

Nova Metodologia Híbrida a partir dos Métodos de Decisão Multicritério MEREC e SPOTIS para Ordenação das Melhores Aeronaves de Patrulha Marítima nas Operações Antissubmarino do Mundo

Bruno Pereira Diniz¹, Paloma dos Santos Alves Nunes¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (UFCG-CDSA), Sumé/PB – Brasil

Resumo – Este estudo tem como objetivo a ordenação das Melhores Aeronaves de Patrulha Marítima para Operações Antissubmarino do Mundo, a partir dos Métodos de Tomada de Decisão Multicritério, *Method Based on the Removal Effects of Criteria* (MEREC) e *Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution* (SPOTIS). Para tanto, foram consultados especialistas que identificaram dez modelos de aeronaves como alternativas, juntamente com onze critérios de avaliação. O Método MEREC foi utilizado para determinar os pesos dos critérios desta pesquisa, enquanto o SPOTIS foi usado para ordenar as alternativas de aviões previamente selecionados. Os resultados obtidos após a modelagem dos métodos indicaram que a aeronave Kawasaki P-1 é a alternativa mais favorável para o cenário em estudo, tendo em vista que apresentou um melhor desempenho em cinco critérios analisados em comparação com as outras aeronaves, sendo eles velocidade máxima, altura de operação, número de posições de tripulação, torpedos e mísseis.

Palavras-Chave – MEREC, SPOTIS, Aeronaves de Patrulha.

I. INTRODUÇÃO

A aviação de patrulha, essencial para a segurança marítima e defesa de territórios costeiros, tem suas raízes no início do século XX. Aviões como o britânico Short 184 e o francês FBA Type H desempenharam operações na detecção e combate a submarinos. Após a primeira guerra, o desenvolvimento de aviões de patrulha continuou a avançar, culminando na Segunda Guerra Mundial com aeronaves icônicas como o *Consolidated* PBV Catalina e o Lockheed P-2 Neptune, que foram fundamentais para operações de vigilância e resgate. Estudos internacionais destacam a evolução tecnológica e estratégica dessas aeronaves, como detalha [1].

No Brasil, a aviação de patrulha começou a se desenvolver significativamente durante a Segunda Guerra Mundial com a criação da Força Aérea Brasileira (FAB) e a incorporação de aeronaves como o PBV Catalina e o Lockheed Hudson. Esse desenvolvimento foi impulsionado pela necessidade de proteger a extensa costa brasileira e as rotas marítimas do Atlântico Sul contra ameaças de submarinos do Eixo. Nos anos subsequentes, a FAB modernizou sua frota com aeronaves como o Embraer P-95 Bandeirilha e, mais recentemente, o P-3 Orion, que desempenham um papel vital na vigilância e defesa da zona econômica exclusiva do país [2].

A aquisição de aeronaves de patrulha marítima é fundamental para qualquer nação com interesses marítimos significativos. Estas aeronaves são essenciais para a vigilância e monitoramento das vastas zonas econômicas exclusivas, garantindo a proteção dos recursos naturais e a segurança das rotas comerciais. Além disso, desempenham várias operações na detecção e resposta a ameaças marítimas, como pirataria, contrabando e atividades ilegais de pesca. A capacidade de realizar patrulhas regulares e abrangentes permite uma resposta rápida a emergências marítimas, como operações de busca e salvamento, fortalecendo a presença e a soberania nacional sobre as águas territoriais.

Sendo assim, aeronaves de patrulha marítima com capacidades de operações antissubmarino (ASW) desempenham um papel vital na detecção, monitoramento e neutralização de ameaças submarinas, garantindo a segurança das rotas marítimas comerciais e militares. Além do mais, aumentam a capacidade de projeção de poder naval e oferecem uma camada adicional de dissuasão contra possíveis agressões subaquáticas. As operações ASW permitem uma resposta rápida e eficaz a intrusões submarinas, minimizando riscos para a frota de superfície e infraestrutura costeira [3].

O estudo da Pesquisa Operacional (PO) nesse contexto se torna fundamental para aprimorar a eficiência e a eficácia dessas missões vitais. A PO permite a análise detalhada de dados e a modelagem de cenários complexos, ajudando na otimização de táticas, alocação de recursos e tomada de decisões estratégicas.

Na ordenação, escolha, seleção ou classificação de aeronaves, diversos critérios são fundamentais para garantir o desempenho e eficiência das operações. Critérios como alcance e autonomia, capacidade de detecção, capacidade de armas, custo de aquisição e operacional, sistemas de comunicação e controle, flexibilidade e versatilidade, fiabilidade e disponibilidade, integração com sistemas nacionais, capacidade de atualização, tripulação e suporte logístico são importantes para adaptar o avião a diversas missões e tarefas, pois afetam diretamente a capacidade da aeronave de realizar suas operações.

O cenário supracitado caracteriza o problema de ordenação, escolha, seleção ou classificação de aeronaves 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 consistiu na ordenação das melhores aeronaves de patrulha marítima para operações

antissubmarino do mundo, a partir dos Métodos Multicritério de Decisão MEREC [4] e SPOTIS [5].

