

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**MATEUS VANZETTA**

**MODELAGEM MATEMÁTICA-COMPUTACIONAL DO MÉTODO HÍBRIDO  
FUCOM-RAFSI: APOIO À DECISÃO NA ORDENAÇÃO DE NAVIOS ESCOLTAS  
PARA A MARINHA DO BRASIL**

**NITERÓI**

**2025**

MATEUS VANZETTA

**MODELAGEM MATEMÁTICA-COMPUTACIONAL DO MÉTODO HÍBRIDO  
FUCOM-RAFSI: APOIO À DECISÃO NA ORDENAÇÃO DE NAVIOS ESCOLTAS  
PARA A MARINHA DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
*Stricto Sensu* em Engenharia de Produção da Universidade  
Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção  
do Grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador:

Prof. Dr. MARCOS DOS SANTOS

Coorientador:

Prof. Dr. CARLOS FRANCISCO SIMÕES GOMES

Niterói  
2025

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

V217m Vanzetta, Mateus  
MODELAGEM MATEMÁTICA-COMPUTACIONAL DO MÉTODO HÍBRIDO FUCOM-  
RAFSI: APOIO À DECISÃO NA ORDENAÇÃO DE NAVIOS ESCOLTAS PARA A  
MARINHA DO BRASIL / Mateus Vanzetta. - 2025.  
138 f.

Orientador: Marcos Dos Santos.  
Coorientador: Carlos Francisco Simões Gomes.  
Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,  
Escola de Engenharia, Niterói, 2025.

1. Multicritério. 2. Navio Escolta. 3. FUCOM. 4. RAFSI. 5.  
Produção intelectual. I. Dos Santos, Marcos, orientador. II.  
Francisco Simões Gomes, Carlos, coorientador. III.  
Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. IV.  
Título.

CDD - XXX

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

MATEUS VANZETTA

**MODELAGEM MATEMÁTICA-COMPUTACIONAL DO MÉTODO HÍBRIDO  
FUCOM-RAFSI: APOIO À DECISÃO NA ORDENAÇÃO DE NAVIOS ESCOLTAS  
PARA A MARINHA DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em 24 de março de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente  
 **MARCOS DOS SANTOS**  
Data: 14/04/2025 11:06:24-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Marcos dos Santos – Orientador  
UFF

Documento assinado digitalmente  
 **CARLOS FRANCISCO SIMÕES GOMES**  
Data: 11/04/2025 17:42:54-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Carlos Francisco Simões Gomes – Coorientador  
UFF

Documento assinado digitalmente  
 **DANIEL AUGUSTO DE MOURA PEREIRA**  
Data: 11/04/2025 08:25:45-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira – Membro Convidado  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Documento assinado digitalmente  
 **SAULO BARBARA DE OLIVEIRA**  
Data: 09/04/2025 10:33:36-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Saulo Barbara de Oliveira – Membro Convidado  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Niterói

2025

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Moacir e Maria, que me criaram e proporcionaram todos os meios necessários para viabilizar uma educação de qualidade aos seus filhos; ao meu amado filho Arthur, que me proporcionou momentos de alegria e descontração em meio à seriedade dos estudos; em especial, dedico este trabalho à minha amada esposa Simone, que me acompanhou, ajudou e esteve ao meu lado em diversos momentos de dificuldades. Sem todo o seu suporte eu não conseguiria conquistar essa vitória, te amo.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por toda saúde, disposição, disciplina, paciência e sabedoria que me permitiu ir em busca dos objetivos e sonhos.

À minha amada esposa Simone, que acompanhou de perto todos os momentos dessa jornada do mestrado. Foram tantos altos e baixos, mas sempre pude contar com a presença, carinho, atenção, incentivo, apoio e muito amor.

Ao meu amado filho Arthur, por tornar a vida mais complicada e mais leve ao mesmo tempo. Desde que chegou em minha vida, têm preenchido o meu coração com a sua alegria irradiante.

Ao meu Professor, orientador Prof. Dr. Marcos dos Santos, por ter me aceitado como orientando, acreditando que eu poderia trazer um relevante trabalho e por ter me guiado na área acadêmica, além de toda a paciência.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Carlos Francisco Simões Gomes, pelos valiosos ensinamentos.

Aos demais professores do programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense, pela excelência em transmitir os conhecimentos nas diversas disciplinas.

Aos amigos que fiz no mestrado, que foram companheiros em diversos trabalhos, focados em realizar todas as atividades e ajudar nos momentos de dificuldades.

À Marinha do Brasil (MB) e à Diretoria de Gestão de Programas Estratégicos da Marinha (DGePM), pelo apoio institucional para que eu pudesse me dedicar ao curso.

## RESUMO

O Brasil possui uma das maiores extensões de litoral e de plataforma continental do mundo, estendendo-se por aproximadamente por 350 milhas náuticas (563,27 quilômetros), uma área vasta que demanda vigilância constante. Para operar eficientemente nessa região, é planejado que a Marinha do Brasil (MB) tenha uma frota de no mínimo 18 navios de escolta. Atualmente, porém, sua frota está reduzida a apenas oito navios, muitos dos quais próximos ao fim de sua vida útil. Com isso, a MB precisa repor e substituir esses navios para não comprometer ainda mais sua capacidade mínima de combate. As opções incluem "compras de oportunidade" de novas embarcações por meio de uma seleção criteriosa do modelo de navio a ser obtido. Diante desse desafio, a pesquisa propôs um método híbrido multicritério para ordenar e selecionar os navios de escolta disponíveis em outros países que melhor atendam às funções esperadas pela MB. A proposta incluiu uma pesquisa do tipo descritiva, qualitativa-quantitativa mista, com questionário semiestruturada para validação de dados, uma revisão abrangente dos métodos *Full Consistency Method* (FUCOM) e *Ranking of Alternatives through Functional Mapping of Criterion Sub-intervals Into a Single Interval* (RAFSI), buscando combinar seus pontos fortes: o FUCOM para gerar pesos com poucas comparações entre critérios e com grande consistência dos resultados e o RAFSI para ordenar as alternativas, preservando estabilidade contra inversões de ordem, indicando os navios Thaondi Revel, Bergamini e Forbin como alternativas não dominadas dentro do contexto da decisão. Para facilitar o uso e a acessibilidade do método, foi realizada a modelagem-matemática computacional do método FUCOM-RAFSI, que apresenta os resultados de forma numérica e gráfica, aprimorando a compreensão da análise, além de ser testado quanto à estabilidade e robustez, incluindo testes de reversão de ordem, com inserção e remoção de alternativas, mantendo a consistência da ordenação inicial. Com a aplicação desse método, espera-se oferecer apoio decisório à MB, beneficiando a sociedade ao contribuir para a segurança e defesa nacional.

**Palavras-chave:** Marinha do Brasil, Navio Escolta, FUCOM, RAFSI, SCA, Multicritério.

## ABSTRACT

Brazil has one of the largest coastlines and continental shelves in the world, extending approximately 350 nautical miles (563.27 kilometers)—a vast area that requires constant surveillance. To operate efficiently in this region, the Brazilian Navy (Marinha do Brasil – MB) plans to maintain a fleet of at least 18 escort ships. However, the current fleet has been reduced to just eight ships, many of which are nearing the end of their operational life. As a result, the MB urgently needs to replace and renew these vessels to avoid further compromising its minimum combat capability. The available options include “opportunity purchases” of new ships through a careful selection of suitable models. Facing this challenge, the research proposed a hybrid multi-criteria method to rank and select escort ships available in other countries that best fulfill the operational requirements of the MB. The study adopted a descriptive, mixed-method (qualitative and quantitative) approach, using a semi-structured questionnaire for data validation. It conducted an in-depth review of two decision-making methods: the Full Consistency Method (FUCOM) and the Ranking of Alternatives through Functional Mapping of Criterion Sub-intervals Into a Single Interval (RAFSI). The goal was to combine their strengths, using FUCOM to generate reliable weights with minimal pairwise comparisons and applying RAFSI to rank the alternatives while preserving order stability. The analysis identified the Thaondi Revel, Bergamini, and Forbin ships as non-dominated options within the decision-making context. To enhance the method’s usability and accessibility, the researchers developed a computational mathematical model of the FUCOM-RAFSI method. This implementation displays the results both numerically and graphically, improving the understanding of the analysis. They also tested the model’s stability and robustness through simulations involving order reversal, and the insertion and removal of alternatives—ensuring the initial ranking remained consistent. By applying this method, the research aims to support MB’s decision-making process and contribute to national security and defense, ultimately benefiting Brazilian society.

**Keywords:** Brazilian Navy, Escort Ship, FUCOM, RAFSI, SCA, Multicriteria

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do número de publicações por ano .....	13
Figura 2 - Quantidade de publicações por área .....	14
Figura 3- Cluster de palavra-chave .....	17
Figura 4 - Distribuição dos documentos conforme país ou território.....	19
Figura 5 - Evolução do número de publicações por ano .....	23
Figura 6 - Distribuição dos documentos conforme país ou território.....	24
Figura 7 - Quantidade de publicações por área .....	25
Figura 8 - Metodologia para levantar documentos na Base Scopus e analisar no pacote Bibliometrix	27
Figura 9 - Produção científica anual – artigos.....	29
Figura 10 - Média de citações de artigos por ano.....	30
Figura 11 - Quantidade de publicações por área .....	30
Figura 12 - Países que apresentaram mais publicações do método.....	34
Figura 13 - Análise de clusters de palavras-chave .....	35
Figura 14 - Metodologia para levantar documentos na Base Scopus e analisar no pacote .....	38
Figura 15 - Produção científica anual – artigos.....	40
Figura 16 - Média de citações de artigos por ano.....	40
Figura 17 - Quantidade de publicações por área .....	41
Figura 18 - Países que apresentaram mais publicações do método.....	44
Figura 19 - Análise de clusters de palavras-chave .....	45
Figura 20 - Estrutura do método SCA.....	47
Figura 21 - Home da página da ferramenta.....	53
Figura 22 - Mensagem de erro por deixar nome em branco.....	54
Figura 23 - Página da ferramenta híbrida FUCOM-RAFSI .....	54
Figura 24 - Inserção dos dados dos critérios .....	55
Figura 25 - Rresumo dos dados inseridos .....	55
Figura 26 - Mensagem de erro informando que o valor está fora do intervalo .....	56
Figura 27 - Botão de “Ranking Final das Alternativas e Pesos dos Critérios” será habilitado .....	56
Figura 28 - Pesos dos critérios e desvio da consistência total (DFC) .....	57
Figura 29 - Gráfico dos pesos dos critérios calculados .....	57
Figura 30 - Ranking das alternativas ( $V(A_i)$ ).....	58
Figura 31 - Botões para mostrar e ocultar resultados .....	58
Figura 32 -Etapas da metodologia aplicada .....	60
Figura 33 - Mapa Cognitivo .....	65
Figura 34 - Grafo de decisão .....	66
Figura 35 - Árvore de decisão .....	70
Figura 36 - Inserção das alternativas e dos critérios .....	78
Figura 37 - Comparação par a par dos critérios com o critério C1 .....	79
Figura 38 - Prioridade comparativa entre os critérios observados .....	79
Figura 39 - Relação dos coeficientes de peso.....	80
Figura 40 - Coeficientes de peso para satisfazer a condição de transitividade matemática .....	80
Figura 41 - Pesos dos critérios e DFC.....	81
Figura 42 - Gráfico dos pesos dos critérios calculados .....	81
Figura 43 - Matriz de decisão.....	82
Figura 44 - Tipos de critérios, valores ideiais e anti-ideiais e pesos dos critérios.....	82
Figura 45 - Definição de $n_1$ e $n_2k$ .....	83
Figura 46 - Mapeamento da matriz de decisão em intervalos - matriz de decisão padronizada .....	83
Figura 47 -Normalização da matriz de decisão padronizada.....	84
Figura 48 - Ordenação das alternativas ( $V(A_i)$ ).....	85
Figura 49 - Ordenação retirando a alternativa A4: Aquitaine .....	86
Figura 50 - Ordenação retirando a alternativa A4: Alvaro de Bazan da Espanha.....	87
Figura 51 - Ordenação inserindo a alternativa A8: LCF .....	88

