LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

ABORDAGEM HÍBRIDA A PARTIR DOS MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO MPSI E MABAC PARA ORDENAÇÃO DE PORTA-HELICÓPTEROS PARA A MARINHA DO BRASIL

Bruno Pereira Diniz
UFCG – Universidade Federal de Campina Grande
Rua Luiz Grande, S/N, Frei Damião, Sumé, Paraíba - PB
brunopereiradiniz046@gmail.com

Daniel Augusto de Moura Pereira
UFCG – Universidade Federal de Campina Grande
Rua Luiz Grande, S/N, Frei Damião, Sumé, Paraíba - PB
danielmoura@ufcg.edu.br

Marcos dos Santos
Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156, Praia Vermelha, São Domingos, Niterói - RJ
marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br

Arthur Pinheiro de Araújo Costa
Instituto Militar de Engenharia
Praça Gen. Tibúrcio, 80 - Urca, Rio de Janeiro - RJ, 22290-270
arthurcosta.araujo@ime.eb.br

RESUMO

A obtenção de um porta-helicópteros é importante para a Marinha do Brasil, pois aumenta a capacidade de projeção de poder aéreo, melhora a resposta a emergências e fortalece a soberania, defesa e a vigilância de nossa extensa costa. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo a ordenação de porta-helicópteros para a Marinha do Brasil, a partir dos Métodos de Tomada de Decisão Multicritério, *Modified Preference Selection Index* (MPSI) e *Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison* (MABAC). Para tanto, foram consultados especialistas que identificaram sete modelos de porta-helicópteros como alternativas, juntamente com dez critérios de avaliação. O Método MPSI foi utilizado para determinar os pesos dos critérios deste estudo, enquanto o MABAC foi usado para ordenar as alternativas dos porta-helicópteros previamente selecionadas. Os resultados obtidos após a modelagem indicaram o porta-helicópteros Juan Carlos I como a alternativa mais favorável para o cenário em estudo.
PALAVRAS CHAVE. MPSI, MABAC, Porta-Helicópteros, Marinha do Brasil.
ADM – Apoio a Decisão Multicritério, PO nas Forças Armadas e Defesa Nacional

ABSTRACT

Obtaining a helicopter carrier is important for the Brazilian Navy, as it increases air power projection capacity, improves emergency response and strengthens sovereignty, defense and surveillance of our extensive coastline. In this sense, this work aims to order helicopter carriers for the Brazilian Navy, based on the Multicriteria Decision Making Methods, Modified Preference Selection Index (MPSI) and Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC). To this end, experts were consulted who identified seven helicopter carrier models as alternatives, along with ten evaluation criteria. The MPSI Method was used to determine the weights of the criteria in this study, while MABAC was used to rank the previously selected helicopter carrier alternatives. The results obtained after modeling indicated the Juan Carlos I helicopter carrier as the most favorable alternative for the scenario under study.
KEYWORDS. MPSI, MABAC, Helicopter Carriers, Brazilian Navy.
ADM – Multicriteria Decision Support, PO in the Armed Forces and National Defense

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193741
https://proceedings.science/p/193741?lang=pt-br

1. Introdução

A Marinha do Brasil enfrenta desafios em termos de capacidade operacional e projeção de poder aéreo devido à falta de porta-helicópteros dedicados. Atualmente, a Marinha conta com dois Navios de Assalto Anfíbio, o NDM Bahia (G40) e o NDCC Almirante Saboia (G25), que são essenciais para operações anfíbias e transporte de tropas, mas possuem capacidades limitadas em termos de operações aéreas dedicadas. Além disso, o Navio Aeródromo Multipropósito (NAM) Atlântico (A-140) foi adaptado para atuar como um porta-aviões, o que implica que, embora versátil, não é otimizado exclusivamente para operações com helicópteros [Military Power, 2024].

A extensa costa brasileira, com mais de 7.400 km, e a vasta zona econômica exclusiva (ZEE) de aproximadamente 3,5 milhões de km², juntamente com a estratégica Amazônia Azul, exigem uma presença naval robusta para garantir a segurança e a soberania nacional [Marinha do Brasil, 2023]. A ausência de porta-helicópteros dedicados compromete a capacidade da Marinha de responder de forma eficiente a emergências, realizar operações de busca e salvamento, vigilância marítima e apoio logístico em operações de longo alcance.

A aquisição de um novo porta-helicópteros dedicado para a Marinha do Brasil é uma necessidade estratégica, pois, esse navio permitiria à Marinha maximizar sua eficácia operacional, melhorar a capacidade de resposta rápida e fortalecer a proteção da costa e da Amazônia Azul. Ele deve ser capaz de suportar um número significativo de helicópteros de diversos tipos, contar com instalações adequadas para manutenção e reabastecimento a bordo, e oferecer flexibilidade operacional para uma ampla gama de missões.