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Apoio a Decisão Multicritério

Segundo [6], decidir corresponde ao “processo de colher informações, atribuir importância a elas, posteriormente buscar possíveis alternativas de solução e, depois, fazer a escolha entre as alternativas”.

No processo de decisão, a escolha de uma ação é vista como desejável em relação às outras disponíveis, porém essa escolha, por mais simples que pareça, está relacionada a um conjunto de critérios relevantes [7].

Desta forma, o Apoio a Decisão Multicritério (AMD) visa apoiar o processo decisório com recomendação de alternativas que estejam em sintonia com as preferências do decisor [8] à [10].

B. Método MEREC

O Método *Method Based on the Removal Effects of Criteria* (MEREC) é uma técnica de tomada de decisão multicritério desenvolvida por [4] proposto para determinar os pesos dos critérios e está na categoria de métodos objetivos de ponderação para obtenção de pesos de critérios.

O Método MEREC se encaixa na problemática de ordenação/ ranking e pode ser ajustado para a problemática de classificação, é do tipo monodecisor e com método de agregação não compensatório, com entradas de dados do tipo cardinais (quantitativas), gerando pesos para os critérios na sua modelagem matemática.

O MEREC é uma abordagem sistemática que utiliza o impacto da remoção de critérios para estabelecer a importância relativa dos critérios em um cenário de Apoio à Decisão Multicritério (AMD). O método atribui pesos mais elevados aos critérios que têm uma influência mais significativa nos resultados de desempenho.

A seguir são descritos os passos para aplicação deste método [9]:

- Passo 1: Determinar a matriz de decisão;
- Passo 2: Determinar a matriz de decisão normalizada;
- Passo 3: Determinar o desempenho geral das alternativas;
- Passo 4: Calcular o desempenho das alternativas removendo cada critério;
- Passo 5: Calcular o efeito da remoção de cada critério;
- Passo 6: Calcular o peso dos critérios.

C. Método SPOTIS

O Método *Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution* (SPOTIS) é uma técnica de tomada de decisão multicritério desenvolvida por foi desenvolvido [5], é um método de ordenação de preferência estável em direção à solução ideal. é baseado no cálculo da distância normalizada

$d_{ij}(A_i, S_j)$ de j cada alternativa A_i em relação à (melhor) solução ideal S_j^* escolhida para cada critério C_j .

O método é baseado na medição de distância e requer a especificação de limites de dados para determinar o Ponto de Solução Ideal (*Ideal Solution Point* – ISP), a partir dos limites dos valores de pontuação dos critérios, consoante à ordem de preferência relacionada a cada critério.

O SPOTIS se encaixa na problemática de ordenação/ ranking e pode ser ajustado para a problemática de escolha/seleção, é do tipo monodecisor e com método de agregação não compensatório, com entradas de dados do tipo cardinais (quantitativas) e não gera pesos para os critérios na sua modelagem matemática.

A seguir são descritos os passos para aplicação deste método [10]:

- Passo 1: Definir os limites mínimos e máximos do problema;
- Passo 2: Definir o ponto de Solução Ideal de cada critério;
- Passo 3: Calcular a matriz distância normalizada;
- Passo 4: Calcular a matriz distância média normalizada;
- Passo 5: Ordenar as alternativas.

D. Trabalhos Relacionados

Alguns autores, entre eles [11], abordam a questão da necessidade da avaliação de patrulha para a manutenção da Defesa Nacional, porém sem aplicar um método de resolução. Já [12] levam em consideração esse problema com enfoque multimetodológico, aplicando um método híbrido denominado de *Modified Preference Selection Index - Magnitude of the Area for the Ranking of Alternatives* (MPSI-MARA). Já no estudo de [13], foi proposta uma abordagem hierárquica para a tomada de decisão em combates aéreos envolvendo múltiplas aeronaves, que visa melhorar a eficiência tática em confrontos aéreos complexos.

III. METODOLOGIA

Este estudo se trata de uma pesquisa quantitativa de caráter exploratório, sendo estruturado de acordo com as etapas presentes no fluxograma metodológico demonstrado na Fig. 1. Os dados desta pesquisa foram coletados a partir de pesquisas nos sites dos principais fabricantes de aeronaves de combate do mundo.

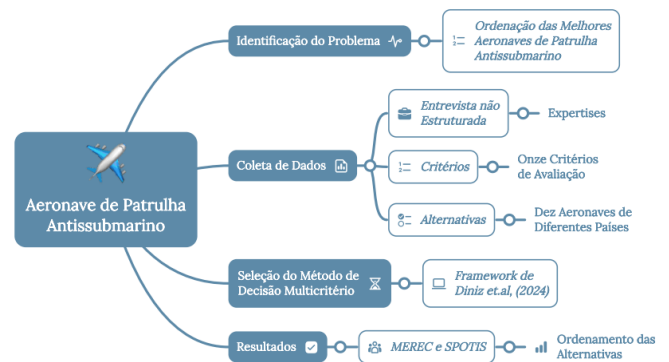


Fig. 1. Esquema Metodológico Utilizado na Pesquisa.