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Trabalhos mais relevantes na área (sem limitação de anos, de 2000 até 2024).....	16
Quadro 2 - Artigos híbridos encontrados na literatura .....	27
Quadro 3 - Proposta do método FUCOM e suas novas abordagens .....	28
Quadro 4 - Artigos híbridos encontrados na literatura .....	38
Quadro 5 - Proposta do método RAFSI e suas novas abordagens .....	40
Quadro 6 - Áreas de Decisão e seus rótulos.....	66
Quadro 7 - Áreas e opções de decisão.....	67
Quadro 8 - Áreas de comparação .....	70
Quadro 9 - Quadro comparativa dos parâmetros navios escoltas moderno .....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Documentos sobre assuntos de meios operativos na área militar .....	13
Tabela 2 - Publicações por periódicos.....	14
Tabela 3 - Periódicos de maior impacto de acordo com o Índice H e G. ....	15
Tabela 4 - Artigos, Índice H e Índice g dos autores .....	17
Tabela 5 - Métodos mais utilizados na área de pesquisa.....	18
Tabela 6 - Documentos por afiliação .....	19
Tabela 7 - Documentos por método .....	22
Tabela 8 - Documentos por afiliação .....	23
Tabela 9 - Autores relacionados com a área pesquisada .....	24
Tabela 10 - Fontes mais relevantes .....	31
Tabela 11 - Índice H das fontes mais relevantes.....	31
Tabela 12 - Índice H dos 20 autores mais relevantes .....	32
Tabela 13 - Índice G dos 20 autores mais relevantes .....	33
Tabela 14 - Publicações do método por autores.....	33
Tabela 15 - Fontes mais relevantes .....	41
Tabela 16 - Índice H das fontes mais relevantes.....	42
Tabela 17 - Índice H dos 17 autores mais relevantes do método RAFSI.....	42
Tabela 18 - Índice G dos 17 autores mais relevantes .....	43
Tabela 19 - Publicações do método por autores.....	43
Tabela 20 - Classificação das áreas de comparação.....	71
Tabela 21 - Comparação par a par dos critérios com o critério C1 .....	78
Tabela 22 - Pesos dos critérios.....	80
Tabela 23 - Mapeamento da matriz de decisão em intervalos - matriz de decisão padronizada.....	83
Tabela 24 - Normalização da matriz de decisão padronizada .....	84
Tabela 25 - Ordenação das alternativas.....	84
Tabela 26 - Ordenação retirando a alternativa A4: Aquitaine.....	86
Tabela 27 - Ordenação retirando a alternativa A4: Alvaro de Bazan da Espanha .....	87
Tabela 28 - Característica da alternativa A8 .....	88
Tabela 29 - Ordenação inserindo a alternativa A8: LCF.....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAeW	Anti-surface warfare
AHP	Analytic Hierarchy Process
AMD	Apoio Multicritério à Decisão
ANP	Analytic Network Process
ARAS	Additive Ratio Assessment
ASuW	Anti-submarine warfare
BWM	Best-worst method
CNGF	Common New Generation Frigate
CODAG	Combined Diesel and Gas
CODLAG	Combined Diesel Electric and Gas
CODOG	Combined Diesel or Gas
COPRAS	Complex Proportional Assessment
CRAN	Comprehensive R Archive Network
CRITIC	Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation
EAMR	<i>Evaluation by an Area-based Method of Ranking</i>
ELECTRE	Elimination and Choice Expressing Reality
EDAS	Evaluation based on Distance from Average Solution
END	Estratégia Nacional de Defesa
FA	Forças Armadas
FREMM	Fragata Europeia Multi-Missão
HE	Helicóptero
IME	Instituto Militar de Engenharia
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
ISR	Inteligência Vigilância e Reconhecimento
LCV	Veículos de combate terrestre
LSP	Pontuação de preferências
MABAC	<i>Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison</i>
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MARCOS	<i>Measurement Alternatives And Ranking According To Compromise Solution</i>
MCDA	Análise de Decisão Multicritério

MCDM	<i>Multiple-Criteria Decision Making</i>
MB	Marinha do Brasil
MPSI	Modified Preference Selection Index
MSA	Míssil Superfície Ar
MSS	Míssil Superfície Superfície
NAsh	Navio de assistência hospitalar
PIB	Produto Interno Bruto
PIV	<i>Proximity Indexed Value</i>
PND	Política Nacional de Defesa
PN	Poder Naval
PEG	<i>Pareto-Edgeworth Grierson</i>
PO	Pesquisa Operacional
PROANTAR	Programa Antártico Brasileiro
PPA	<i>Pattugliatore Polivalente d'Altura</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i>
PrOPPAGA	Presunção de Atitude Gaussiana de Alternativas
PSM	Problem Structuring Methods
RAFSI	<i>Ranking of Alternatives through Functional Mapping of Criterion Sub-intervals Into a Single Interval</i>
SAPEVO-M	Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors
SAW	<i>Simple Additive Weighting</i>
SBPO	Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional
SCA	<i>Structuring Criteria Analysis</i>
SCOPUS	Base de dados
SPOTIS	<i>Rank Reversal Free Method for Multi-Criteria Decision-Making Support</i>
SODA	<i>Strategic Options Development and Analysis</i>
SSM	<i>Soft Systems Methodology</i>
THOR	Algoritmo Híbrido de Apoio Multicritério à Decisão para Processos Decisórios com Alternativas Discretas
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
UFF	Universidade Federal Fluminense
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
UE	<i>Uncertainty about the working environment</i>

UR	<i>Uncertainty about related decisions</i>
UV	<i>Uncertainty about guiding values</i>
VANTs	Veículos aéreos não tripulados
VFT	<i>Value Focused Thinking</i>
VIKOR	<i>Višekriterijska Optimizacija Kompromisno Rješenje</i>
WASPAS	<i>Weighted Aggregated Sum Product Assessment</i>
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$	Alpha
$\beta$	Beta
$\delta$	Delta
$\Phi$	Fi
$\varphi$	Fi
$\gamma$	Gamma
$\forall w$	Para todo peso

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2. JUSTIFICATIVA .....	2
1.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	3
1.4. OBJETIVOS GERAL .....	6
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.6. CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS.....	7
1.7. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	8
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>9</b>
2.1 APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO .....	9
2.2 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO EM SELEÇÃO DE MEIOS OPERATIVOS EM AMBIENTE MILITAR.....	10
2.1.1 Mapeamento do Estado da Arte.....	12
2.1.2 Resultados e análises .....	13
2.3 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DE APLICAÇÃO DE PSM EM PROBLEMAS MILITARES .....	20
2.3.1 Mapeamento do Estado da arte.....	22
2.3.2 Resultados e análises .....	22
2.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO MÉTODO FUCOM.....	25
2.4.1 Mapeamento do estado da arte .....	26
2.4.2 Resultados e análises .....	27
2.5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO MÉTODO RAFSI.....	35
2.5.1 Mapeamento do estado da arte .....	37
2.5.2 Resultados e análises .....	38
2.6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO MÉTODO FUCOM-RAFSI .....	45
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>47</b>
3.1 <i>STRATEGIC CHOICE APPROACH</i> .....	47
3.2 MÉTODO FUCOM.....	48
3.3 MÉTODO RAFSI .....	50
3.4 FERRAMENTA COMPUTACIONAL DO MÉTODO FUCOM-RAFSI .....	51

3.4.1	R <i>Version</i> .....	52
3.4.2	Descrição da Ferramenta e Aplicação .....	52
3.5	NAVIO ESCOLTA.....	58
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>60</b>
4.1	ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA .....	64
4.1.1	Aplicação do SCA ( <i>Strategic Choice Approach</i> ) .....	64
4.1.1.1	<i>Modo de Modelagem</i> .....	65
4.1.1.2	<i>Modo Designing</i> .....	66
4.1.1.3	<i>Modo comparação</i> .....	70
4.1.1.4	<i>Modo de escolha</i> .....	71
4.2	AValiação pelo método FUCOM-RAFSI.....	72
4.2.1	Levantamento dos critérios.....	73
4.2.2	Levantamento das alternativas.....	74
4.2.3	Aplicação do método FUCOM-RAFSI .....	77
4.3	VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE .....	85
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>90</b>
5.1	RESULTADOS ESPERADOS E DISCUSSÃO .....	90
5.2	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS .....	91
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>93</b>
	<b>APÊNDICE A – CONTRIBUIÇÕES PARA A PESQUISA.....</b>	<b>108</b>
	<b>APÊNDICE B– CÓDIGOS EM R STUDIO DA AXIOMÁTICA DO METODO FUCOM .....</b>	<b>110</b>
	<b>APÊNDICE C–CÓDIGOS EM R STUDIO DA AXIOMÁTICA DO METODO RAFSI .....</b>	<b>112</b>
	<b>APÊNDICE D– QUESTIONÁRIO PARA VALIDAR DADOS TÉCNICOS PARA APLICAÇÃO DO SCA. ....</b>	<b>114</b>
	<b>APÊNDICE E– QUESTIONÁRIO PARA VALIDAR CRITÉRIOS E</b>	

**ALTERNATIVAS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO FUCOM-RAFSI..... 119**

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, o litoral brasileiro é uma das principais fontes de riqueza do país, gerando aproximadamente R\$ 2 trilhões em transações comerciais anuais, o que representa 19% do Produto Interno Bruto (PIB). As principais atividades relacionadas ao litoral incluem a produção de petróleo e gás natural, transporte marítimo, indústria naval, turismo e pesca (Marinha do Brasil, 2021). A importância estratégica dessa região é evidente, pois cerca de 93% das reservas de petróleo e 75% das de gás natural estão localizadas no mar, por onde transita mais de 95% do comércio exterior do Brasil (Marinha do Brasil, 2017).

Toda essa região marítima está inserida na Amazônia Azul, que, conforme a Marinha do Brasil (2022a), inclui não apenas as águas, mas também as áreas subjacentes ao leito do mar, solo e subsolo, até o limite da Plataforma Continental Brasileira. A Amazônia Azul deve ser vista sob as perspectivas econômica, científica, ambiental e de soberania nacional.

Esse território marítimo abrange além da Plataforma Continental, a Zona Econômica Exclusiva (ZEE), estendendo-se por aproximadamente 350 milhas náuticas (563,27 quilômetros) (Marinha do Brasil, 2017). Nesse contexto, a Marinha do Brasil (MB) possui a missão constitucional de defender a Pátria, garantir a manutenção dos poderes constitucionais e, quando necessário, atuar na defesa da lei e da ordem, protegendo a Amazônia Azul (Brasil, 2020).