Na escolha de porta- helicópteros, diversos critérios são fundamentais para garantir o desempenho e eficácia das operações. Critérios como custo, capacidade de transporte, dimensões e deslocamento, autonomia e velocidade e sistemas de defesa e armamento são importantes para adaptar o navio a diversas missões e tarefas, pois afetam diretamente a capacidade da embarcação de realizar suas operações de forma eficiente.

O cenário supracitado caracteriza o problema da escolha do veículo como sendo de múltiplos critérios, com várias alternativas que podem compor o rol de decisão, abrindo espaço para a adoção de Métodos de Análise de Decisão Multicritério (MCDA) para modelagem e solução do problema. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi ordenar, a partir dos Métodos Multicritério de Decisão MPSI e MABAC, porta-helicópteros para a Marinha do Brasil.

2. Referencial Teórico

2.1. Embarcação Porta- Helicópteros

O surgimento dos porta-helicópteros ao longo da história está ligado ao avanço das estratégias navais e à exigência dos militares pela projeção do poder aéreo. À medida que a utilização de porta-aviões se expandiu durante a Segunda Guerra Mundial, tornou-se evidente a necessidade de plataformas especializadas para acomodar helicópteros.

Os navios conhecidos como porta-helicópteros possuem uma ampla cabine de comando, hangares para manutenção e armazenamento de aeronaves, além de acomodações para tripulantes e pessoal da aviação. Essas embarcações são projetadas especificamente para implantar, recuperar e atender helicópteros de diversos tamanhos e classificações, tornando-as adequadas para uma série de missões, desde combate militar até esforços de ajuda humanitária.

De acordo com Till [2013], “os porta-helicópteros são fundamentais para a projeção de poder naval e oferecem uma plataforma flexível para operações aéreas, permitindo a mobilidade e a presença estratégica em regiões de interesse”.

A versatilidade dos porta-helicópteros permite-lhes cumprir múltiplas funções, tais como o envolvimento em guerra anti-submarina, o transporte de tropas, a realização de evacuações médicas e a realização de missões de busca e salvamento. A sua importância é especialmente evidente nas operações anfíbias, realizando o fornecimento de apoio aéreo aproximado e na rápida mobilização de pessoal e fornecimentos para as regiões costeiras.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193741
https://proceedings.science/p/193741?lang=pt-br

A importância estratégica dos porta-helicópteros reside na sua capacidade de operar em diferentes cenários, proporcionando suporte logístico e operacional para as forças armadas. Segundo a análise de Vego [2009], "os porta-helicópteros são ativos essenciais para a projeção de poder e a manutenção da presença naval em regiões de interesse estratégico".

2.1. Método MPSI

O Método MPSI se encaixa na problemática de ordenação/ranking e pode ser ajustado para a problemática de escolha/seleção, mono ou multidecisor, com método de agregação compensatório, entradas de dados do tipo cardinais (quantitativas), além de gerar pesos para os critérios na sua modelagem matemática.

A seguir são descritos os passos para aplicação deste método [Gligoriċs *et al*., 2022]:

- Passo 1: Construir a matriz inicial de tomada de decisão, pela Equação 1;

$$(A/C) = [x_{ij}]_{m\times n} = \begin{bmatrix} A/C & C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ A_1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde:
A_1, ..., A_m – alternativas;
C_1, ... C_n – critérios;
x_{ij} – representa a avaliação da alternativa i, de acordo com o critério j;
m – representa a quantidade de alternativas; e
n – representa a quantidade de critérios.

- Passo 2: Construir a matriz de tomada de decisão normalizada, podem ser seguidos dois caminhos, conforme Equações 2 e 3;
Para critérios de monotônicos de benefício/lucro, pela Equação 2:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \quad (2)$$

Para critérios monotônicos de custo, pela Equação 3:

$$r_{ij} = \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} \quad (3)$$

- Passo 3: Calcule o valor médio (v_j) das avaliações normalizadas do critério j, a partir da Equação 4;

$$v_j = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} R_{ij} \quad (4)$$

- Passo 4: Calcule o valor de variação de preferência pj, pela Equação 5;

$$p_j = \sum_{i=1}^{m} (R_{ij} - v_j)^2 \quad (5)$$

- Passo 5: Os pesos dos critérios w_j são determinados através da Equação 6.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193741
https://proceedings.science/p/193741?lang=pt-br

$$w_j = \frac{p_i}{\sum_{j=1}^{N} p_j} \qquad (6)$$

2.3. Método MABAC

O Método MABAC se encaixa na problemática de ordenação/ ranking ou de escolha/seleção, do tipo multidecisor, com método de agregação compensatório, entradas de dados do tipo cardinais (quantitativas) e não gera pesos para os critérios na sua modelagem matemática.

Os passos para aplicação deste método são [Pamučar; Ćirović, 2015]:

- Passo 1: Construir a matriz de decisão inicial, de acordo com a Equação 7.

$$X = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \cdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (7)$$

- Passo 2: A normalização da matriz de decisão (Equação 8) pode ocorrer a partir da Equação 9, quando o critério for monotônico de benefício, ou pela Equação 10, quando o critério for monotônico de custo;

$$N = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \cdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & \cdots & n_{1n} \\ n_{21} & n_{22} & \cdots & n_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \cdots & n_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (8)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \qquad (9)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^+}{x_i^- - x_i^+} \qquad (10)$$

Onde:
x_{ij} são elementos da matriz inicial;
x_i^+ valor máximo do critério; e
x_i^- valor mínimo do critério.

