas melhoram a eficiência operacional dos meios navais, mas também fornecem uma base sólida para o planejamento de futuros projetos de modernização e expansão da frota. Em um contexto global onde a inovação tecnológica é vital para manter a superioridade militar, a incorporação da PO reforça a capacidade da Marinha de tomar decisões mais rápidas e eficazes, impactando diretamente sua contribuição para a defesa nacional.

Esta pesquisa também destaca que a aplicação dessas ferramentas já encontra terreno fértil dentro da MB, especialmente através do Centro de Análises de Sistemas Navais. No entanto, há espaço para ampliação e melhoria contínua desse uso, o que reforça a importância de uma formação contínua e

de investimentos em capacitação de pessoal. O fortalecimento de parcerias entre a Marinha e instituições acadêmicas, como universidades e centros de pesquisa, pode garantir que as inovações em PO sejam incorporadas de forma efetiva. A criação de programas de formação continuada, com foco em cursos especiais ou expeditos de PO, contribuiria para a construção de uma Marinha mais preparada para enfrentar os desafios contemporâneos e futuros.

Por fim, a aplicação de PO na Marinha do Brasil não apenas fortalece o processo de obtenção de meios navais, mas também contribui para o avanço da própria disciplina no contexto militar, ao desenvolver e adaptar métodos para atender às especificidades do ambiente naval. A continuidade dessa abordagem pode trazer melhorias significativas na capacidade operacional da Marinha, alinhando-se aos objetivos de longo prazo de garantir a soberania e a segurança nacional.

REFERÊNCIAS

- BARRÊTO, Luiz Fernando Silveira. **Diferenças nos processos de obtenção de produtos de defesa na Marinha do Brasil**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2021.
- BLACKETT, P. M. S. **Studies of War, Nuclear and Conventional**. New York: Hill and Wang, 1962.
- BRASIL. Comando da Marinha. **EMGEPRON: Quem somos?**, 2021. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/emgepron/pt-br/quem-somos>. Acesso em: 12 ago. 2024.
- BRASIL. Comando da Marinha. Estado-Maior da Armada. **Normas para Logística de Material** (EMA-420, 2ª revisão). Brasília, DF: MB, 2002.
- BRASIL. Comando da Marinha. Estado-Maior da Armada. **Sistemática para Avaliação Operacional na Marinha do Brasil** (EMA-333). Brasília, DF: MB, 2004.
- BRASIL. Comando da Marinha. **Política Naval**. Brasília, DF: MB, 2019. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/politicanaval>. Acesso em: 29 jul. 2024.
- BRASIL. Ministério da Defesa. **Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/estado_e_defesa/pnd_end_congresso_.pdf. Acesso em: 25 jul. 2024.
- BRICK, E. S.; NOGUEIRA, W. S. F. **The Brazilian Naval Strategy and the Development of the Defense Logistics Base**. Revista da Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 11-40, jan./abr. 2017.
- CAETANO, Nuno Manuel Palhotas. **Business Intelligence: Aplicação de Técnicas de Data Mining no Hospital das Forças Armadas para Previsão de Tempos de Internamento**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2019.
- CAMARGO, T. **Programa de Reparcelamento da Marinha Inclui Modernização de Navios e Submarinos**. DefesaNet, 2024. Disponível em: <https://www.defesenet.com.br/naval/noticia/39444/Programa-de-Reparcelamento-da-Marinha-Inclui-Modernizacao-de-Navios-e-Submarinos/>. Acesso em: 01 ago. 2024.
- COSTA, A. P. A.; CHOREN, R.; PEREIRA, D. A. M.; TERRA, A. V.; COSTA, I. P. A.; ROCHA JUNIOR, C. S.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S.; MOREIRA, M. A. L. **Integrating multicriteria decision making and principal component analysis: a systematic literature review**. Cogent Engineering, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 2374944, 31 dez. 2024.

COSTA, Igor Pinheiro De Araújo; COSTA, Arthur Pinheiro De Araújo ; MOREIRA, Miguel Ângelo Lellis ; CASTRO JUNIOR, Marcos Alexandre ; PEREIRA, Daniel Augusto De Moura ; GOMES, Carlos Francisco Simões ; SANTOS, Marcos dos . **SAPEVO-PC: Integrating Multi-Criteria Decision-Making and Machine Learning to Evaluate Navy Ships**. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 12, p. 1444, 2024.

COSTA, I. P. A.; TEIXEIRA, Luiz Frederico Horácio de S. de B. ; MAÊDA, Sérgio Mitihiro Do Nascimento ; GOMES, C. F. S. **KC-2 aircraft used in military logistics support to combat COVID-19: an approach in the light of the Traveling Salesman Problem**. *REVISTA PESQUISA NAVAL*, v. 1, p. 13-24, 2022.