Para cumprir essa missão, a Estratégia Nacional de Defesa (END) estabelece que o Poder Naval deve ser preparado e empregado de maneira a alcançar os objetivos da Política Nacional de Defesa (PND). Assim, a MB tem a responsabilidade de preparar e utilizar suas forças para identificar, neutralizar e responder a ameaças (Brasil, 2017). Além disso, o Poder Naval inclui o controle de áreas marítimas, negação do uso do mar pelo inimigo, projeção de poder sobre terra e contribuição para a dissuasão. A tarefa de negação do uso do mar, em particular, consiste em impedir que o inimigo estabeleça o controle das áreas marítimas ou explore esse controle, por meio da destruição ou neutralização de suas forças navais, ataque a linhas de comunicação marítima e pontos de apoio (Brasil, 2017).

Para garantir a eficácia da função da negação do mar, o Brasil deve contar com uma Força Naval composta por meios aéreos, de superfície e submarinos. Conforme a PND e a END, a MB precisa manter uma frota de superfície composta por navios de grande porte, capazes de operar por longos períodos em alto-mar (Brasil, 2017).

Para manter essa frota de superfície, é essencial tomar decisões estratégicas sobre a aquisição, modernização, revitalização ou construção de navios, levando em consideração a complexidade do contexto e as limitações financeiras, num cenário de incertezas. Segundo Cinelli *et al.* (2020), a tomada de decisão é uma tarefa multifacetada, que envolve múltiplas perspectivas, restrições e variáveis.

De acordo com Gomes e Gomes (2019), o processo decisório é influenciado pelos valores dos tomadores de decisão, que têm o poder de ratificar as escolhas e a responsabilidade de assumir suas consequências. Esses autores ressaltam que tais avaliações precisam ser dinâmicas, já que o cenário pode mudar com o surgimento de novas informações. Além disso, pressupõe-se que os decisores sejam racionais e coerentes, capazes de expressar claramente suas preferências, sobretudo em cenários de decisão simples.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

A justificativa para o desenvolvimento desta pesquisa foi fundamentada na necessidade da Marinha do Brasil (MB) de obter navios escolta que atendam às suas funções operativas, seja por meio de aquisição, construção, revitalização ou modernização. Essa necessidade se intensifica devido à atual defasagem da frota da MB e à importância de uma análise estruturada na definição da melhor solução para suas demandas operacionais. No início dos anos 2000, a MB operava 18 navios escolta; atualmente, esse número caiu para apenas 8, dos quais muitos estão próximos do fim de sua vida útil, sendo que até 2028, apenas dois desses navios permanecerão operacionais, com exceção da corveta Barroso, que entrou em operação em 2008. Essa redução impacta diretamente a prontidão operativa da Esquadra e a capacidade de resposta da MB diante de ameaças e emergências marítimas.

Para apoiar esse processo decisório, foi aplicada uma abordagem de apoio multicritério à decisão (AMD) combinada com o método de estruturação de problema *Structuring Criteria Analysis* (SCA), permitindo a ordenação das alternativas conforme critérios estratégicos.

Uma revisão bibliométrica realizada nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* revelou uma lacuna significativa na aplicação de métodos como *Full Consistency Method* (FUCOM) e *Ranking of Alternatives through Functional Mapping of Criterion Sub-intervals Into a Single Interval* (RAFSI) na América Latina. Para Vanzetta, Gomes e Santos (2023a) apenas uma publicação foi identificada no Brasil e uma no Chile utilizando o método FUCOM, evidenciando um potencial inexplorado para aprofundar estudos sobre esse método na região. Já para o método RAFSI, não foi identificado nenhum documento relacionado na América

Latina, destacando a oportunidade para conduzir pesquisas inéditas sobre sua aplicação na região (Vanzetta; Gomes; Santos, 2023b).

Além disso, para Vanzetta, Gomes e Santos (2024a) ao realizar uma análise bibliométrica dos métodos de apoio multicritério à decisão aplicados à seleção de meios operativos em ambientes militares, observou-se que há um predomínio significativo dos métodos AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*). Essa predominância aponta para uma lacuna no uso de novos métodos de decisão, como FUCOM e RAFSI, na escolha de meios militares, que têm potencial para oferecer soluções robustas e eficientes.

Outro aspecto importante a ser destacado é que o método SCA (*Structuring Criteria Analysis*), amplamente utilizado para estruturar problemas complexos em outras áreas, ainda não foi aplicado na estruturação de problemas militares Vanzetta *et al.* (2024g). Sua utilização poderia aprimorar como as opções de seleção são organizadas e priorizadas, trazendo maior clareza e consistência às decisões estratégicas relacionadas à obtenção de navios escolta.

Em termos práticos, a MB enfrenta desafios operacionais reais e imediatos. A defasagem dos navios escolta compromete sua capacidade defensiva e controle das vastas áreas marítimas sob sua responsabilidade, conhecidas como Amazônia Azul. A revitalização/modernização de meios existentes ou a aquisição/construção de novos navios de escolta são questões cruciais para a manutenção da soberania nacional e da segurança das atividades econômicas ligadas ao mar, como a exploração de petróleo e gás, o transporte marítimo e a prevenção de atividades ilegais.

Dessa forma, a pesquisa proposta não só abordou uma necessidade concreta da MB, como também contribui para o avanço científico ao explorar métodos de apoio multicritério à decisão relativamente novos na América Latina, que podem se mostrar mais adequados para a realidade e os desafios enfrentados pelas Forças Armadas do Brasil. Além disso, ao combinar esses métodos com o SCA, a dissertação buscou oferecer uma abordagem inovadora para o processo decisório na seleção de meios operativos militares.

### 1.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

De acordo com Mohriak (2003), o Brasil é um país com uma das maiores extensões de margem continental do mundo, com isso a existência dessa vasta extensão torna-se um problema real à MB.

Para operar nessa vasta região a MB, inicialmente, o Plano de Articulação e Equipamento da Marinha do Brasil (PAEMB) de 2009 previa a aquisição de 30 navios-escolta

até a década de 2030, como parte da modernização da Esquadra. No entanto, devido a restrições orçamentárias e reavaliações estratégicas, esse número foi reduzido para 20, com a previsão de incorporar 10 fragatas da classe Tamandaré. (Naval, 2022). Paralelamente Gomes *et al.*, (2021) aponta que o mínimo necessário para atender às demandas operacionais da Marinha do Brasil seria de 18 navios escolta.

Entretanto, possui uma frota subdimensionada de navios de escolta, muitos dos quais estão chegando ao fim de sua vida útil, resultando no descumprimento dos requisitos mínimos da força naval, diminuindo a capacidade operacional e acumulando demandas de diversas ordens, devido às sucessivas restrições orçamentárias (Fuoco, 2018). Hoje possui somente 8, sendo 5 Fragatas Classe “Niterói”, 2 Fragatas Classe “Greenhalgh”, 1 Corveta Classe “Inhaúma”, 1 Corveta Classe “Barroso” (Filho, 2021). As Fragatas Classe "Niterói" foram introduzidas entre o final da década de 1970 e início de 1980 e foram desenvolvidas para missões de patrulha e defesa marítima. Atualmente, a Marinha mantém cinco unidades ativas: Defensora (F41), Constituição (F42), Liberal (F43), Independência (F44) e União (F45) (Marinha do Brasil, 2025). As Fragatas Classe "Greenhalgh" são originárias da classe britânica *Type 22* e foram incorporadas à MB na década de 1990. A única unidade ainda em serviço é a Rademaker (F49) (Marinha do Brasil, 2025). As Corvetas Classe "Inhaúma" foram desenvolvidas a partir de 1977 e foram projetadas para substituir navios mais antigos e reforçar a patrulha oceânica. A única unidade remanescente em operação é a Júlio de Noronha (V32) (Marinha do Brasil, 2025) e a Corveta Classe "Barroso" é baseada no projeto da classe "Inhaúma, sendo incorporada em 2008. Este navio representa uma evolução em termos de design e capacidades em relação às corvetas anteriores (Marinha do Brasil, 2025).

A MB necessitará obter navios para manter o aprestamento da Esquadra, bem como o adestramento de toda a sua estrutura operativa, até a entrada em serviço das fragatas classe “Tamandaré” (Tenório *et al.*, 2020), que serão um total de 4 fragatas com a primeira a ser entregue no final de 2025 e o restante até o final 2029 (Agência Brasil, 2024). Adicionalmente, pode haver atraso, como a Corveta Barroso, por exemplo, que levou cerca de 14 anos para ficar pronta, devido à falta de recursos para terminá-la (Santos; Costa; Gomes, 2021).

A frota subdimensionada da MB também se evidencia na comparação com outras forças navais do mundo como demonstrado no levantamento realizado pelo *Global Firepower* (GFP). De acordo com Almeida e Cabral (2018), o GFP é a principal agência de classificação nesse tema. Em 2024, o Brasil foi listado como a 23ª maior força naval do mundo entre 145 países (*Global Firepower*, 2024a). No contexto da América Latina, o Brasil ocupa uma posição inferior à da Colômbia, que está em 12º lugar no ranking, apesar de possuir uma faixa litorânea

de 3.208 km, consideravelmente menor que a do Brasil, com 7.491 km. Mesmo assim a Marinha da Colômbia possui o número de 11 navios escolta operando contra 8 do Brasil. (*Global Firepower*, 2024b). Isso se deve a Marinha da Colômbia ter se destacado na apreensão de substâncias ilícitas, com parte significativa dessas operações sendo realizadas em cooperação com os EUA (Diálogo Americas, 2023). Essa parceria tem resultado em operações conjuntas e no fortalecimento das capacidades navais colombianas para enfrentar atividades ilícitas em suas águas territoriais (Capitalist, 2025).

Se compararmos o Brasil com outras marinhas da América Latina em termos de número total de embarcações, a Marinha do Brasil (MB) possui 134 navios, ficando atrás da Colômbia, que tem 237 unidades. Outros países da região possuem frotas menores, como o Chile (130 navios), Peru (69 navios), Argentina (41 navios), Venezuela (32 navios), Equador (27 navios) e Uruguai (11 navios) (*Global Firepower*, 2024a). Apesar de ser um país sem litoral, a Bolívia mantém uma força naval denominada Armada Boliviana, composta por aproximadamente 173 embarcações fluviais e lacustres, utilizadas para patrulhamento e combate ao contrabando nos rios e lagos do país.

Ao comparar a MB com as maiores forças navais do mundo, a diferença torna-se ainda mais expressiva. Em 2024, a Marinha da China lidera o ranking global com 730 navios, seguida pelos Estados Unidos, com 484 unidades, e pela Rússia, que possui 598 embarcações. No contexto latino-americano, a disparidade entre o Brasil e as principais potências marítimas mundiais evidencia as limitações da MB em termos de meios navais disponíveis para defesa e projeção de poder (*Global Firepower*, 2024a).

Além disso, as contínuas restrições orçamentárias têm gerado impactos negativos, como a redução na manutenção dos navios, diminuição dos estoques de peças de reposição e perda de qualificação e treinamento do pessoal. Esses fatores comprometem a capacidade da MB de proteger os campos marítimos de petróleo e gás, combater a poluição marinha, prevenir a pesca ilegal e controlar outras atividades ilícitas no mar e nas águas interiores (Santos; Costa; Gomes, 2021).