Oficiais das Forças Armadas foram consultados em entrevistas não estruturadas, onde foram levantados os critérios e as alternativas. A Tabela I mostra os critérios de decisão que foram elencados a partir de entrevistas não estruturadas com os *experts*, a saber: Alcance (Km), Autonomia (h), Custo Operacional (\$/h), Velocidade Máxima (km/h), Capacidade de Carga Útil (t), Altura de Operação (pés), Número de Posições de Tripulação (uni), Torpedos (uni), Mísseis (uni), Sonobóias (uni) e Tipos de Sensores (uni). O critério custo operacional foi classificado como monotônico de custo, quanto menor melhor. Já os demais critérios foram classificados como monotônicos de benefício, quanto maior melhor.

TABELA I. CRITÉRIOS DO PROBLEMA.

<i>Critérios</i>	<i>Descrição</i>
Alcance (Km)	Distância máxima que a aeronave pode percorrer sem a necessidade de reabastecimento.
Autonomia (h)	Tempo máximo que a aeronave pode permanecer em voo sem a necessidade de reabastecimento.
Custo Operacional (\$/h)	Custo estimado por hora de operação da aeronave, incluindo manutenção, combustível, tripulação, entre outros.
Velocidade Máxima (km/h)	Velocidade máxima que a aeronave pode atingir em condições ideais.
Capacidade de Carga Útil (t)	Peso máximo de carga que a aeronave pode transportar, incluindo armamentos, sensores, equipamentos e suprimentos.
Altura de Operação (pés)	Altitude máxima em pés acima do nível do mar em que a aeronave pode operar eficientemente.
Número de Posições de Tripulação (uni)	Quantidade de posições de tripulação necessárias para operar a aeronave durante missões.
Torpedos (uni)	Número máximo de torpedos que a aeronave pode transportar e lançar durante operações antissubmarino.
Mísseis (uni)	Número máximo de mísseis antinavio que a aeronave pode transportar e lançar durante operações antissubmarino.
Sonobóias (uni)	Número máximo de sonobóias acústicas passivas e ativas que a aeronave pode transportar e lançar para detectar submarinos.
Tipos de Sensores (uni)	Número total de tipos de sensores a bordo da aeronave, incluindo radares, sistemas de sonar, FLIR, MAD, sistemas de identificação amigo ou inimigo (IFF) e outros sistemas de detecção.

Em seguida, foram pré-selecionados sete tipos de aeronaves. Esta seleção ocorreu de acordo com os dados encontrados em [14] e [15], acerca das aeronaves utilizadas pela Força Aérea Brasileira e das mais importantes Forças Aéreas dos cinco continentes, que tenham importância estratégica regional ou global, conforme mostra a Tabela II.

TABELA II. ALTERNATIVAS DO PROBLEMA.

<i>Alternativas</i>	<i>Descrição</i>
P-8 Poseidon	Desenvolvido pela Boeing, o P-8 Poseidon é uma aeronave de patrulha marítima moderna. Sendo utilizada por países como Estados Unidos, Índia, Austrália, Reino Unido, Noruega, Coreia do Sul e Nova Zelândia.
P-3 Orion	O P-3 Orion é uma aeronave de patrulha marítima de longo alcance produzida pela Lockheed Martin. Usada por países como Estados Unidos, Japão, Alemanha, Brasil, Argentina, Chile, Portugal e Espanha.
Atlantic 2 (ATL2)	O Atlantic 2 é uma aeronave de patrulha marítima de longo alcance utilizada principalmente pela Marinha Francesa.
Tu-142	O Tu-142 é uma variante de patrulha marítima de longo alcance do bombardeiro estratégico Tu-95 Bear, desenvolvido pela Tupolev. Utilizada apenas por Rússia e Índia.
Il-38	O Ilyushin Il-38 é uma aeronave de patrulha marítima de longo alcance derivada do Il-18. É usada principalmente pela Marinha Russa e as Forças Armadas Indianas também utilizada a aeronave.
Kawasaki P-1	Desenvolvido pela Kawasaki Aerospace Company, o P-1 é uma aeronave de patrulha marítima de última geração

<i>Alternativas</i>	<i>Descrição</i>
	projetada especificamente para a guerra antissubmarino. Usada na Forças Armadas do Japão.
ATR 72 ASW	O ATR 72 ASW é uma variante militarizada do ATR 72, um avião comercial de turboélice. Usado por países como Itália e Turquia.
C-295 MPA	Desenvolvido pela Airbus, o C-295 MPA é uma aeronave de patrulha marítima baseada no C-295 de transporte tático. Utilizado por Portugal, Chile, Omã e futuramente o Brasil (sob encomenda).
Shaanxi Y-9	O Shaanxi Y-9 é uma aeronave de patrulha marítima e transporte médio desenvolvida pela China. Adaptada para missões antissubmarino.
CP-140 Aurora	A versão modernizada do CP-140 Aurora, baseada no Bombardier Dash 8, é usada principalmente pela Força Aérea Canadense.