DEGRANGE, W. **From U-Boats to AI: The Unseen Force Behind 80 Years of United States Defense Strategy**. In: 41st International Symposium on Military Operational Research, Southampton, Reino Unido. 2024.

EL-MANN, Maurício. **Processos de aquisição de itens sensíveis e complexos na Marinha do Brasil**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2023.

Trade Off: entenda o que é e qual a sua importância desse conceito econômico. Empiricus, 2023. Disponível em: <https://www.empiricus.com.br/explica/trade-off/>. Acesso em: 23 ago. 2024.

FENKART, L.; VON NITZSCH, R.; HÖGGEMANN, E.; SPRECKELSEN, C. **Using value-focused thinking to elicit oncologic inpatients' life and treatment objectives: a qualitative interview study**. *Journal of International Medical Research*, [s.l.], v. 52, n. 7, jul. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/03000605241266224>. Acesso em: 03 ago. 2024.

FILHO, R. G. C. **Aparelhamento, Reparelhamento e Manutenção de Meios Navais: O Processo de Modernização das Fragatas Classe “Niterói” Sob a Ótica dos Fundamentos do Apoio Logístico Integrado**. 2023. Dissertação (Mestrado) - Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.repositorio.mar.mil.br/handle/ripcmb/846814>. Acesso em: 02 ago. 2024.

FONTAINE, C.; HAARMAN, A.; SCHMID, S. **The stakeholder theory**. *Edlays education*, 1(4), 1-33.

GALVAN, Fernando Henrique. **Teoria de Jogos aplicada ao projeto de navios mercantes**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

GOMES, C. F. S.; SANTOS, M.; MOREIRA, M. A. L.; COSTA, I. P. A. **Ferramentas computacionais de apoio à tomada de decisão**. 1. ed. [S.l.]: Edição dos autores, 2023.

- GUEDES, M. J. M.; JÚNIOR, J. A. **Avaliação Operacional na Marinha do Brasil**. Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 2019.
- GUEDES, M. J. M.; KISCHINHEVSKY, M. **O uso da simulação na avaliação operacional da defesa antiaérea de um navio de guerra**. In: XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2006, p. 2156-2167.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. McGraw Hill Brasil, 2013.
- HSIEH, P. N.; CHANG, P. L. **An assessment of world-wide research productivity in production and operations management**. International Journal of Production Economics, v. 120, p. 540–551, 2009.
- IFORS. **What is OR?**. Disponível em: <https://www.ifors.org/what-is-or/>. Acesso em: 04 ago. 2024.
- KEENEY, R. L. **Value-focused thinking: A path to creative decisionmaking**. Harvard University Press, 2009.
- KEENEY, R. L. **Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives**. European Journal of Operational Research, v. 92, n. 3, p. 537-549, 1996.
- KIRBY, M. W. **Operational research in war and peace: the British experience from the 1930s to 1970**. Imperial College Press, 2003.
- LAPORTE, G. **Operational Research: Methods and Applications**. Journal of the Operational Research Society, v. 75, 2023.
- LARNDER, H. **The Origin of Operational Research**. Operations Research, v. 32, n. 2, p. 465-471, 1984.
- LIMA, Maria Júlia Menezes Firmino. **Estruturação do programa de necessidade para a implantação do Ágil-Bim na gestão pública com base na Metodologia VFT**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022a.
- LIMA, Pedro. (2015). **PROBLEM STRUCTURING METHODS: Uma Revisão de Métodos para a Abordagem de Situações Complexas**. 10.13140/RG.2.1.1530.7605.
- LIMA, Thaynara Larissa Souza Correa. **Planejamento de obra: uma análise por meio da simulação Monte Carlo, PERT/CPM e corrente crítica**. 2022. 127. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022b.
- MAÊDA, Sérgio Mitihiro do Nascimento ; COSTA, IGOR PINHEIRO DE ARAÚJO ; CASTRO JUNIOR, Marcos Alexandre Pinto De ; FÁVERO, Luiz

Paulo ; COSTA, Arthur Pinheiro De Araújo ; CORRIÇA, José Victor De Pina ; GOMES, Carlos Francisco Simões ; SANTOS, Marcos dos. **Multi-criteria analysis applied to aircraft selection by Brazilian Navy**. Produção (São Paulo), v. 31, p. 1-13, 2021.

MAGILL, J. World War 2 **Operational Research revisited: Air Power against the U-boats**. In: 40st International Symposium on Military Operational Research, Londres, Reino Unido. 2023.