De acordo com Silva *et al.* (2014), a tomada de decisão em ambientes militares está cada vez mais complexa e influenciada por diversos fatores, recursos limitados, variáveis tangíveis e intangíveis no processo decisório e a velocidade de interação entre eles, alterando-se continuamente devido aos cenários de risco e incerteza.

Uma dessas tomadas de decisões complexas é que a MB faça "compras de oportunidade" (compra de navios usados no exterior para preencher as lacunas operacionais), construa novas

embarcações assim como selecionar qual navio adquirir (Tenório et al. 2020), ou ainda se pode revitalizar navios em fim da vida útil.

Para Gomes e Gomes (2019), os métodos de apoio multicritério à decisão (AMD) são técnicas de assessoramento ao agente decisor para a tomada de decisões sobre problemas complexos, selecionando, avaliando ou ordenando alternativas mediante diferentes pontos de vista e dentro de critérios pré-estabelecido.

O problema da escolha de um método adequado de determinação dos pesos dos critérios em problemas de tomada de decisão multicritério é uma etapa muito importante e problemas reais não costumam ter critérios do mesmo grau de significância. Por conseguinte, é necessário que a importância de determinados critérios seja definida utilizando coeficientes de peso adequados para os critérios. (Pamučar; Stević; Sremac, 2018).

De acordo com Žižović *et al.* (2020), um dos problemas mais importantes que ocorrem na maioria dos métodos AMD com determinadas preferências é a falta de resistência a problemas de inversão de classificação que são alterações inesperadas na classificação de alternativas quando qualquer alternativa não ótima é adicionada ou excluída do conjunto existente de alternativas, isso indica sérios problemas matemáticos nos métodos AMD aplicados.

Existem diversos modelos de navios escoltas já utilizadas pelas Forças Armadas em diversos países para realizar uma compra de oportunidade, modelos para construir, podendo ter uma abundância de critérios para seleção, tendo um esforço cognitivo muito grande para o decisor para avaliar a significância de cada critério em relação ao outro, além disso, novos navios estão em desenvolvimento e políticas sendo alteradas, podendo ser incluídos na análise novas alternativas, podendo gerar alteração na classificação. Seria possível utilizar métodos para escolha de um navio escolta para a MB, que reduzissem o esforço cognitivo para comparação entre significância entre critérios para o decisor e mantivesse a classificação mesmo com a inserção ou exclusão de alternativas para escolha de um navio escolta para a Marinha do Brasil?

#### 1.4. OBJETIVOS GERAL

O objetivo geral da pesquisa foi desenvolver a modelagem matemático-computacional de um método híbrido de Análise Multicritério de Decisão, utilizando um novo método de atribuição de pesos de critérios, o FUCOM e um novo método para gerar a ordenação das alternativas, o RAFSI para tornar a decisão mais assertiva.

### 1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar na literatura a utilização de métodos multicritério na seleção de meios operativos em ambiente militares que possam auxiliar na abordagem do problema, dos métodos AMD utilizados e na definição dos critérios de decisão;
- b) Realizar uma revisão bibliográfica do método FUCOM;
- c) Realizar uma revisão bibliográfica do método RAFSI;
- d) Desenvolver uma ferramenta computacional com versão web do modelo proposto, gratuita, intuitiva e de fácil utilização, visando tornar mais versátil, acessível para operacionalizar a aplicação do método além de pacotes em linguagem aberta no *Comprehensive R Archive Network* (CRAN); e
- e) Auxiliar a Alta Administração Naval na escolha de um navio escolta que atenda as funções esperadas.

### 1.6. CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS

Esse trabalho propôs uma modelagem para analisar e ordenar navios escoltas que atenda as necessidades funcionais da MB e contribuiu com a Alta Administração Naval, apresentando uma ordenação capaz de apoiar o tomador de decisão no momento de realizar a escolha do melhor navio para uma futura aquisição por “oportunidade planejada”, ou seja, compra de navios no usados exterior para preencher a lacuna operacionais.

A modelagem proposta, em conjunto com a plataforma computacional desenvolvida em linguagem R version 4.2.3, buscou atuar no sentido de proporcionar uma ferramenta de apoio multicritério à decisão, gratuita, possibilitando ao decisor, uma estruturação mais transparente e assertiva em seus processos decisórios.

Outra contribuição foi a oferta da modelagem computacional de um método de apoio multicritério à decisão no estado da arte para o processo de avaliação do desempenho das alternativas. Ampliando o horizonte da sua capacidade de atuação, a metodologia também poderá ser utilizada associada a outros métodos, auxiliando no desenvolvimento do campo da pesquisa operacional.

A partir das revisões bibliográficas, foram produzidos e submetidos artigos científicos em periódicos e simpósios nacionais como o “Revisão Bibliográfica do Método *Full Consistency Method* (FUCOM)” (Vanzetta, Gomes, Santos, 2023b) no Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) assim como em periódicos internacionais indexados na base *Scopus*, como a “*Bibliometric Studies of Ranking of Alternatives Through Functional Mapping of Criterion Sub-Intervals Into a Single Interval (RAFSI) Method*” (Vanzetta et al.,

2023 a) e “*Bibliometric study on multicriteria decision analysis (MCDA) applied to the selection of operational means in a military environment*” (Vanzetta et al., 2024 a) no *Procedia Computer Science*.

Como forma de contribuição para a sociedade acadêmica, foi realizada a publicação com o modelo proposto, com o auxílio da aplicação da ferramenta computacional apresentada, em periódico e simpósio nacional como o “Utilização do Método Híbrido Fucom-Rafsi para Escolha de Navio Escolta para a Marinha do Brasil” no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO). Ademais, foram disponibilizados pacotes em linguagem aberta no CRAN.

## 1.7. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O estudo é dividido em cinco capítulos, sendo este destinado à introdução, justificativa e contextualização do problema a ser tratado no trabalho.

O capítulo dois apresenta as aplicações de AMD na seleção de meios operativos no campo militar, mapeando o estado da arte dessas temáticas e identificando tendências, para nortear a pesquisa desta dissertação. Também apresenta uma revisão bibliográfica do método FUCOM e do método RAFSI, assim como métodos de estruturação de problemas militares para identificar lacunas para aplicações dos métodos.

O capítulo três teve como objetivo de demonstrar a fundamentação teórica necessária para desenvolvimento da pesquisa, sendo apresentado o método SCA, a descrição detalhada da axiomática dos métodos FUCOM e RAFSI, bem como a plataforma computacional do método FUCOM-RAFSI Web desenvolvida.

No capítulo é demonstrado as metodologias utilizadas para estruturar o problema com o método SCA, a definição das alternativas e critérios, estudo de caso com a proposição da escolha de navio de escolta para a Marinha do Brasil utilizando o método híbrido FUCOM-RAFSI e os resultados alcançados.

No capítulo cinco, por fim, foram apresentadas as considerações finais da dissertação. Adicionalmente, foi apresentado uma proposição de pesquisas futuras.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo foram abordados assuntos sobre a revisão da literatura pertinentes para a elaboração da pesquisa desenvolvida neste trabalho. O capítulo foi dividido em quatro seções a fim de indicar de forma organizada e concreta do conjunto de abordagens factíveis ao entendimento do trabalho, sendo elas: uma breve introdução sobre AMD, aplicações de AMD para escolha de meios operativos em ambiente militar, métodos de estruturação de problemas militares, revisão bibliográfica do método RAFSI, revisão bibliográfica do método FUCOM e o levantamento na bibliografia da junção do método FUCOM com o método RAFSI.

### 2.1 APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

Segundo Gomes *et al.* (2011), o AMD, em inglês *Multiple-Criteria Decision Making* (MCDM) ou MCDA (*multiple criteria decision aiding*), pode ser definido como a atividade baseada em modelos que ajudam na obtenção de elementos de resposta às questões de um agente decisor no decorrer de um processo, onde cada elemento visa esclarecer a decisão.

Para Pansari e Kumar (2017), trata-se de um ramo da Pesquisa Operacional (PO) que busca otimizar os resultados, auxiliando os tomadores de decisão quando várias alternativas são avaliadas por múltiplos critérios, indicadores e objetivos, que são muitas vezes conflitantes entre si. Além disso, os AMD foram utilizados em diversos cenários complexos (Vanzetta *et al.* 2024b).

Nos métodos de apoio à tomada de decisão, um dos passos mais importantes é o cálculo dos pesos dos critérios, que, conforme Lima *et al.* (2015), representam a importância relativa de cada restrição, influenciando diretamente o resultado final.

A maioria dos autores sugere a classificação dos modelos de determinar os pesos dos critérios em modelos subjetivos e objetivos (Zavadskas *et al.*, 2016).

Em uma abordagem subjetiva, o tomador de decisão ou especialistas dão sua opinião sobre o significado de critérios para um determinado processo de tomada de decisão de acordo com seu sistema de preferências. Existem muitas maneiras de obter os pesos dos critérios aplicando uma abordagem subjetiva, que pode variar na número de participantes no processo de ponderação, os métodos aplicados e a formação dos pesos dos critérios. As abordagens subjetivas são baseadas principalmente nas comparações de critérios pareados ou a classificação dos critérios. (Pamučar; Stević; Sremac, 2018).

As abordagens objetivas baseiam-se na determinação dos pesos dos critérios com base nas informações contidas em uma matriz de tomada de decisão aplicando determinados Modelos. As abordagens objetivas negligenciam a opinião do tomador de decisão (Pamučar;

Stević; Sremac, 2018). Para Bahrami e Rastegar (2022), métodos com abordagem objetiva não precisa da presença de especialistas. Esses métodos podem ser útil quando os julgamentos dos especialistas não estão disponíveis ou há grande discordância nos *insights* dos especialistas. Embora promovam maior imparcialidade, podem não captar nuances importantes que especialistas identificariam, especialmente em contextos complexos como o militar.

Então a escolha entre abordagens subjetivas e objetivas na análise multicritério depende do contexto da decisão. No caso da escolha de um navio militar onde foram disponibilizados especialistas para hierarquizar os critérios e teve um consenso entre eles foi utilizada a abordagem subjetiva.

## 2.2 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO EM SELEÇÃO DE MEIOS OPERATIVOS EM AMBIENTE MILITAR

A revisão bibliográfica realizada nessa seção foi aceita com um artigo no congresso internacional ITQM 2024 e uma extensão do mesmo artigo no congresso nacional ENEGEP 2024, conforme como descrito no Apêndice A.

Foi utilizado o conceito de *Webibliomining*, adaptada do modelo proposto por Costa (2016), utilizando a definição da amostra da pesquisa, pesquisa na amostra, com as palavras-chave, identificação dos periódicos com maior número de artigos publicados sobre o tema, identificação dos autores com maior número de publicações, levantamento da cronologia da produção, identificando “ciclos de maior produção. Os filtros utilizado serão apresentados na subseção 2.1.1.

Em uma grande variedade de situações da vida real, torna-se necessário avaliar um conjunto de alternativas por um conjunto de critérios. Nesse sentido, a tomada de decisões em um contexto militar não é uma exceção. (Sánchez-Lozano *et al.*, 2022).

Segundo Van Hoan e Ha (2020), a aplicação dos métodos multicritério de tomada de decisão nas Forças Armadas é importante porque a tomada de decisão precisa é o fator decisivo para o sucesso e pode reduzir gastos e aumentar a capacidade de defesa.