Para selecionar os Métodos de Tomada de Decisão Multicritério aplicados neste estudo, utilizou-se o Framework *Decision-Making Methods Assistant* proposto por [16]. O problema em tela foi caracterizado por ter entradas cardinais (dados quantitativos), por ser do tipo monodecisor (um decisor) e com método de compensação não compensatório (todos os critérios serem bons), conforme mostra a Fig. 2. Após o preenchimento das informações de estruturação do problema no, foram indicados os Métodos MEREC e SPOTIS.

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? Um Decisor

PREFERE QUE TODOS OS CRITÉRIOS SEJAM BONS EM TODOS OS ASPECTOS OU UM CRITÉRIO FORTE PODE COMPENSAR UM CRITÉRIO FRACO? Sim (Todos Ter Bom Desempenho)

O MÉTODO SUGERIDO PARA A GERAÇÃO DE PESOS É: MEREC

QUAL O TIPO DE DADOS DE ENTRADA DAS ALTERNATIVAS DO PROBLEMA? Dados Quantitativos

A DECISÃO SERÁ REALIZADA POR QUANTOS DECISORES? Um Decisor

O MÉTODO SUGERIDO PARA O TIPO DA PROBLEMÁTICA DEFINIDA É: SPOTIS

0(S) MÉTODO(S) INDICADO(S) SÃO: MEREC, SPOTIS

Fig. 2. Seleção do Método de Análise de Decisão Multicritério.

A aplicação desses métodos permitiu a ordenação das alternativas, feita pelo Método SPOTIS, e pela geração de pesos realizada de acordo com a preferência do decisor (Oficiais das Forças Armadas), realizada no processo de aplicação do Método MEREC.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Modelagem do Método MEREC

A matriz de decisão pode ser visualizada na Tabela III. Os critérios foram comparados em pares pelo tomador de decisão usando o Método MEREC. Posteriormente, o decisor preencheu a matriz de decisão, com os critérios: Alcance (C1), Autonomia (C2), Custo Operacional (C3), Velocidade Máxima (C4), Capacidade de Carga Útil (C5), Altura de Operação (C6), Número de Posições de Tripulação (C7), Torpedos (C8), Mísseis (C9), Sonobóias (C10) e Tipos de Sensores (C11). E em seguida com as Alternativas que são: P-8 Poseidon (A1), P-3 Orion (A2), Atlantic 2 (ATL2) (A3), Tu-142 (A4), Il-38 (A5), Kawasaki P-1 (A6), ATR 72 ASW (A7), C-295 MPA (A8), Shaanxi Y-9 (A9) e CP-140 Aurora (A10).

TABELA III. ALTERNATIVAS DO PROBLEMA.

A/C	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	7.500	4	\$42.000,00	907	9	41.000	9	5	4	129	9
A2	4.400	12	\$10.000,00	760	9	28.300	11	8	4	84	8
A3	7.300	18	\$15.000,00	648	8	30.000	13	4	2	100	8
A4	12.000	16	\$30.000,00	850	10	42.650	11	8	2	80	8
A5	9.500	12	\$15.000,00	650	9	33.000	7	5	2	64	8
A6	8.000	8	\$20.000,00	996	9	44.000	13	8	4	80	8
A7	3.700	8	\$7.000,00	518	7	25.000	6	2	1	48	8
A8	5.630	11	\$5.500,00	576	9	30.000	5	4	1	50	8
A9	5.700	10	\$10.000,00	650	10	33.000	10	3	4	80	8
A10	9.266	17	\$13.000,00	667	6	35.000	10	4	4	80	8

Em seguida, foi gerada a matriz normalizada, a partir das (2) e (3), como mostra a Tabela IV.

TABELA IV. MATRIZ DE DECISÃO NORMALIZADA.

Matriz de Decisão Normalizada											
A/C	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	0,49	1,00	1,00	0,57	0,67	0,61	0,56	0,40	0,25	0,37	0,89
A2	0,84	0,33	0,24	0,68	0,67	0,88	0,45	0,25	0,25	0,57	1,00
A3	0,51	0,22	0,36	0,80	0,75	0,83	0,38	0,50	0,50	0,48	1,00
A4	0,31	0,25	0,71	0,61	0,60	0,59	0,45	0,25	0,50	0,60	1,00
A5	0,39	0,33	0,36	0,80	0,67	0,76	0,71	0,40	0,50	0,75	1,00
A6	0,46	0,50	0,48	0,52	0,67	0,57	0,38	0,25	0,25	0,60	1,00
A7	1,00	0,50	0,17	1,00	0,86	1,00	0,83	1,00	1,00	1,00	1,00
A8	0,66	0,36	0,13	0,90	0,67	0,83	1,00	0,50	1,00	0,96	1,00
A9	0,65	0,40	0,24	0,80	0,60	0,76	0,50	0,67	0,25	0,60	1,00
A10	0,40	0,24	0,31	0,78	1,00	0,71	0,50	0,50	0,25	0,60	1,00

Na Tabela V está determinado o desempenho geral de cada alternativa, sendo calculado através da (4).