- Passo 3: Ponderação da matriz normalizada, são inseridos os coeficientes de peso para cada critério através da Equação 11 resultando a matriz ponderada (Equação 12);

$$v_{ij} = w_i \cdot (n_{ij} + 1) \qquad (11)$$

Onde:
n_{ij} são elementos da matriz normalizada; e
w_i são os coeficientes de peso dos critérios.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \cdot (n_{11} + 1) & w_2 \cdot (n_{12} + 1) & \cdots & w_n \cdot (n_{1n} + 1) \\ w_1 \cdot (n_{21} + 1) & w_2 \cdot (n_{22} + 1) & \cdots & w_n \cdot (n_{2n} + 1) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_1 \cdot (n_m + 1) & w_2 \cdot (n_{m2} + 1) & \cdots & w_n \cdot (n_{mn} + 1) \end{bmatrix} \qquad (12)$$

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193741
https://proceedings.science/p/193741?lang=pt-br

Onde:
n é o número total de critérios; e
m o total de alternativas.

- Passo 4: Determinação da área aproximada da fronteira, a área aproximada da fronteira é determinada de acordo com a Equação 13 e após calcular o valor g_i para cada critério a matriz da área aproximada da fronteira (Equação 14) é estruturada;

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^{m} v_{ij} \right)^{1/m} \quad (13)$$

$$G = \begin{matrix} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} g_1 & g_2 & \cdots & g_n \end{bmatrix} \quad (14)$$

Onde:
v_{ij} são elementos da matriz ponderada;
g_i é a área aproximada da fronteira para o critério; e
m é o número de alternativas.

- Passo 5: Cálculo da distância da alternativa para a área aproximada da fronteira, conforme as Equações 15 e 16;

$$Q = V - G = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} g_1 & g_2 & \cdots & g_n \\ g_1 & g_2 & \cdots & g_n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ g_1 & g_2 & \cdots & g_n \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$Q = \begin{bmatrix} v_{11} - g_1 & v_{12} - g_2 & \cdots & v_{1n} - g_n \\ v_{21} - g_1 & v_{22} - g_2 & \cdots & v_{2n} - g_n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ v_{m1} - g_1 & v_{m2} - g_2 & \cdots & v_{mn} - g_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ q_{m1} & q_{m2} & \cdots & q_{mn} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Onde:
g_i é a área aproximada da fronteira para o critério;
C_i , v_{ij} são os elementos da matriz ponderada;
n é o número total de critérios; e
m é o número de alternativas.

- Passo 6: Ordenação das Alternativas, a partir da Equação 17.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} q_{ij}, j = 1, 2, \ldots, n, i = 1, 2, \ldots, m \quad (17)$$

Onde:
n é o número total de critérios; e
m é o número de alternativas.