Para Hamurcu e Eren (2020), os métodos multicritério nas questões militares tem grande importância no processo decisório em problemas reais que afetam diretamente a segurança e a soberania das nações. Segundo Costa *et al.* (2022) os custos envolvidos em tecnologias militares são muito altos, e uma decisão errada pode levar os países a perdas significativas, e é por isso que os métodos AMD são cada vez mais sendo aplicado em problemas militares.

A literatura acadêmica contém muitos exemplos da aplicação de AMD no campo militar e de defesa, como na escolha de veículos aéreos não tripulados (VANTs) utilizando os métodos AHP e TOPSIS (Hamurcu; Eren, 2020).

Para seleção de veículos militares, Santos e Santos (2021) utilizaram o método Presunção de Atitude Gaussiana de Alternativas (PrOPPAGA) na escolha de veículos blindados sobre rodas para a Marinha do Brasil. Araujo *et al.* (2023), realizaram a seleção de um caminhão para a Marinha do Brasil utilizando o método TOPSIS-M. Wiejak, Grzelak e Mroczek (2023), utilizaram o método AHP para escolher meios de transporte de média e alta mobilidade para as Forças Armadas Polonesas. Beliakov e Mak-Hau (2022), utilizaram o método de lógica de pontuação de preferências (LSP) para decisão com múltiplos critérios e otimização multiobjetivo em que os critérios são mutuamente dependentes para seleção de veículos de combate terrestre (LCV) para a Defesa da Austrália. Furch e Švásta (2022), utilizaram o método de Saaty para seleção de veículos destinados a aplicações militares e de salvamento para a República Tcheca. Starčević *et al.* (2019), utilizaram o AHP e Análise Envoltória de Dados (DEA) para seleção do veículo de terreno Forças Armadas da Sérvia.

Para seleção de veículos aéreos Ma (2022), utilizou um método híbrido de análise multicritério, o BWM-Fuzzy TOPSIS, para a seleção de uma aeronave de treinamento moderna para a Força Aérea Popular do Vietnã, sendo escolhido a aeronave Yak-130. Uskudar *et al.*, (2019) aplicaram o método AHP para selecionar um modelo de helicóptero de carga adequado para as Forças Armadas da Turquia, Sánchez-Lozano *et al.* (2022) utilizaram uma combinação do método AHP TOPSIS para avaliações de aeronaves internacionais de alto desempenho para fins de defesa na Colômbia. Van Hoan e Ha (2021) usaram o método FUCOM com o ARAS para selecionar uma aeronave de caça apropriada para a Força Aérea Popular do Vietnã com os resultados mostram o Su-35 como a melhor solução disponível. Moreira *et al.* (2021), utilizaram PROMETHEE-SAPEVO-M1 para avaliação de drones para apoiar a segurança pública brasileira.

Continuando na área militar, agora na seleção de navios e embarcações, Costa *et al.* (2020), aplicaram o método THOR 2, desenvolvido por Tenório *et al.* (2019) com base no THOR original de Gomes (1999). O método THOR 2 utiliza três abordagens simultâneas: Modelagem de Preferência, Teoria da Utilidade e Teoria de Multiatributo. O decisor atribui pesos que refletem a importância relativa dos critérios, além de definir limites de preferência (pj) e indiferença (qj) para cada critério, o que permite avaliar a discordância e pertinência desses pesos. O objetivo foi selecionar o navio de assistência hospitalar (NAsH) mais adequado da Marinha do Brasil para apoiar no combate à pandemia de COVID-19, sendo o NAsH

“Oswaldo Cruz” selecionado, utilizando os critérios de velocidade máxima, tripulação, raio de ação, manobrabilidade, capacidade hospitalar, paciente e evacuação. Tenório *et al.* (2020) utilizaram o método THOR com o objetivo selecionar um navio de escolta para compra, dentre oito navios utilizados no mundo para a Marinha do Brasil, utilizando os critérios velocidade máxima, raio de ação, tripulação, artilharia principal, artilharia secundária, ASuW, ASW e He. Santos *et al.* (2021), escolheram um navio de guerra de médio porte a ser construído pela Marinha do Brasil, aplicando o método AHP, utilizando os critérios de raio de ação, resistência de combustível, autonomia, canhão primário, canhão secundário, AAW, mísseis, custo inicial, custo de ciclo de vida e levando em conta três alternativas de possíveis navios. Da Costa *et al.* (2022), utilizaram o método ELECTRO-MOR para seleção de embarcações para Marinha do Brasil para serem utilizadas como hospitais móveis, visando realizar primeiros socorros e evacuação de pacientes de regiões ribeirinhas para hospitais qualificados Marinha do Brasil, utilizando 8 modelos de embarcações e 7 critérios, comprimento, velocidade máxima, autonomia, deslocamento, quantidade de pacientes e calado. Vanzetta, Gomes e Santos (2024d) utilizaram o método *Simultaneous Evaluation Of Criteria And Alternatives* (SECA) para escolha de embarcações blindadas para o Exército Brasileiro, utilizando sete alternativas e seis critérios, calado, poder de fogo, tripulação, velocidade, autonomia e carga máxima e Vanzetta, Gomes e Santos (2024e) utilizaram o método híbrido FUCOM-RAFSI para escolha de um navio escolta que atendessem funções esperadas para a MB.

### 2.1.1 Mapeamento do Estado da Arte

Para focar na utilização de métodos AMD em escolha de navios na área militar, foi realizada uma busca na base *Scopus e Web of Science*, entretanto a literatura apresenta poucos estudos nessa área, com somente onze documentos, sendo somente sete artigos encontrados.

Por isso foi realizada uma pesquisa mais ampla, buscando a utilização do AMD, assim como diversos métodos já consagrados para escolha de navios e de meios operativos dentro do campo militar.

Com a intenção de buscar os eixos temáticos, foi utilizada a base de dados *Scopus e Web of Science* para designar publicações científicas relacionadas aos métodos de apoio multicritério à decisão, sem limitação de anos, "TITLE-ABS-KEY" os nomes dos principais métodos AMD: AHP, ELECTRE, MACBETH, TOPSIS, PROMETHEE e os termos MCDM, MCDA e “*multicriteria*”, juntamente com as palavras: “*Military*”, “*Navy*”, “*Army*”, “*Air Force*”, “*war*”, “*defense*” juntamente com “*ship*”, “*boat*”, “*vehicles*”, “*plane*”, “*vessel*”. A pesquisa

foi realizada em 10 de janeiro de 2024 e retornou um total de 131 (cento e trinta e um) documentos, divididos como descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Documentos sobre assuntos de meios operativos na área militar

Tipo de Documento	Quantidade de documentos (sem limitação de anos)	Porcentagem de documentos
Artigos	61	47%
Documento de Conferências	53	40%
Revisão de Conferências	12	9%
Revisão	2	2%
Capítulo de Livro	1	1%
Retraído	1	1%
Livro	1	1%
Total	131	100%

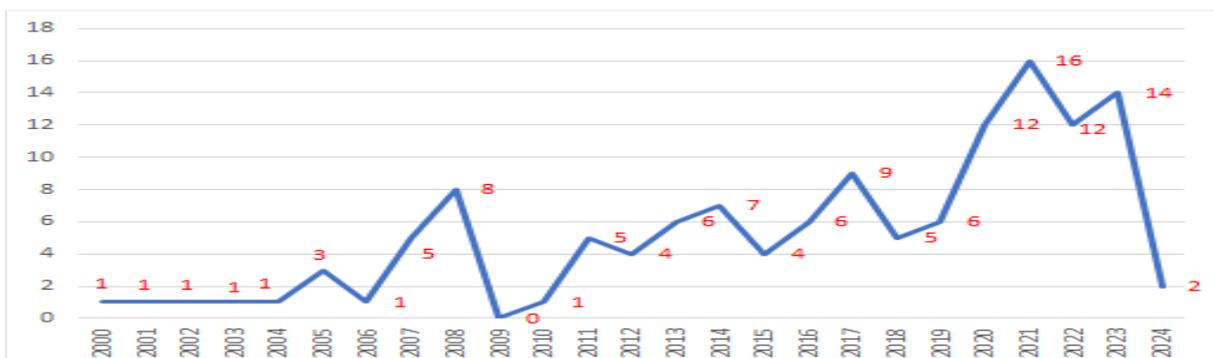
Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus (2024)

Com o intuito de obter informações relevantes, foi realizado um estudo bibliométrico abrangendo diversos aspectos, como ano de publicação, periódicos, agrupamentos de palavras-chave, autores (incluindo o Índice H e G), afiliação institucional, país/território de origem e campos de conhecimento. Para analisar os agrupamentos de palavras-chave utilizou-se o *software* Bibliometrix, uma ferramenta amplamente reconhecida por sua utilidade no mapeamento científico, conforme apontado por Aria e Cuccurullo (2017).

### 2.1.2 Resultados e análises

A Figura 1 apresenta a evolução temporal das publicações, onde se identifica uma tendência geral de crescimento das publicações relacionadas com o tema. A distribuição começou em 2000 com um documento. Ocorre um incremento das publicações, tendo como pico de aplicações em 2021, com dezesseis publicações.

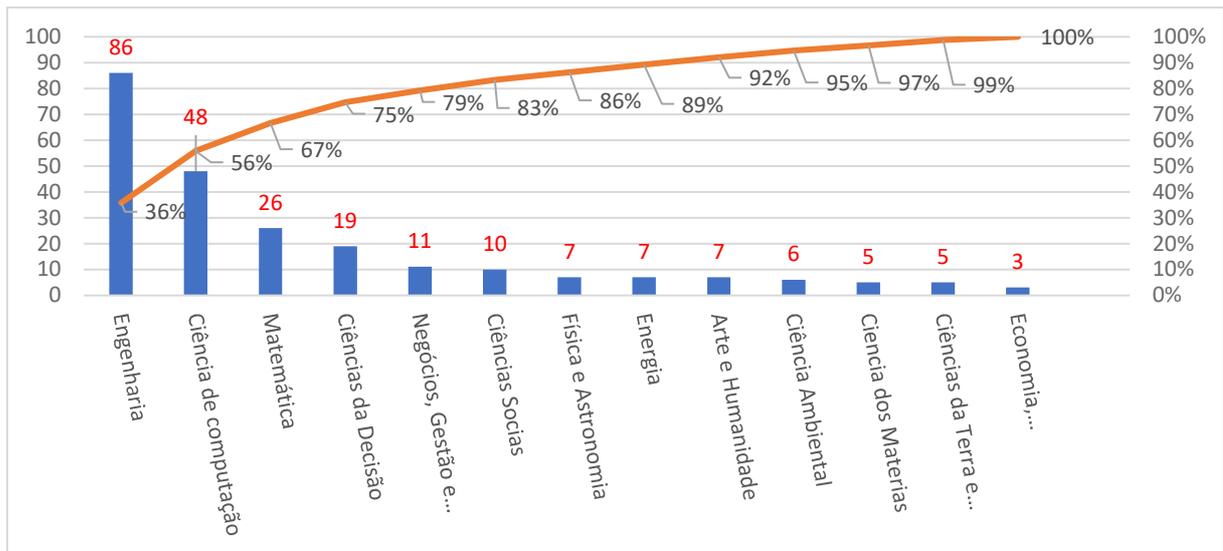
Figura 1 - Evolução do número de publicações por ano



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e pacote Bibliometrix (2024)

Após uma análise da distribuição de publicação por ano, o Pareto da Figura 2 apresenta a distribuição dessas publicações por área do conhecimento, onde existe uma concentração (67%) nas áreas de Engenharia, Ciência da Computação e Matemática.