TABELA V. DESEMPENHO GERAL DE CADA ALTERNATIVA (S_i).

ALTERNATIVAS (S _i)	DESEMPENHO (S _i)
S ₁ – P-8 POSEIDON	0,96
S ₂ – P-3 ORION	1,49
S ₃ – ATLANTIC 2 (ATL2)	1,20
S ₄ – TU-142	1,52
S ₅ – IL-38	0,97
S ₆ – KAWASAKI P-1	1,64
S ₇ – ATR 72 ASW	0,33
S ₈ – C-295 MPA	0,67
S ₉ – SHAANXI Y-9	1,14
S ₁₀ – CP-140 AURORA	1,35

A partir do cálculo do desempenho geral das alternativas, foi calculado através da (5) e elaborada a matriz com o desempenho das alternativas a partir da remoção de cada critério, apresentado na Tabela VI.

TABELA VI. DESEMPENHO DAS ALTERNATIVAS A PARTIR DA REMOÇÃO DE CADA CRITÉRIO.

A/C	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	0,79	0,96	0,96	0,82	0,86	0,84	0,82	0,74	0,65	0,73	0,93
A2	1,41	1,09	1,00	1,33	1,32	1,43	1,19	1,01	1,01	1,27	1,49
A3	1,00	0,79	0,90	1,13	1,11	1,14	0,92	0,99	0,99	0,98	1,20
A4	1,09	1,03	1,38	1,32	1,31	1,30	1,21	1,03	1,25	1,31	1,52
A5	0,75	0,72	0,73	0,91	0,87	0,90	0,89	0,75	0,80	0,90	0,97
A6	1,31	1,34	1,32	1,35	1,45	1,39	1,24	1,10	1,10	1,41	1,64
A7	0,33	0,24	0,11	0,33	0,31	0,33	0,31	0,33	0,33	0,33	0,33
A8	0,59	0,49	0,34	0,65	0,60	0,64	0,67	0,54	0,67	0,66	0,67
A9	1,01	0,89	0,77	1,07	0,99	1,05	0,94	1,02	0,78	0,99	1,14
A10	1,05	0,91	0,98	1,26	1,35	1,23	1,11	1,11	0,92	1,17	1,35

O cálculo do efeito da remoção do critério j baseado nos valores obtidos pela (6), estão expostos na Tabela VII.

TABELA VII. EFEITO DA REMOÇÃO DE CADA CRITÉRIO.

Crítérios (E _i)	Desempenho (E _i)
E ₁ – Alcance	1,94
E ₂ – Autonomia	2,82
E ₃ – Custo Operacional	2,80
E ₄ – Velocidade Máxima	1,10
E ₅ – Capacidade de Carga Útil	1,10
E ₆ – Altura de Operação	1,02
E ₇ – Número de Posições de Tripulação	1,97
E ₈ – Torpedos	2,63
E ₉ – Mísseis	2,77
E ₁₀ – Sonobóias	1,52
E ₁₁ – Tipos de Sensores	0,03

Finalizando a aplicação do Método MEREC, calculou-se o peso dos critérios (w_j), que são determinados através da (7), conforme mostra a Tabela VIII.

TABELA VIII. PESOS DOS CRITÉRIOS.

Crítérios (W)	W _j	W _j (%)
W ₁ – Alcance	0,0987	9,87%
W ₂ – Autonomia	0,1432	14,32%
W ₃ – Custo Operacional	0,1418	14,18%
W ₄ – Velocidade Máxima	0,0559	5,59%
W ₅ – Capacidade de Carga Útil	0,0560	5,60%
W ₆ – Altura de Operação	0,0518	5,18%
W ₇ – Número de Posições de Tripulação	0,1000	10,00%
W ₈ – Torpedos	0,1336	13,36%
W ₉ – Mísseis	0,1404	14,04%
W ₁₀ – Sonobóias	0,0772	7,72%
W ₁₁ – Tipos de Sensores	0,0015	0,15%

De acordo com o resultado obtido com o método MEREC, o critério de maior peso foi o Autonomia (C2) com 14,32%, seguido dos critérios Custo Operacional (C3) com 14,18%, Mísseis (C9) com 14,04%, Torpedos (C8) com 13,36%, Número de Posições de Tripulação (C7) com 10%, Alcance (C1) com 9,87%, Sonobóias (C10) com 7,72%, Capacidade de Carga Útil (C5) com 5,60%, Velocidade Máxima (C4) 5,59%, Altura de Operação (C6) com 5,18% e o critério Tipos de Sensores (C11) com 0,15%.

B. Modelagem do Método SPOTIS

Após realizar o cálculo dos pesos dos critérios usando o Método MEREC o Método SPOTIS foi aplicado para gerar a ordenação das aeronaves. Assim, com base na Tabela III, foi feita a definição dos limites máximo e mínimo de acordo com a monotonicidade de cada critério, diante dos princípios do Método SPOTIS e da utilização da (8), resultando na Tabela IX.