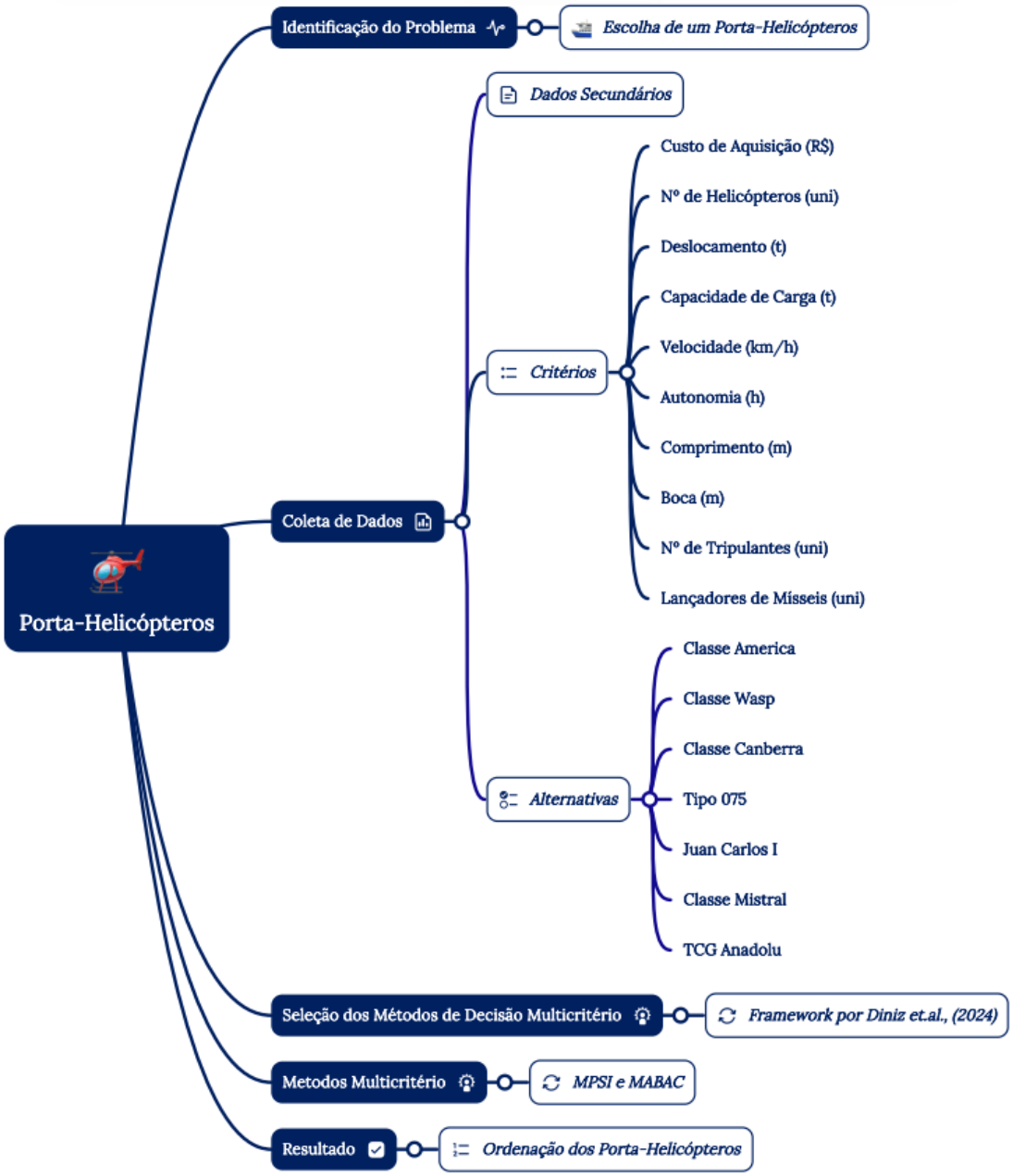
3. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa quantitativa de caráter exploratória e que seguiu o fluxograma metodológico para sua consecução, conforme apresentado na Figura 1. Os dados desta pesquisa

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193741
https://proceedings.science/p/193741?lang=pt-br

foram coletados a partir de pesquisas nos sites dos principais fabricantes de porta-helicópteros do mundo.

Figura 1 – Esquema Metodológico Utilizado na Pesquisa



Fonte: Autores [2024]

A Tabela 1 mostra os critérios de decisão que foram elencados a partir de entrevistas não estruturas com os expertises, a saber: Custo de Aquisição (R$), Nº de Helicópteros (uni), Deslocamento (t), Capacidade de Carga (t), Velocidade (km/h), Autonomia (h), Comprimento (m), Boca (m), Nº de Tripulantes (uni) e Lançadores de Mísseis (uni). Os critérios custo de aquisição e deslocamento foram classificados como monotônicos de custo. Já os critérios comprimento, número de helicópteros, capacidade de carga, velocidade, autonomia, comprimento, boca, número de tripulantes e lançadores de mísseis foram classificados como monotônicos de benefício.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193741
https://proceedings.science/p/193741?lang=pt-br

Tabela 1 – Critérios do Problema

Critérios	Descrição
Custo de Aquisição (R$)	Custo inicial do navio, incluindo todos os equipamentos e sistemas a bordo.
Nº de Helicópteros (uni)	Quantidade máxima de helicópteros que o navio pode transportar e operar.
Deslocamento (t)	Peso total do navio quando totalmente carregado.
Capacidade de Carga (t)	Peso máximo da carga que o navio pode transportar, incluindo veículos, equipamentos e suprimentos.
Velocidade (km/h)	Velocidade máxima e velocidade de cruzeiro do navio.
Autonomia (h)	Distância máxima que o navio pode navegar sem reabastecimento.
Comprimento (m)	Dimensões físicas do navio.
Boca (m)	Dimensões físicas do navio.
Nº de Tripulantes (uni)	Quantidade máxima de tripulantes que o navio pode transportar.
Lançadores de Mísseis (uni)	Quantidade máxima de lançadores que o navio pode operar.

Fonte: Autores [2024]

Em seguida, foram pré-selecionados sete tipos de porta-helicópteros, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Alternativas do Problema

Alternativas	Imagem da Embarcação	Descrição
Classe America		Classe de navios de assalto anfíbio para operação de helicópteros, da marinha de guerra dos Estados Unidos.
Classe Wasp		Classe de navios de assalto anfíbio para operação de helicópteros, da marinha de guerra dos Estados Unidos.
Classe Canberra		Navios de desembarque anfíbio dotados de doca e convoo do tipo convés corrido para operação de helicópteros. Construídos para à Força de Defesa da Austrália.
Tipo 075		Classe de navios de assalto anfíbio, do tipo porta-helicópteros. Construídos para a Marinha da China.
Juan Carlos I		É um navio de assalto anfíbio multiuso e um porta-helicópteros da Armada Espanhola.
Classe Mistral		Classe de navios de assalto anfíbio, conhecidos como porta-helicópteros, da Marinha Francesa. Referido como “navio de projeção e comando”.
TCG Anadolu		Porta-helicópteros de assalto anfíbio (LHD) da Marinha Turca TCG Anadolu, projetado pela Navantia e construído no Estaleiro Sedef.