MARINHA DO BRASIL. **Amazônia Azul**, 2011. Disponível em: https://www.mar.mil.br/hotsites/amazonia_azul/index.html. Acesso em: 12 ago. 2024.

MARINHA DO BRASIL. **Fragatas (Classe Niterói)**, 2024a. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/meios-navais/fragatas-classe-niteroi>. Acesso em: 30 jul. 2024.

MARINHA DO BRASIL. **Fragatas Classe Tamandaré**, 2024b. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/programa-classe-tamandare>. Acesso em: 30 jul. 2024.

MARINHA DO BRASIL. **Programa de Desenvolvimento de Submarinos**, 2024c. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/prosub/institucional>. Acesso em: 21 jul. 2024.

MARINHA DO BRASIL. **Programa Nuclear da Marinha**, 2024d. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/ctmsp/programa-nuclear-da-marinha>. Acesso em: 20 jul. 2024.

MARRONI, Luciana Mascarenhas da Costa. **Sistemática de aquisição de produtos de defesa dos Estados Unidos da América: quais práticas e ensinamentos o Brasil pode adotar?** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2018.

MARTIN, D. M.; GOLDSTEIN, J. H.; SMITH, D. R.; DIETZ, M.; KERR, C. **Setting conservation objectives with value-focused thinking**. *Conservation Science and Practice*, [s.l.], v. 6, n. 7, p. e13155, jul. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/csp2.13155>. Acesso em: 03 ago. 2024.

MARTINS FILHO, João Roberto. **Naval relations between the United Kingdom and Brazil during the Cold War: the case of the purchase of the Vosper frigates**. *Brazilian Journal of Strategy & International Relations / Revista Brasileira de Estratégia e Relações Internacionais*, v. 4, n. 2, p. 355-377, 2015.

MCCLOSKEY, J. F. **The beginnings of operations research: 1934-1941**. *Operations Research*, v. 35, n. 1, p. 143-152, 1987.

MORAES, Bianca. **Era Vargas (1930-1945)**. Politize!, 2019. Disponível em: <https://www.politize.com.br/era-vargas/>. Acesso em: 13 ago. 2024.

MOREIRA, Miguel Ângelo Lellis ; DE ARAÚJO COSTA, Igor Pinheiro ; PEREIRA, Maria Teresa ; DOS SANTOS, Marcos ; Gomes, Carlos Francisco Simões ; MURADAS, Fernando Martins . **PROMETHEE-SAPEVO-M1 a Hybrid Approach Based on Ordinal and Cardinal Inputs: Multi-Criteria Evaluation of Helicopters to Support Brazilian Navy Operations**. Algorithms, v. 14, p. 140, 2021.

MOREIRA, Miguel Ângelo Lellis; GOMES, Carlos Francisco Simões; DOS SANTOS, Marcos ; BASILIO, Marcio Pereira ; DE ARAÚJO COSTA, Igor Pinheiro ; SOUZA Rocha Junior, CLAUDIO DE ; JOSÉ JARDIM, RAFAEL **RIS-ALA . Evaluation of drones for public security: a multicriteria approach by the PROMETHEE-SAPEVO-M1 systematic**. PROCEDIA COMPUTER SCIENCE, v. 199, p. 125-133, 2022.

OTAE. **Director Operational Test and Evaluation**. FY 2014 Annual Report. Washington, DC: [s.n.], Jan. 2015a.

OTAE. **Director Operational Test and Evaluation**. FY 2014 Annual Report. Washington, DC: [s.n.], Ago. 2015b.

PESSÔA, L. A. M.; COLLAZO, R. A. **Metodologia para identificação de competências necessárias em pesquisa científica na Marinha do Brasil**. Revista Pesquisa Naval, Brasília - DF, n. 30, p. 46-54, 2018.

PESSÔA, L. A. M.; TEIXEIRA, L. S.; GUEDES, M. J. M.; MARTINS, E. R.; SOUZA, A. J. N. **Pesquisa operacional na Marinha do Brasil: o CASNAV, seu passado, presente e perspectivas**. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, v. 48, p. 2302-2312, 2016.

PIVATTO JUNIOR, D. R. **A construção do pensamento naval brasileiro: formulações político-estratégicas e desenvolvimento tecnológico (1967-2008)**. 2024. 386 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Ciência Política, Porto Alegre, 2024.

RAU, E. P. **Combat science: the emergence of Operational Research in World War II**. Endeavour, v. 29, n. 4, p. 156-161, 2005. DOI: 10.1016/j.endeavour.2005.10.002.