Figura 2 - Quantidade de publicações por área



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus (2024)

Na Tabela 2 exibe a distribuição dos artigos por periódico, levando em consideração todas as publicações. Destacam-se, na área AMD na escolha de meios operativos na área militar, o periódico *Applied Mechanics and Materials* com cinco artigos publicados e o *Procedia Computer Science* com quatro artigos durante o período analisado. Em seguida, há 4 periódicos com 3 artigos publicados e 4 periódicos com 2 artigos publicados e 101 com 1 publicação cada totalizando 131. Portanto, nota-se que as publicações são distribuídas por uma grande variedade de periódicos (111 periódicos no total).

Tabela 2 - Publicações por periódicos.

Periódico	Publicações
<i>Applied Mechanics and Materials</i>	5
<i>Procedia Computer Science</i>	4
<i>Advances In Intelligent Systems and Computing</i>	3
<i>Expert Systems with Applications</i>	3
<i>Lecture Notes in Electrical Engineering</i>	3
<i>Proceedings Of Spie - The International Society for Optical Engineering</i>	3

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e pacote Bibliometrix (2024)

Muitas tentativas de avaliação de periódicos foram propostas ao longo dos anos, mas a maioria se baseava em critérios subjetivos, como a opinião de especialistas ou o prestígio institucional. No entanto, esses métodos apresentavam limitações significativas, pois não ofereciam uma métrica padronizada e quantificável, sendo pouco confiável. Por conta disso, criou-se o “Fator de Impacto”, que é um índice bibliométrico baseado em estatísticas de citações de artigos publicados nas revistas e que é uma metodologia mais aceita pela academia para avaliação de periódicos (Garfield, 2006).

A Tabela 3 apresenta a distribuição dos periódicos mais significativos com base no Índice H, levando em consideração aqueles com um Índice H igual ou superior a 2. O Índice H é uma métrica que mede o número de artigos publicados por um pesquisador que tenham recebido pelo menos o mesmo número de citações, sendo uma medida útil para avaliar a produção científica de um pesquisador (Hirsch, 2005).

Além do Índice H, o Índice G proposto por Egghe (2006), apresenta uma abordagem diferenciada para avaliação dos autores, visto que considera o maior número, de tal forma que os artigos G de topo receberam (em conjunto) pelo menos as citações  $G^2$ , onde, por exemplo, se um autor apresentar Índice G de 10 indica que as 10 principais publicações desse autor foram citadas pelo menos 100 vezes ( $10^2$ ).

Tabela 3 - Periódicos de maior impacto de acordo com o Índice H e G.

<b>Periódico</b>	<b>Índice H</b>	<b>Índice G</b>
<i>Procedia Computer Science</i>	2	4
<i>International Journal OfThe Analytic Hierarchy Process</i>	2	2
<i>Expert Systems With Applications</i>	2	2
<i>Sensors And Actuators B: Chemical</i>	2	2

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e pacote Bibliometrix (2024)

Para identificar os estudos mais relevantes na área, foram examinados os 10 artigos de maior impacto. Essa avaliação considerou tanto o número absoluto de citações quanto a média de citações por ano, conforme apresentado no Quadro 1.

Pode ser constatado que maioria dos trabalhos mais relevantes tratam da utilização de AMD para avaliação para a aquisição, manutenção ou escolha de ativos militares de alta tecnologia e alto valor, como navios e aeronaves, assim como decisões estratégicas.

Quadro 1 - Trabalhos mais relevantes na área (sem limitação de anos, de 2000 até 2024).

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Citações totais</b>	<b>Média de citações por ano</b>
Goossens and Basten, R. J. (2015)	<i>Exploring maintenance policy selection using the Analytic Hierarchy Process; An application for naval ships</i>	65	6,50
Rose-Pehrsson (2000)	<i>Multi-criteria fire detection systems using a probabilistic neural network</i>	57	2,28
Santos, Costa e Gomes (2021)	<i>Multicriteria Decision-Making The Selection Of Warships: A New Approach To The Ahp Method</i>	54	13,50
Crary, Nozick e Whitaker (2002)	<i>Sizing the US destroyer fleet</i>	44	1,91
Lin and Hung, (2011)	<i>An efficient fuzzy weighted average algorithm for the military UAV selecting under group decision-making</i>	42	3,00
De Almeida <i>et al.</i> (2020)	<i>Study of the Location of a Second Fleet for the Brazilian Navy: Structuring and Mathematical Modeling Using SAPEVO-M and VIKOR Methods</i>	40	10,00
Tenório <i>et al.</i> (2020)	<i>Navy Warship Selection and Multicriteria Analysis: The THOR Method Supporting Decision Making</i>	39	7,80
Coffey e Claudio (2021)	<i>In defense of group fuzzy AHP: A comparison of group fuzzy AHP and group AHP with confidence intervals</i>	39	9,75
Moreira <i>et al.</i> (2022)	<i>Evaluation of drones for public security: a multicriteria approach by the PROMETHEE-SAPEVO-MI systematic</i>	39	9,75
Santos e Santos. (2022)	<i>Choice of armored vehicles on wheels for the Brazilian Marine Corps using ProPPAGA</i>	37	9,25

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e pacote Bibliometrix (2024)

A próxima análise apresenta a contribuição dos principais autores relacionados, considerando 3 ou mais artigos, como mostra a Tabela 4. Dos Santos, M. tem o maior número de trabalhos publicados na área, com 7, seguido por Gomes, C.F.S. (6 publicações) e Cao T. (5 publicações). Tem mais 4 autores com 3 publicações cada, 19 autores com 2 publicações cada e 387 autores com 1 publicação cada, pode-se sugerir que a pesquisa está distribuída entre vários pesquisadores. A Tabela também mostra o Índice H e G. Dos Santos M apresentou Índice H de

5 e Índice G de 7, seguido por Gomes, CFS, com Índice H de 4 e Índice G de 6.

Tabela 4 - Artigos, Índice H e Índice g dos autores

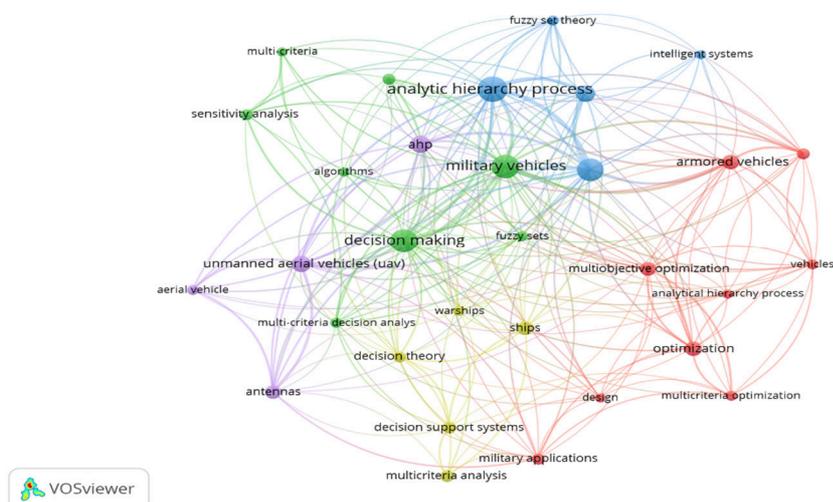
Autor	Índice H	Índice G	Artigos
Dos Santos M	5	7	7
Gomes CFS	4	6	6
Gottuk DT	3	3	3
Rose-Pehrsson SI	3	3	3
Cao T	2	4	5
De Araújo Costa Ip	2	4	4
Nguyen M-T	2	3	3

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e pacote Bibliometrix (2024)

Utilizando o *software* VOSviewer foi analisado os *clusters* de palavras-chave e a rede autoral, considerando 5 como o número mínimo de ocorrências, verificou-se que 31 de 1.288 palavras-chave atingiram esse limite. Esta ferramenta é muito útil para criar mapas, visualizar e explorar dados (Van Eck; Waltman, 2018). A Figura 3 ilustra os *clusters* de palavras-chave obtidos.

A palavra-chave "*analytic hierarchy process*" tem o maior número de ocorrências ( $o = 35$ ) e a segunda força total de vínculo ( $s = 112$ ), seguida por "*decision making*" ( $o = 31$ ,  $s = 98$ ), seguido por "*military vehicles*" ( $o = 30$ , e a primeira força total de vínculo  $s = 114$ ). Na maioria dos problemas de decisão para escolha de veículos militares foi utilizado o método AHP.

Figura 3- Cluster de palavra-chave



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e software VOSviewer (2024)

Na Tabela 5 foi analisado quais métodos foram mais utilizados para escolha de meios operativos dentro do campo militar. Analisando os resultados, observamos que o AHP é o método AMD mais utilizado em problemas de escolha de meios operativos dentro do campo militar, reforçando o que foi visto na figura 3. Foi visto que 70% das aplicações utilizam métodos compensatórios (AHP, TOPSIS) em problemas militares onde a modelagem envolve conceitos de hierarquia e estão de acordo com a cultura militar, como os métodos FUCOM e RAFSI. Essas características facilitam a análise das alternativas e critérios por militares. Além disso foi constatado uma lacuna para novos métodos.

Tabela 5 - Métodos mais utilizados na área de pesquisa

<b>Autor</b>	<b>Publicações</b>
AHP	56%
TOPSIS	14%
Fuzzy sets	11%
ELECTRE	5%
PROMETHEE	5%
SAPEVO M	2%
THOR	2%
VIKOR	2%
DEA	1%
ARAS	1%
BWM	1%
LSP	1%
WASPAS	1%
FUCOM	1%
PrOPPAGA	1%

Fonte: Elaboração própria – (2024)

A Tabela 6 mostra a distribuição dos documentos por afiliação, com 6 ou mais artigos. A Universidade Federal Fluminense ocupa o primeiro lugar com 9 documentos. Além das instituições mencionadas na tabela, existem 5 instituições com 5 publicações, 14 instituições com 4 publicações cada, 34 instituições com 3 publicações cada, 43 instituições com 2 publicações cada e 148 instituições com 1 publicação cada.