Fonte: Autores [2024]

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193741
https://proceedings.science/p/193741?lang=pt-br

Para selecionar os Métodos de Tomada de Decisão Multicritério aplicados neste estudo, utilizou-se o *Framework Decision-Making Methods Assistant* proposto por Diniz *et.al*., [2024]. O problema em tela foi caracterizado por ter entradas cardinais, por ser do tipo multidecisor e com método de agregação compensatório, conforme mostra a Figura 2.

A aplicação desses Métodos ainda permitiu a ordenação das alternativas, feita pelo MABAC, e pela geração de pesos realizada de acordo com a preferência dos decisores (capitães da Marinha do Brasil), realizada no processo de aplicação do método MPSI.

Figura 2 – Seleção do Método de Análise de Decisão Multicritério

QUESTIONÁRIO PARA ESCOLHA DO(S) MÉTODO(S) DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO	
OS CRITÉRIOS DO PROBLEMA SÃO IGUALMENTE IMPORTANTES ?	*Não*
SABE ATRIBUIR OS PESOS DOS CRITÉRIOS DO PROBLEMA ?	*Não*
QUAL O TIPO DE DADOS DE ENTRADA DOS CRITÉRIOS DO PROBLEMA ?	*Dados Quantitativos*
A DECISÃO SERÁ REALIZADA POR QUANTOS DECISORES ?	*Mais de Um Decisor*
PREFERE QUE TODOS OS CRITÉRIOS SEJAM BONS EM TODOS OS ASPECTOS OU UM CRITÉRIO FORTE PODE COMPENSAR UM CRITÉRIO FRACO?	*Não (Pode Compensar)*
O MÉTODO SUGERIDO PARA A GERAÇÃO DE PESOS É:	**MPSI**
QUAL O TIPO DE DADOS DE ENTRADA DAS ALTERNATIVAS DO PROBLEMA ?	*Dados Quantitativos*
A DECISÃO SERÁ REALIZADA POR QUANTOS DECISORES ?	*Mais de Um Decisor*
O MÉTODO SUGERIDO PARA O TIPO DA PROBLEMÁTICA DEFINIDA É:	**MABAC**

O(S) MÉTODO(S) INDICADO(S) SÃO:	
MPSI	MABAC

Fonte: Autores [2024]

Após o preenchimento das informações de estruturação do problema no Framework de Diniz *et al*., [2024], foram indicados os Métodos MPSI e MABAC para gerar os pesos dos critérios e ordenação das alternativas, respectivamente.

4. Resultados e Discussão

4.1. Modelagem do Problema no Método MPSI

A matriz de decisão pode ser visualizada na Tabela 3. Os critérios foram comparados em pares pelo tomador de decisão usando o método MPSI. Posteriormente, o decisor preencheu a matriz de decisão, com os critérios: Custo de Aquisição (C1), Nº de Helicópteros (C2), Deslocamento (C3), Capacidade de Carga (C4), Velocidade (C5), Autonomia (C6), Comprimento (C7), Boca (C8), Nº de Tripulantes (C9), Lançadores de Mísseis (C10). E em seguida com as Alternativas que são: Classe America (A1), Classe Wasp (A2), Classe Canberra (A3), Tipo 075 (A4), Juan Carlos I (A5), Classe Mistral (A6) e TCG Anadolu (A7).

Tabela 3 – Matriz de Decisão

Alternativas/Critérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A1	R$ 12.000.000.000,00	25	45.000	12.000	44	633	257	32	1.204	2
A2	R$ 15.000.000.000,00	22	41.000	12.000	41	475	257	32	1.208	2
A3	R$ 5.100.000.000,00	18	27.500	7.000	41	600	230,8	32	1.046	4
A4	R$ 5.000.000.000,00	30	40.000	10.000	36	389	237	36	1.600	3
A5	R$ 2.700.000.000,00	30	27.000	5.000	41	600	230,8	32	1.200	4
A6	R$ 2.550.000.000,00	16	22.000	6.000	37	333	199	32	450	2
A7	R$ 5.000.000.000,00	15	27.000	7.000	41	600	232	32	1.223	7

Fonte: Autores [2024]

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193741
https://proceedings.science/p/193741?lang=pt-br

Em seguida, foi gerada a matriz normalizada, a partir das Equações 2 e 3, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Matriz de Decisão Normalizada