TABELA IX. LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DE CADA CRITÉRIO.

Ponto de Solução Ideal de cada Critério			
C1		C2	
S ^{min}	S ^{max}	S ^{min}	S ^{max}
3.000	13.000	2	20
C3		C4	
S ^{min}	S ^{max}	S ^{min}	S ^{max}
5.000	43.000	500	1.000
C5		C6	
S ^{min}	S ^{max}	S ^{min}	S ^{max}
3	13	20.000	50.000
C7		C8	
S ^{min}	S ^{max}	S ^{min}	S ^{max}
2	15	1	10
C9		C10	
S ^{min}	S ^{max}	S ^{min}	S ^{max}
1	6	40	135
C11			
S ^{min}	S ^{max}		
7	10		

Na Tabela X ocorre a definição do Ponto de Solução Ideal (ISP) de cada critério pela (9), em consonância com a monotonicidade descrita na Tabela III.

TABELA X. PONTO DE SOLUÇÃO IDEAL DE CADA CRITÉRIO.

Crítérios	ISP
S ₁ – Alcance	13.000
S ₂ – Autonomia	20
S ₃ – Custo Operacional	5.000
S ₄ – Velocidade Máxima	1.000
S ₅ – Capacidade de Carga Útil	13
S ₆ – Altura de Operação	50.000
S ₇ – Número de Posições de Tripulação	15
S ₈ – Torpedos	10
S ₉ – Mísseis	6
S ₁₀ – Sonobóias	135
S ₁₁ – Tipos de Sensores	10

Como o problema possuía critérios monotônicos de custo e benefício, foram utilizadas as (10) e (11) de acordo com a monotonicidade de cada critério, utilizando a Tabela III, resultando na matriz de distância normalizada representada na Tabela XI.

TABELA XI. MATRIZ DE DISTÂNCIA NORMALIZADA.

A/C	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	0,55	0,89	0,97	0,19	0,40	0,30	0,46	0,56	0,40	0,06	0,33
A2	0,86	0,44	0,13	0,48	0,40	0,72	0,31	0,22	0,40	0,54	0,67
A3	0,57	0,11	0,26	0,70	0,50	0,67	0,15	0,67	0,80	0,37	0,67
A4	0,10	0,22	0,66	0,30	0,30	0,25	0,31	0,22	0,80	0,58	0,67
A5	0,35	0,44	0,26	0,70	0,40	0,57	0,62	0,56	0,80	0,75	0,67
A6	0,50	0,67	0,39	0,01	0,40	0,20	0,15	0,22	0,40	0,58	0,67
A7	0,93	0,67	0,05	0,96	0,60	0,83	0,69	0,89	1,00	0,92	0,67
A8	0,74	0,50	0,01	0,85	0,40	0,67	0,77	0,67	1,00	0,89	0,67
A9	0,73	0,56	0,13	0,70	0,30	0,57	0,38	0,78	0,40	0,58	0,67
A10	0,37	0,17	0,21	0,67	0,70	0,50	0,38	0,67	0,40	0,58	0,67

Com o peso obtido para cada critério através do método MEREC (Tabela XII), foi obtida a matriz de distância média normalizada por meio da (12), conforme apresenta a Tabela XIII.

TABELA XII. PESO DOS CRITÉRIOS PELO MÉTODO MEREC.

Pesos	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	0,10	0,14	0,14	0,06	0,06	0,05	0,10	0,13	0,14	0,08	0,00

TABELA XIII. MATRIZ DE DISTÂNCIA MÉDIA NORMALIZADA.

A/C	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	0,05	0,13	0,14	0,01	0,02	0,02	0,05	0,07	0,06	0,00	0,00
A2	0,08	0,06	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,06	0,04	0,00
A3	0,06	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,09	0,11	0,03	0,00
A4	0,01	0,03	0,09	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,11	0,04	0,00
A5	0,03	0,06	0,04	0,04	0,02	0,03	0,06	0,07	0,11	0,06	0,00
A6	0,05	0,10	0,06	0,00	0,02	0,01	0,02	0,03	0,06	0,04	0,00
A7	0,09	0,10	0,01	0,05	0,03	0,04	0,07	0,12	0,14	0,07	0,00
A8	0,07	0,07	0,00	0,05	0,02	0,03	0,08	0,09	0,14	0,07	0,00
A9	0,07	0,08	0,02	0,04	0,02	0,03	0,04	0,10	0,06	0,04	0,00
A10	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,09	0,06	0,04	0,00

Por fim, foi obtida a ordenação final, conforme mostra a Tabela XIV, a partir da (13). A alternativa Kawasaki P-1 (A6) com 0,38, obteve o melhor valor através da soma, sendo indicado como a opção mais favorável para o cenário em tela, seguido pelas alternativas Tu-142 (A4) com 0,40, P-3 Orion (A2) com 0,41, CP-140 Aurora (A10) com 0,42, Atlantic 2 (ATL2) (A3) com 0,46, Shaanxi Y-9 (A9) com 0,50, Il-38 (A5) com 0,53, P-8 Poseidon (A1) com 0,55, C-295 MPA (A8) com 0,63 e o ATR 72 ASW (A7) com 0,73.