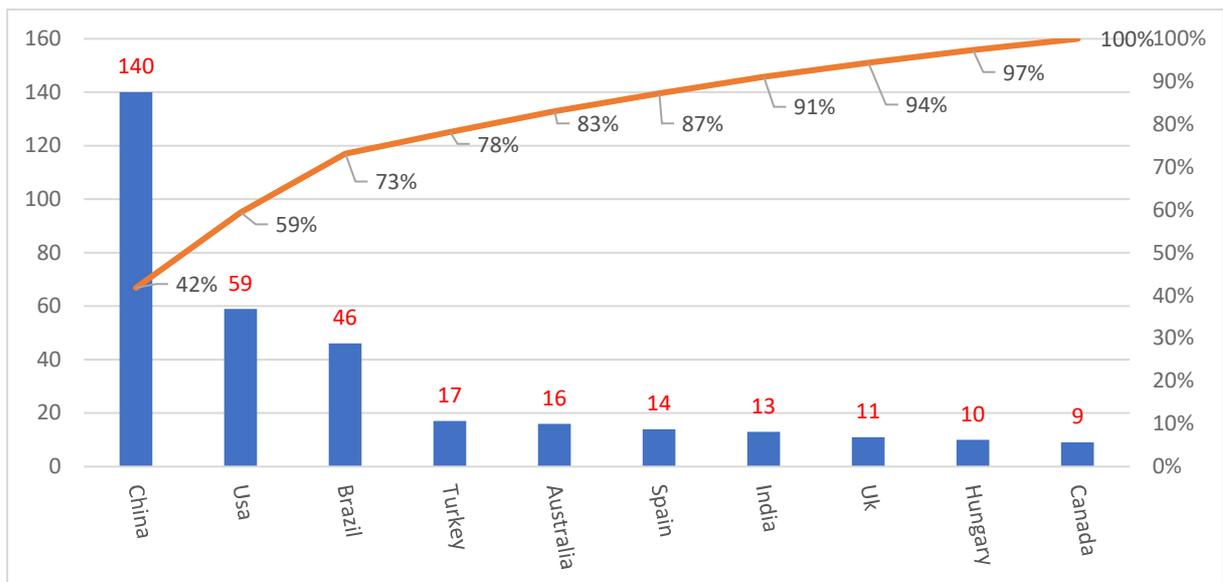
Tabela 6 - Documentos por afiliação

Afiliação	Artigo
<i>Fluminense Federal University Brazil</i>	9
<i>Beihang University Beijing China</i>	6
<i>Beijing Equipment Technology Research Institute China</i>	6
<i>College Of Intelligent System Science And Engineering Harbin Engineering University China</i>	6
<i>Industrial And Systems Engineering Wayne State University United States</i>	6

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e pacote Bibliometrix (2024)

O Pareto da Figura 4 ilustra a distribuição dos documentos por país ou território. A China lidera com um total de 140 documentos, seguida pelos Estados Unidos contribuindo com 59 artigos publicados, refletindo sua hegemonia militar, com o maior poder bélico e investimentos em tecnologias militar mundial. Essas duas nações respondem coletivamente por aproximadamente 60% de todos os documentos relacionados às aplicações do AMD na seleção de meios operacionais na ambiente militar. Para Vanzetta, Gomes e Santos (2024c) os Estados Unidos também lideram as inovações na construção naval bélica. O Brasil ocupa o terceiro lugar com 46 publicações, reforçando o destaque dos autores da Universidade Federal Fluminense como contribuintes significativos nesse campo de pesquisa.

Figura 4 - Distribuição dos documentos conforme país ou território



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e pacote Bibliometrix (2024)

### 2.3 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DE APLICAÇÃO DE PSM EM PROBLEMAS MILITARES

Os PSM (*Problem Structure Method*) são abordagens metodológicas fundamentalmente analíticas da Pesquisa Operacional “*Soft*”, em que o processo participativo é o seu componente chave. Seu propósito é apoiar a compreensão e a estruturação de problemas de decisão complexos e mal estruturados com o emprego de métodos alternativos aos convencionais da análise racional. Tais métodos são apropriados para contextos decisórios caracterizados por múltiplos atores, perspectivas diferentes, interesses parcialmente conflitantes, intangíveis importantes e incertezas chave (Rosenhead, 2006).

Dentre os PSM mais utilizados destacam-se o VFT (*Value Focused Thinking*) que apoia o processo de estruturação de problemas multicritérios com base nos valores dos decisores (Keeney, 1992), o SSM (*Soft Systems Methodology*) que é um método que encontra suas raízes no pensamento sistêmico (Checkland; Scholes, 1990), o SODA (*Strategic Options Development And Analysis*), que utiliza como principal ferramenta os mapas cognitivos bipolares (Eden, 1989) e o *Strategic Choice Approach* (SCA), apropriado para situações de tomada de decisão estratégica com incertezas significativas (Friend, 2001).

A utilização dos PSM para estruturação de problemas militares tem diversos exemplos, como descritos a seguir.

Como exemplo de utilização do SSM, Brooks, Kotiadis e Van Der Zee (2010) utilizaram o método para estruturação de modelos para usar em engenharia de *software* visando a especificação de modelos na fabricação militar de semicondutores. Cloutier *et al.* (2015), utilizaram o SSM para traduzir problema capturados em diagramas *SysML* e apresentou um estudo de caso na Base de Contingência para Pequenas Unidades de Combate do Exército dos EUA. Coyle e Alexander (1997) utilizaram o SSM para simular cenário político e militar. Blair *et al.* (2007) utilizou o SSM, após o Ministério da Defesa do Reino Unido determinar o desenvolvimento de uma capacidade habilitada para rede em toda a defesa. De Almeida *et al.* (2021) utilizaram uma modelagem híbrida, com SSM para estruturar o problema aliado com o método SAPEVO-M (*Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors –Multi Decision Makers*) e VIKOR (*Višekriterijska Optimizacija Kompromisno Rješenje*) para selecionar a cidade mais adequada para ser sede da Segunda Esquadra da MB. Yudiatmaja e Samnuzulsari (2020) utilizaram o SSM, juntamente com a Marinha da Indonésia, para resolução de problemas da borra de óleo na água do mar de Bintan, Kepulauan Riau. Singh e Ganguly (2021) utilizaram o SSM para estruturar e estimar diferentes custos de manutenção (preventiva, corretiva e condicional), reparo e revisão de aeronaves militares na Índia. Pietscha, Curtis e

Coutts (2015) recorreram ao SSM para estruturação do problema para o desenvolvimento do conceito de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (ISR) do Exército da Austrália. Costa *et al.* (2020) aplicaram o SSM para estruturar o problema de selecionar o navio de assistência hospitalar (NAsH) mais adequado da Marinha do Brasil para apoiar no combate à pandemia de COVID-19. Saleh *et al.* (2018) utilizou o SSM para o problema de recrutamento eletrônico para Alistamento do Exército Inglês.

Na utilização do VFT, Parnell (1998) relatou como o Chefe do Estado-Maior da Força Aérea dos Estados Unidos utilizou o método para identificar conceitos-chave de sistemas e tecnologias para alcançar o domínio aéreo e espacial dos EUA no ano de 2025. Almeida *et al.* (2021), aplicaram o VFT para estruturar o problema da pré-seleção de oficiais voluntários para ocuparem a vaga oferecida no Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) da MB. Logullo *et al.* (2022) sugeriram um método de pesquisa: *Rich Picture* e VFT para estruturar o problema e elicitar objetivos que se tornam critérios em uma hierarquia de decisão e método AHP em um estudo de caso nas operações militares. Zhou *et al.* (2018) apresentaram uma revisão de aplicações do VFT e reportaram que o Departamento de Defesa dos EUA usou o método para a aquisição de armas de defesa nacional, economizando gastos militares. Logullo *et al.* (2022) usaram o VFT combinado com abordagens de Pensamento Sistêmico para proporcionar um melhor entendimento do problema de implementação de RPAS (*remotely piloted aircraft systems*), para Defesa Nacional Brasileira. Dansereau *et al.* (2015) recorreram ao VFT para avaliação de displays montados em capacete utilizados por pilotos militares. Chambal, Shoviak e Thal (2003) utilizaram também o VFT para gestão de resíduos sólidos urbanos e aplicou um estudo de caso usando a *Earekson Air Station*, uma Instalação da Força Aérea remota dos EUA.

Na utilização do método SODA Grunnan e Fridheim (2017), aproveitaram para exercitar e fortalecer a capacidade de organizações para gerenciamento de crises, envolvendo uma variedade de atores militares e civis. Veldhuis *et al.* (2015) desenvolveram uma abordagem integrada chamada MARVEL (método para analisar relações entre variáveis usando *loops* enriquecidos) que compartilha algumas técnicas com métodos estabelecidos, como SODA, dinâmica de sistemas e mapas cognitivos difusos, usando-a em um ambiente colaborativo para facilitar a avaliação das ações militares táticas durante a estabilização. Moreira *et al.* (2023) utilizaram o SODA, juntamente com o MCDA SAPEVO-Híbrido e Hierárquico (SAPEVO-H<sup>2</sup>), para avaliação de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas para a MB. Lima Filho, Medeiros e Passaro (2021) utilizaram o SODA para selecionar as principais características disponíveis nos sistemas de sensores a bordo da aeronave de tiro necessários para lançar um míssil com sucesso e identificar o melhor momento para lançar um míssil em um combate aéreo,

além do alcance visual, para avaliar a probabilidade de abate de um veículo aéreo de combate não tripulado (UCAV).

Como se pode ver os PSM foram utilizados em diversos experimentos e casos de sucessos. Entretanto, são poucos os trabalhos destinados à solução de problemas de seleção de meios de transportes operativos. A Tabela 7 mostra o percentual de aplicações dos métodos VFT, SSM e SODA, conforme os métodos utilizados nos processos de estruturação de problemas nos problemas militares. Entretanto, não foi identificado a utilização do método SCA em problemas militares, sendo uma lacuna, uma vez que problemas na área militar tem diversas incertezas e atores envolvidos.

Tabela 7 - Documentos por método

<b>Método</b>	<b>Quantidade</b>
VFT	50%
SSM	40%
SODA	10%

Fonte: Elaboração própria (2024)

### 2.3.1 Mapeamento do Estado da arte

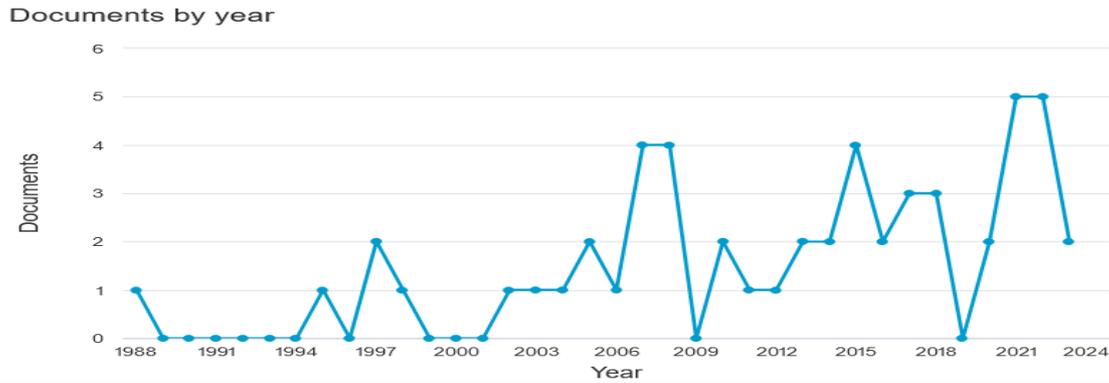
Com o intuito de buscar solução para o problema proposto, isto é, identificar modelos de PSM, capazes auxiliar na estruturação de problemas para a escolha navios ou outros meios de transporte operativos no meio militar, foi inicialmente realizado um levantamento na base SCOPUS, sobre o problema em pauta, usando os seguintes descritores de busca na literatura: “TITLE-ABS-KEY”: “*Strategic Choice Approach*” or “*Problem Structuring Methods*” or “*Soft Systems Methodology*” or “*Value Focused Thinking*” or “*Strategic options development and analysis*” juntamente com as palavras: “*Military*” or “*Navy*” or “*Army*” or “*Air Force*” or “*war*” and “*ship*”, “*boat*”, “*vehicles*”, “*plane*”, “*vessel*”. A busca realizada em 4 abril de 2024, sem restrição de data de publicação, sendo encontrados somente 4 documentos. Os assuntos relacionados a área militar são normalmente escassos, uma vez que muitos dos assuntos que envolvem o tema possuir dados, geralmente, reservados, o que dificulta a busca na literatura de domínio público. Para ampliar o resultado foi realizada uma nova busca retirando os *strings* “*ship*”, “*boat*”, “*vehicles*”, “*plane*”, “*vessel*” e mantendo o restante, sendo encontrados 53 documentos.