Alternativas/Critérios	MIN C1	MAX C2	MIN C3	MAX C4	MAX C5	MAX C6	MAX C7	MAX C8	MAX C9	MAX C10
A1	0,2125	0,8333	0,4889	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,8889	0,7525	0,2857
A2	0,1700	0,7333	0,5366	1,0000	0,9318	0,7504	1,0000	0,8889	0,7550	0,2857
A3	0,5000	0,6000	0,8000	0,5833	0,9318	0,9479	0,8981	0,8889	0,6538	0,5714
A4	0,5100	1,0000	0,5500	0,8333	0,8182	0,6145	0,9222	1,0000	1,0000	0,4286
A5	0,9444	1,0000	0,8148	0,4167	0,9318	0,9479	0,8981	0,8889	0,7500	0,5714
A6	1,0000	0,5333	1,0000	0,5000	0,8409	0,5261	0,7743	0,8889	0,2813	0,2857
A7	0,5100	0,5000	0,8148	0,5833	0,9318	0,9479	0,9027	0,8889	0,7644	1,0000

Fonte: Autores [2024]

A partir da matriz normalização, foi calculado o valor médio das avaliações normalizadas dos critérios, utilizando a Equação 4. Após obter o resultado do (v_j) , o próximo passo foi o cálculo do valor de variação de preferência (p_j), a partir da Equação 5. Finalizando a aplicação do método, foi realizado o cálculo do peso dos critérios (w_j), que são determinados através da Equação 6, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Matriz das Variáveis Calculadas (MPSI)

Variáveis/Critérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
v_{ij}	0,5496	0,7429	0,7150	0,7024	0,9123	0,8192	0,9136	0,9048	0,7081	0,4898
p_{ij}	0,6221	0,2638	0,2186	0,3452	0,0232	0,2149	0,0350	0,0106	0,2795	0,4023
w_{ij}	0,2576	0,1092	0,0905	0,1429	0,0096	0,0890	0,0145	0,0044	0,1157	0,1666
w_{ij} (%)	25,76%	10,92%	9,05%	14,29%	0,96%	8,90%	1,45%	0,44%	11,57%	16,66%

Fonte: Autores [2024]

De acordo com o resultado obtido com o método MPSI, o critério de maior peso foi o Custo de Aquisição (C1) com 25,76%, seguido do critério Lançadores de Mísseis (C10) com 16,66%, Capacidade de Carga (C4) com 14,29%, Nº de Tripulantes (C9) com 11,57%, Nº de Helicópteros (C2) com 10,92%, Deslocamento (C3) com 9,05%, Autonomia (C6) com 8,90%, Comprimento (C7) com 1,45% e por Potência do Motor com Velocidade (C5) 0,96% e o critério Boca (C8) com 0,44%.

4.2. Modelagem do Problema no Método MABAC

Depois de calcular os pesos dos critérios usando o Método MPSI, o Método MABAC foi aplicado para gerar o ranking dos porta-helicópteros. Assim, com base na Tabela 3, procedeu-se com a normalização dessa matriz de acordo com os princípios do Método MABAC. Como o problema possuía critérios monotônicos de custo e benefício, foram utilizadas as Equações 9 e 10, resultando na matriz normalizada representada na Tabela 6.

Tabela 6 – Matriz de Decisão Normalizada

Alternativas/Critérios	MIN C1	MAX C2	MIN C3	MAX C4	MAX C5	MAX C6	MAX C7	MAX C8	MAX C9	MAX C10
A1	0,2410	0,6667	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,6557	0,0000
A2	0,0000	0,4667	0,1739	1,0000	0,6250	0,4733	1,0000	0,0000	0,6591	0,0000
A3	0,7952	0,2000	0,7609	0,2857	0,6250	0,8900	0,5483	0,0000	0,5183	0,4000
A4	0,8032	1,0000	0,2174	0,7143	0,0000	0,1867	0,6552	1,0000	1,0000	0,2000
A5	0,9880	1,0000	0,7826	0,0000	0,6250	0,8900	0,5483	0,0000	0,6522	0,4000
A6	1,0000	0,0667	1,0000	0,1429	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
A7	0,8032	0,0000	0,7826	0,2857	0,6250	0,8900	0,5690	0,0000	0,6722	1,0000

Fonte: Autores [2024]

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193741
https://proceedings.science/p/193741?lang=pt-br

Com o peso obtido para cada critério através do método MPSI (Tabela 7), foi obtida a matriz ponderada por meio da Equação 11, conforme apresenta a Tabela 8.