TABELA XIV. ORDENAÇÃO FINAL DAS AERONAVES.

Alternativas	Σ	Ordenação
A6 – Kawasaki P-1	0,38	1
A4 – Tu-142	0,40	2
A2 – P-3 Orion	0,41	3
A10 – CP-140 Aurora	0,42	4
A3 – Atlantic 2 (ATL2)	0,46	5
A9 – Shaanxi Y-9	0,50	6
A5 – Il-38	0,53	7
A1 – P-8 Poseidon	0,55	8
A8 – C-295 MPA	0,63	9

Analisando os resultados obtidos na Tabela XIV, pode-se observar que as aeronaves Kawasaki P-1, Tu-142, P-3 Orion e o CP-140 Aurora alcançaram os melhores resultados na ordenação devido a apresentação de melhores desempenhos nos critérios que obtiveram maior peso, como autonomia, custo operacional, mísseis, torpedos e número de posições de tripulação.

O Kawasaki P-1 (Fig. 3), utilizado pelas Forças Armadas do Japão, apresentou melhor desempenho em cinco critérios (velocidade máxima, altura de operação, número de posições de tripulação, torpedos e mísseis), porém, apresentou o segundo melhor desempenho em apenas dois critérios (capacidade de carga útil e tipos de sensores) e um desempenho razoável nos critérios alcance, autonomia, custo operacional e sonobóias.

Já o Tu-142, operado pela Rússia e Índia, obteve o melhor desempenho em três critérios (alcance, capacidade de carga útil e torpedos), contudo obteve o segundo melhor desempenho em cinco critérios (autonomia, altura de operação, número de posições de tripulação, mísseis e tipos de sensores), apresentou o terceiro melhor desempenho no critério velocidade máxima e um desempenho razoável nos critérios custo operacional e sonobóias.

Enquanto o P-3 Orion, em serviço nos Estados Unidos, Japão, Alemanha, Brasil, Argentina, Chile, Portugal e Espanha, teve o melhor desempenho em apenas dois critérios (torpedos e mísseis), só que apresentou segundo melhor desempenho em três critérios (capacidade de carga útil, número de posições de tripulação e tipos de sensores), obteve o terceiro melhor desempenho em dois critérios (custo operacional e sonobóias) e teve um desempenho razoável nos critérios alcance, autonomia e velocidade máxima e altura de operação.

E por fim o CP-140 Aurora, utilizado pelas tropas canadenses, destacou-se no critério apenas no critério mísseis, porém, obteve segundo melhor destaque em dois critérios (autonomia e tipos de sensores), obteve um bom desempenho no critério custo operacional, teve o terceiro melhor destaque em três critérios (alcance, número de posições de tripulação e torpedos) e desempenho razoável nos critérios velocidade máxima, capacidade de carga útil, altura de operação e sonobóias.



Fig. 3. Aeronave de Patrulha Kawasaki P-1.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi ordenar, a partir dos Métodos Multicritério de Decisão MEREC e SPOTIS, as melhores aeronaves de patrulha marítima para operações antissubmarino do mundo. Como resultado da modelagem matemática aplicada, a aeronave mais favorável foi Kawasaki P-1 e a ATR 72 ASW como a menos favorável.

Ao analisar os resultados obtidos pelo método MEREC para a obtenção dos pesos dos critérios, observa-se que o critério de maior peso foi a Autonomia, com 14,32%. Este resultado destaca a importância no tempo de permanência de voo da aeronave sem a necessidade de reabastecimento.

Em seguida, o critério Custo Operacional aparece com 14,18%, evidenciando a relevância do custo estimado por hora de operação da aeronave. Já o critério Mísseis, resultou em 14,04% e, indica a importância do número de mísseis antinavio que a aeronave pode transportar e lançar durante operações. O número de Torpedos, com 13,36%, e o número de Posições de Tripulação, com 10%, também são considerados significativamente, refletindo a necessidade de balancear a quantidade de posições necessárias para operar a aeronave durante missões e a capacidade de torpedos que a aeronave pode transportar e lançar.

Outros critérios como Alcance e Sonobóias, com 9,87% e 7,72% respectivamente, reforçam a importância da eficiência de sonobóias acústicas passivas e ativas que a aeronave pode transportar e lançar para detectar submarinos e da distância máxima que a aeronave pode percorrer sem a necessidade de reabastecimento em missões prolongadas. Já critérios como Capacidade de Carga Útil com 5,60%, Velocidade Máxima com 5,59%, Altura de Operação com 5,18% e Tipos de Sensores com 0,15%, possuem menor peso, indicando que, embora relevantes, são menos prioritários na decisão final.