ROY, B. **The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods**. Theory and decision, v. 31, p. 49-73, 1991.

SANTOS, A. G.; PESSÔA, L. A. M.; MOTA, C. M. D. M.; FREJ, E. A. **A FITRADEOFF-based approach for strategic decisions on military budget**. Pesquisa Operacional, 43(spe1), e262789, 2023.

SANTOS, M. **Proposta de modelagem atuarial aplicada ao setor militar considerando influências econômicas e biométricas**. 2018. 237 f.

(Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

SHRADER, C. R. **History of Operations Research in the United States Army**, V. 1, 1942-1962. Department of the Army, 2006.

SILVA, Ana Carolina Cordeiro Luna Martins. **Aplicação do VFT na gestão pública de obras de construção civil**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

SILVA, E. M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. **Pesquisa Operacional: Para os Cursos de Administração e Engenharia**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2017.

SILVEIRA JUNIOR, Waldir Francisco das Neves. **O modelo orçamentário-financeiro empregado na construção dos navios da Classe Tamandaré: desafios e oportunidades (2016-2019)**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Escola Superior de Guerra, Campus Brasília, 2019.

TAHA, Hamdy A. **Pesquisa operacional**. 8. ed. Prentice Hall, 2008.

TEIXEIRA, L. F. H. S. B.; RIBEIRO, P. C. C.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. **Utilização do método SAPEVO-M com parâmetros do modelo SCOR 12.0 para ranqueamento dos fornecedores em uma cadeia de suprimentos de material hospitalar da Marinha do Brasil**. Pesquisa Naval, n. 31, 2019.

TEIXEIRA, L. F. H. S. B.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S. **Proposta e implementação em Python do método Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors-Multi Decision Makers: uma ferramenta web simples e intuitiva para Apoio à Decisão Multicritério**. XIX Simpósio de Pesquisa Operacional & Logística da Marinha, v. 3, n. 1, maio 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5151/spolm2019-168>. Acesso em: 02 ago. 2024.

THE OR SOCIETY. **What Operational Research Is and Does**. Disponível em: <https://www.theorsociety.com/about-or/>. Acesso em: 04 ago. 2024.

TORRES, Marcelo de Freitas. **Suporte logístico integrado: estudo de caso da Força Aérea Brasileira**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2023.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. **Analytic hierarchy process: An overview of applications**. European Journal of Operational Research, v. 169, n. 1, p. 1-29, 2006.

VIVEIROS, Alexandre Rodrigues. **A EMGEPRON no contexto do PRODE: análise na gestão de projetos de defesa**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2022.

WALDMANN JÚNIOR, L. **As Políticas de Reparcelamento Naval da Marinha do Brasil, 1904-1945**. Navigator: Subsídios para a História Marítima do Brasil, v. 15, n. 30, p. 46-66, 2019.

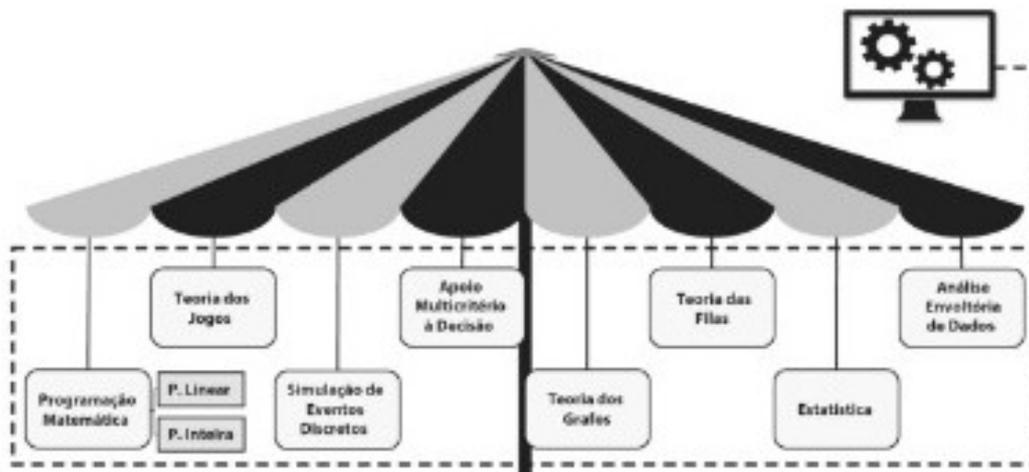
ANEXO A - Figuras

Figura 1: Grandes Campos da PO.



Fonte: Santos (2018)

Figura 2: Guarda-chuva com subáreas da PO.



Fonte: Gomes *et al.* (2023)