Tabela 7 – Peso dos Critérios

Peso dos Critérios	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**	**C7**	**C8**	**C9**	**C10**
	0,2576	0,1092	0,0905	0,1429	0,0096	0,0890	0,0145	0,0044	0,1157	0,1666

Fonte: Autores [2024]

Tabela 8 – Matriz Ponderada

Alternativas/Critérios	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**	**C7**	**C8**	**C9**	**C10**
A1	0,3196	0,1821	0,0905	0,2859	0,0192	0,1780	0,0290	0,0044	0,1916	0,1666
A2	0,2576	0,1602	0,1062	0,2859	0,0156	0,1311	0,0290	0,0044	0,1920	0,1666
A3	0,4624	0,1311	0,1594	0,1838	0,0156	0,1682	0,0224	0,0044	0,1757	0,2332
A4	0,4645	0,2185	0,1102	0,2451	0,0096	0,1056	0,0240	0,0088	0,2314	0,1999
A5	0,5121	0,2185	0,1613	0,1429	0,0156	0,1682	0,0224	0,0044	0,1912	0,2332
A6	0,5152	0,1165	0,1810	0,1634	0,0108	0,0890	0,0145	0,0044	0,1157	0,1666
A7	0,4645	0,1092	0,1613	0,1838	0,0156	0,1682	0,0227	0,0044	0,1935	0,3332

Fonte: Autores [2024]

Fazendo uso da Equação 13 obteve-se a matriz da área aproximada da fronteira, apresentada no Tabela 9.

Tabela 9 – Matriz da Área Aproximada da Fronteira

Área da Fronteira	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**	**C7**	**C8**	**C9**	**C10**
	0,4163	0,1567	0,1345	0,2061	0,0142	0,1398	0,0229	0,0048	0,1811	0,2078

Fonte: Autores [2024]

Seguindo com a aplicação, o próximo passo foi a construção da matriz das distâncias das alternativas para a área aproximada da fronteira, apresentado na Tabela 10, que foi calculada por meio da Equação 15.

Tabela 10 – Matriz das Distâncias das Alternativas para a Área Aproximada da Fronteira

A/C	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**	**C7**	**C8**	**C9**	**C10**
A1	-0,0966	0,0253	-0,0440	0,0798	0,0050	0,0382	0,0060	-0,0005	0,0104	-0,0412
A2	-0,1587	0,0035	-0,0282	0,0798	0,0014	-0,0087	0,0060	-0,0005	0,0108	-0,0412
A3	0,0461	-0,0256	0,0249	-0,0223	0,0014	0,0284	-0,0005	-0,0005	-0,0055	0,0254
A4	0,0482	0,0617	-0,0243	0,0389	-0,0046	-0,0342	0,0010	0,0039	0,0503	-0,0079
A5	0,0958	0,0617	0,0269	-0,0632	0,0014	0,0284	-0,0005	-0,0005	0,0100	0,0254
A6	0,0989	-0,0402	0,0465	-0,0427	-0,0034	-0,0508	-0,0084	-0,0005	-0,0654	-0,0412
A7	0,0482	-0,0475	0,0269	-0,0223	0,0014	0,0284	-0,0002	-0,0005	0,0123	0,1253

Fonte: Autores [2024]

Por fim, foi obtida a ordenação final, conforme mostra a Tabela 11, a partir da Equação 17. A alternativa Juan Carlos I (A5) com 0,1851, obteve o maior valor através da soma, sendo indicado como a opção mais favorável para o cenário em tela, seguido pelo TCG Anadolu (A7) com 0,1720, Tipo 075 (A4) com 0,1331, Classe Canberra (A3) com 0,0718, Classe America (A1) com -00176, o Classe Mistral (A6) com -0,1074 e do Classe Wasp (A2) com -0,1358.

Tabela 11 – Ordenação Final dos Porta-Helicópteros

Alternativas	**Distância Q**	**Ranking**
A1 – Classe America	-0,0176	5
A2 – Classe Wasp	-0,1358	7
A3 – Classe Canberra	0,0718	4
A4 – Tipo 075	0,1331	3
A5 – Juan Carlos I	0,1854	1
A6 – Classe Mistral	-0,1074	6
A7 – TCG Anadolu	0,1720	2

Fonte: Autores [2024]

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193741
https://proceedings.science/p/193741?lang=pt-br

Analisando os resultados obtidos na Tabela 11, pode-se observar que os porta-helicópteros Juan Carlos I, TCG Anadolu e o Tipo 075 alcançaram os melhores resultados na classificação devido a apresentação de melhores desempenhos nos critérios que obtiveram maior peso, como custo de aquisição, lançadores de mísseis, capacidade de carga, número de tripulantes e de helicópteros.

O Juan Carlos I (Figura 3) apresentou melhor desempenho em apenas um critério (número de helicópteros), porém, apresentou o segundo melhor desempenho em seis critérios (custo de aquisição, lançadores de mísseis, deslocamento, autonomia, velocidade e boca) e um desempenho razoável nos critérios capacidade de carga, número de tripulantes e comprimento.

Já o TCG Anadolu obteve o melhor desempenho em apenas um critério (lançadores de mísseis), contudo obteve o segundo melhor desempenho em cinco critérios (número de tripulantes, deslocamento, boca, velocidade e autonomia), apresentou o terceiro melhor desempenho no critério custo de aquisição e um desempenho razoável nos critérios número de helicópteros, capacidade de carga e comprimento.

Enquanto o Tipo 075 teve o melhor desempenho em três critérios (boca, número de tripulantes e de helicópteros), só que apresentou segundo melhor desempenho em apenas dois critérios (capacidade de carga e comprimento), obteve o terceiro melhor desempenho em três critérios (custo de aquisição, lançadores de mísseis e deslocamento) e teve um desempenho razoável nos critérios autonomia e velocidade.