Os resultados obtidos pelo método SPOTIS, através dos pesos gerados pelo método MEREC com o cenário escolhido pelos decisores, a alternativa Kawasaki P-1 apresentou o melhor valor, 0,38, sendo indicada como a opção mais favorável no cenário em questão. Isso sugere que a aeronave japonesa atende melhor aos critérios estabelecidos em comparação com as demais alternativas.

Em segundo lugar, ficou a aeronave russa Tu-142 com 0,40, em terceiro ficou a aeronave P-3 Orion usada pela Força Aérea Brasileira (FAB) com 0,41 e em quarto lugar ficou o CP-140 Aurora das Forças Armadas do Canadá, com 0,42 que se destacam como opções favoráveis, apresentando valores significativos. Já o Atlantic 2 (ATL2) de utilização das tropas francesas, com 0,46, o Shaanxi Y-9 das forças armadas da China, com 0,50, o Il-38 de utilização de tropas russas e indianas, com 0,53 e o P-8 Poseidon das forças armadas de vários países, mantiveram-se como alternativas viáveis, embora com uma pontuação razoável.

Por outro lado, as alternativas C-295 MPA, operado por Portugal, Chile, Omã e Brasil (sob encomenda), com 0,63 e o ATR 72 ASW, usado por países como Itália e Turquia, com 0,73 apresentaram valores muito altos, 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

ordenação de aeronaves de patrulha de operações antissubmarino.

Diante de tais resultados, a FAB fez uma decisão assertiva na aquisição da aeronave P-3 Orion, tendo em vista que nesse cenário de estudo onde foram aplicados os métodos MEREC e SPOTIS, essa aeronave se situou entre os três primeiros na ordenação, para ser utilizada nas operações antissubmarino. Todavia, no que se refere a compra das aeronaves C-295 MPA (sob encomenda), a escolha da FAB não atende, dentro dos critérios avaliados, os requisitos necessários para esse tipo de operação, mesmo tendo a capacidade de combater os submarinos.

Assim, este estudo preenche a lacuna identificada na literatura com relação a trabalhos que tratam essa problemática através dos métodos multicritério supracitados. Espera-se que este estudo contribua significativamente para a avaliação das aeronaves de patrulha marítima com capacidade antissubmarino, ajudando a identificar as melhores do mundo com base nos critérios estabelecidos, e que este trabalho não só permitirá uma melhor compreensão das capacidades das aeronaves de patrulha marítima existentes, mas também auxilie nas decisões mais informadas e estratégicas na área de defesa e segurança, com uma comparação entre diferentes aeronaves de operações antissubmarino.

REFERÊNCIAS

- [1] Weir, Gary E. *The Origins of the Maritime Patrol Aircraft*. Naval Historical Center, 2001.
- [2] Oliveira, Carlos A.; Fernandes, Rodrigo L. *A Defesa Aérea e Naval no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Defesa Nacional, 2019.
- [3] Friedman, Norman. *The Naval Institute Guide to World Naval Weapon Systems*. Annapolis: Naval Institute Press, 2019.
- [4] Keshavarz-Ghorabae, Mehdi et al. Determination of objective weights using a new method based on the removal effects of criteria (MEREC). *Symmetry*, v. 13, n. 4, p. 525, 2021.
- [5] Dezert, Jean et al. The SPOTIS rank reversal free method for multicriteria decision-making support. In: 2020 IEEE 23rd International Conference on Information Fusion (FUSION). IEEE, 2020. p. 1-8.
- [6] Gomes, L. F. A. M.; Gomes, C. F. S. *Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério*. São Paulo: Atlas, 2019.
- [7] Belton, V.; Stewart, T. J. *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. London, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [8] Vincke, P. *Multicriteria Decision-aid*. New York, John Wiley & Sons, 1992.
- [9] Roy, B. *Multicriteria methodology for decision aiding*. Kluwer Academic Publishers. 1996.
- [10] Gomes, L. F. A. M.; Gomes, C. F. S.; De Almeida, A. T. *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*. 2. ed. São Paulo, Atlas, 2006.
- [11] Kaipper, José Henrique. *A necessidade da aviação de patrulha para a manutenção da Defesa Nacional*. 2019.
- [12] Pires, Tullio et al. Seleção de Aeronaves com Enfoque Multimetodológico: Uso Combinado do Strategic Choice Approach (SCA) e do Método Multicritério MPSI-MARA. 2024.
- [13] Wang, H. et al. Hierarchical decision-making multi-aircraft air combat confrontation method. *Chin. Sci. Inf. Sci*, v. 52, n. 12, p. 2225-2238, 2022.
- [14] Military Power. *Mundo militar*. Disponível em: <http://militarypower.com.br/mundo.htm>. Acesso em: 31 ago. 2024.
- [15] Military Power. *Brasil militar*. Disponível em: <http://militarypower.com.br/brasil.htm>. Acesso em: 31 ago. 2024.
- [16] Diniz, Bruno Pereira et al. *Framework Decision-Making Methods Assistant (DMMA) em VBA (v.1)*. 2024.