Figura 3 – Porta-Helicóptero Juan Carlos I



Fonte: Naval [2014]

5. Considerações Finais

O objetivo deste trabalho foi ordenar, a partir dos Métodos Multicritério de Decisão MPSI e MABAC, porta-helicópteros para a Marinha do Brasil. Como resultado da modelagem matemática aplicada, o porta-helicóptero mais favorável foi o Juan Carlos I e a Classe Wasp como a menos favorável. Entretanto, é relevante ponderar se o Brasil possuirá recursos financeiros para adquiri-lo.

Ao analisar os resultados obtidos pelo método MPSI para a ordenação de um porta-helicópteros, observa-se que o critério de maior peso foi o Custo de Aquisição, com 25,76%. Este resultado destaca a importância financeira na decisão de compra, possivelmente refletindo restrições orçamentárias e a necessidade de otimização de recursos.

Em seguida, o critério Lançadores de Mísseis aparece com 16,66%, evidenciando a relevância das capacidades ofensivas e de defesa do navio. A Capacidade de Carga, com 14,29%, indica a importância de transportar suprimentos e equipamentos essenciais. O número de Tripulantes, com 11,57%, e o número de Helicópteros, com 10,92%, também são considerados significativamente, refletindo a necessidade de balancear o pessoal e a capacidade operacional aérea.

Outros critérios como Deslocamento e Autonomia, com 9,05% e 8,90% respectivamente, reforçam a importância da eficiência e da capacidade de operação em missões prolongadas.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193741
https://proceedings.science/p/193741?lang=pt-br

Critérios como Comprimento com 1,45%, Velocidade com 0,96%, e Boca com 0,44%, possuem menor peso, indicando que, embora relevantes, são menos prioritários na decisão final.

Os resultados obtidos pelo método MABAC, através dos pesos gerados pelo método MPSI com o cenário escolhido pelos decisores, a alternativa Juan Carlos I apresentou o maior valor, 0,1851, sendo indicada como a opção mais favorável para a escolha de um porta-helicópteros no cenário em questão. Isso sugere que o Juan Carlos I atende melhor aos critérios estabelecidos em comparação com as demais alternativas.

Em segundo lugar, ficou o TCG Anadolu com 0,1720 e em terceiro o Tipo 075 com 0,1331 que se destacam como opções favoráveis, apresentando valores positivos significativos. A Classe Canberra, com 0,0718, mantém-se como uma alternativa viável, embora com uma pontuação inferior.

Por outro lado, as alternativas Classe America com -0,0176, Classe Mistral com -0,1074 e Classe Wasp com -0,1358 apresentaram valores negativos, sendo, portanto, consideradas as opções menos favoráveis dentro dos critérios avaliados, indicando que podem não atender de maneira adequada às necessidades e requisitos estabelecidos para a escolha do porta-helicópteros.

Espera-se que este estudo contribua para o enfrentamento dos desafios da Marinha do Brasil na escolha de embarcações para realização de atividades. Levando em conta futuras pesquisas e possibilidades, surge a chance de explorar alternativas e critérios adicionais, bem como a utilização de outros Métodos de Tomada de Decisão Multicritério, além de conduzir uma análise de sensibilidade nos métodos previamente empregados, visando fortalecer a escolha do porta-helicópteros proposto neste estudo.

Referências

Diniz, Bruno Pereira; Pereira, Daniel Augusto de Moura; Moreira, Miguel Ângelo Lellis; Santos, Marcos dos; Gomes, Carlos Francisco Simões. Framework Decision-Making Methods Assistant (DMMA) em VBA (V.1) 2024.

Gligorić, Miloš et al. Novel hybrid MPSI–MARA decision-making model for support system selection in an underground mine. Systems, v. 10, n. 6, p. 248, 2022.

Marinha do Brasil. Amazônia Azul. Marinha do Brasil. 2023. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/cgcfn/amazonia_azul#:~:text=A%20ZEE%20brasileira%20tem%20uma,4%2C5%20milh%C3%B5es%20de%20km%C2%B2. Acesso em: 31 mai. 2024.

Military Power. Brasil. Disponível em: http://militarypower.com.br/brasil.htm. Acesso em: 31 mai. 2024.

Naval. Turquia seleciona LPD do tipo Juan Carlos I com construção local. Disponível em: https://www.naval.com.br/blog/2014/01/01/turquia-seleciona-lpd-do-tipo-juan-carlos-i-com-construcao-local/. Acesso em: 31 mai. 2024.

Pamučar, Dragan; Ćirović, Goran. The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). Expert systems with applications, v. 42, n. 6, p. 3016-3028, 2015.

Till, Geoffrey. Seapower: A guide for the twenty-first century. Routledge, 2013.

Vego, Milan N. Joint operational warfare: Theory and practice. Government Printing Office, 2009.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193741
https://proceedings.science/p/193741?lang=pt-br