### 2.3.2 Resultados e análises

A Figura 5 mostra os artigos de periódicos, artigos de congressos e capítulos de livros

publicados por ano. Os artigos começaram em 1988; no entanto, observa-se um hiato temporário entre 1989 e 1994, 1996, 1999 e 2001, 2009 e 2019. Os anos com maior número de trabalhos publicados foram 2021 e 2022, mostrando que está em crescimento.

Figura 5 - Evolução do número de publicações por ano



Fonte: Scopus, 2024

A Tabela 8 mostra as instituições que publicaram 3 ou mais documentos. A *The U.S. Military Academy at West Point* ocupa o primeiro lugar com 10 artigos. Em segundo tem a *Air Force Institute of Technology* com 9 publicações, e em terceiro a Universidade Federal Fluminense e Instituto Militar de Engenharia com 5 publicações e o quarto *AFIT Graduate School of Engineering and Management* com 4 publicações, depois tem 4 instituições que publicaram 3 artigos cada, 6 instituições com dois artigos cada, e 55 instituições com apenas um artigo cada.

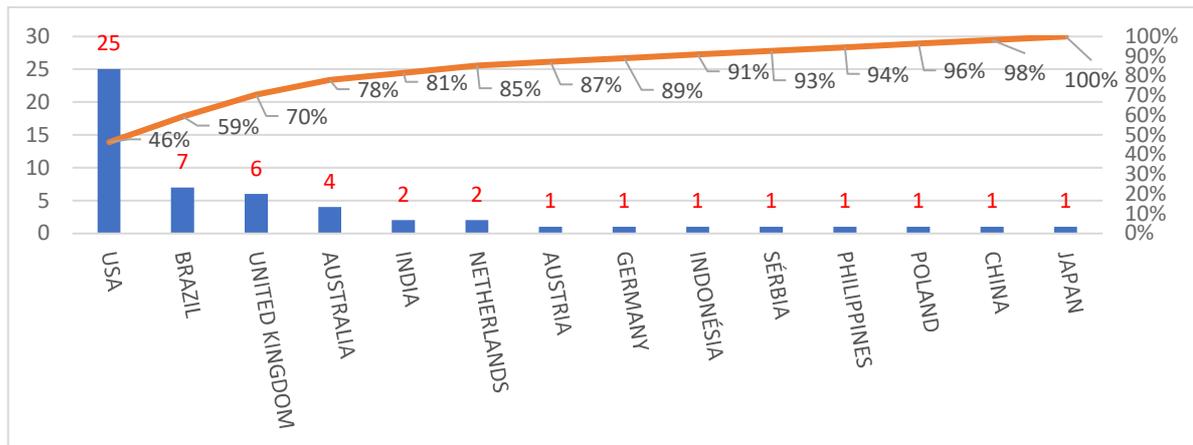
Tabela 8 - Documentos por afiliação

Instituto	Documentos
<i>The U.S. Military Academy at West Point</i>	10
<i>Air Force Institute of Technology</i>	9
Universidade Federal Fluminense	5
Instituto Militar de Engenharia	5
<i>AFIT Graduate School of Engineering and Management</i>	4
<i>Naval Systems Analysis Center</i>	3
<i>Defence Science and Technology Group</i>	3
Instituto Tecnológico de Aeronáutica	3
<i>University of New South Wales at Australian Defence Force Academy</i>	3

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e pacote Bibliometrix (2024)

O Pareto da Figura 6 apresenta a distribuição de publicações por país ou território com mais de 2 publicações. A busca encontrou artigos de 14 países. Os Estados Unidos ocupam o primeiro lugar com 25 publicações, seguida pelo Brasil com 7 artigos. O Reino Unido em terceiro com 6 publicações, em quarto a Austrália com 4, seguido de dois países com 2 publicações e 8 países com 1 publicação.

Figura 6 - Distribuição dos documentos conforme país ou território



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e pacote Bibliometrix (2024)

A Tabela 9 mostra autores com 3 ou mais publicações e mostra que Gomes, C.F.S. é o principal autor na área com 5 publicações, após Parnell, G.S. com 4 publicações e após dos Santos M., Moreira M.Â. L., Robbins M.J. Thal A.E., Weir J.D. com 3 publicações, após 8 autores com 2 publicações e 141 com 1 publicações cada autores onde se pode aventar que a pesquisa está distribuída em vários pesquisadores.

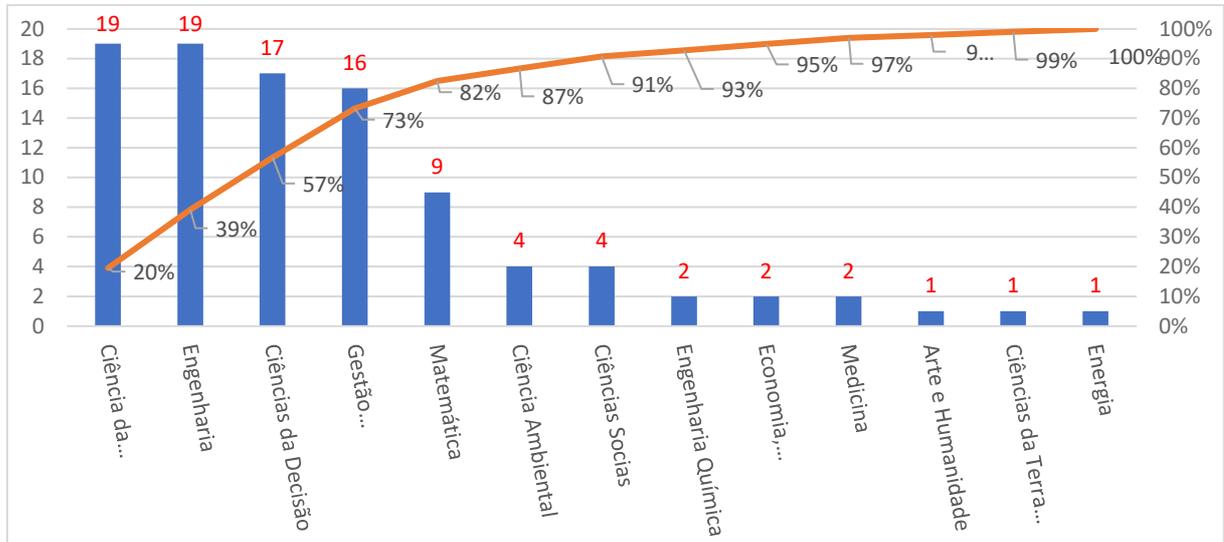
Tabela 9 - Autores relacionados com a área pesquisada

Autor	Publicação
GOMES C.F.S.	5
PARNELL G.S.	4
MOREIRA M.Â.L.	3
DOS SANTOS M.	3
ROBBINS M.J.	3
THAL A.E.	3
WEIR J.D.	3

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e pacote Bibliometrix (2024)

O Pareto da Figura 7 mostra que a área de Ciência da Computação e Engenharia se destacam com 19,6% das publicações cada, seguida por Ciência de Decisão (17,5%), seguido de Gestão de Negócios e Contabilidade (16,5%).

Figura 7 - Quantidade de publicações por área



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus (2024)

## 2.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO MÉTODO FUCOM

A revisão bibliográfica do método FUCOM realizada nessa dissertação foi aceita com um artigo no congresso nacional ENEGEP 2023, conforme como descrito no Apêndice A.

Um novo método, o Full Consistency Method (FUCOM) para determinação dos coeficientes de peso dos critérios foi proposto, permitindo a determinação precisa dos valores dos coeficientes de peso de todos os critérios em um determinado nível de hierarquia, satisfazendo simultaneamente as condições da comparação e consistência também. (Pamučar; Stević; Sremac, 2018). O FUCOM apresenta vantagens sobre outras técnicas como AHP e BWM, pois requer menos comparações pareadas entre critérios ( $n-1$ ), com menor esforço cognitivo e o resultado obtido é mais consistente (Van Hoan; Ha, 2021). O método foi utilizado em problemas simples assim como para problemas de escolhas estratégicas

Prentkovskis *et al.* (2018) utilizaram o método Delphi para determinar a ordenação da dimensão qualidade, após utilizou o método FUCOM para determinar os coeficientes de peso das dimensões de qualidade. A terceira fase representa a determinação do nível de qualidade utilizando o modelo SERVQUAL no serviço de uma empresa de correios expressos. Segundo os autores, a integração de determinados métodos e modelos à nova metodologia tem demonstrado maior objetividade e resultados mais precisos na determinação do nível de qualidade dos processos e atividades de sustentabilidade.

Nunić (2018) utilizou-se do FUCOM para determinação dos pesos dos critérios e o método *Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison* (MABAC) para avaliar e selecionar o fabricante do PVC, entre cinco potenciais fabricantes foram avaliados com base

nos sete critérios. Outros quatro métodos foram utilizados na análise de sensibilidade: ARAS (*Additive Ratio Assessment*), WASPAS (*Weighted Aggregated Sum Product Assessment*), EDAS (*Evaluation based on Distance from Average Solution*) e SAW (*Simple Additive Weighting*).

*Badi e Ali (2019)* utilizaram o FUCOM e o método AHP para classificar as medidas de desempenho para medir o desempenho de companhias aéreas líbias.

*Matić et al. (2019)* utilizou o modelo híbrido que integra a FUCOM com a COPRAS com base em 21 critérios de sustentabilidade, um total de cinco fornecedores em uma construtora.

*Erceg e Mularifović (2019)* utilizaram o método FUCOM para gerar pesos, enquanto o ranking de fornecedores foi realizado utilizando WASPAS em empresa madeireira e sua seleção de fornecedores no subsistema. Na análise de sensibilidade verificou-se que as alterações na significância dos critérios podem influenciar a tomada de decisão e a classificação de fornecedores.

*Stević e Brković (2020)* utilizaram o novo modelo integrado FUCOM-MARCOS para avaliação de recursos humanos em um empresa de transporte localizada na Bósnia e Herzegovina. Um total de 23 motoristas foram avaliados com base em cinco critérios cruciais para aumentar a motivação dos colaboradores mediante sua remuneração periódica. O Método FUCOM foi aplicado para determinar a significância dos critérios, enquanto a avaliação de potenciais soluções foi realizada por meio de *Measurement Alternatives And Ranking According To Compromise Solution* (MARCOS).

*Nedeljković et al. (2023)* utilizaram o FUCOM para encontrar a importância dos critérios principais, CRITIC (*Criteria Importance Through Intercriteria Correlation*), usado para encontrar a importância dos sub-critérios e WASPAS, usado para classificar as variedades de maçãs para plantar selecionadas e encontrar o ranking usando classificações de especialistas.

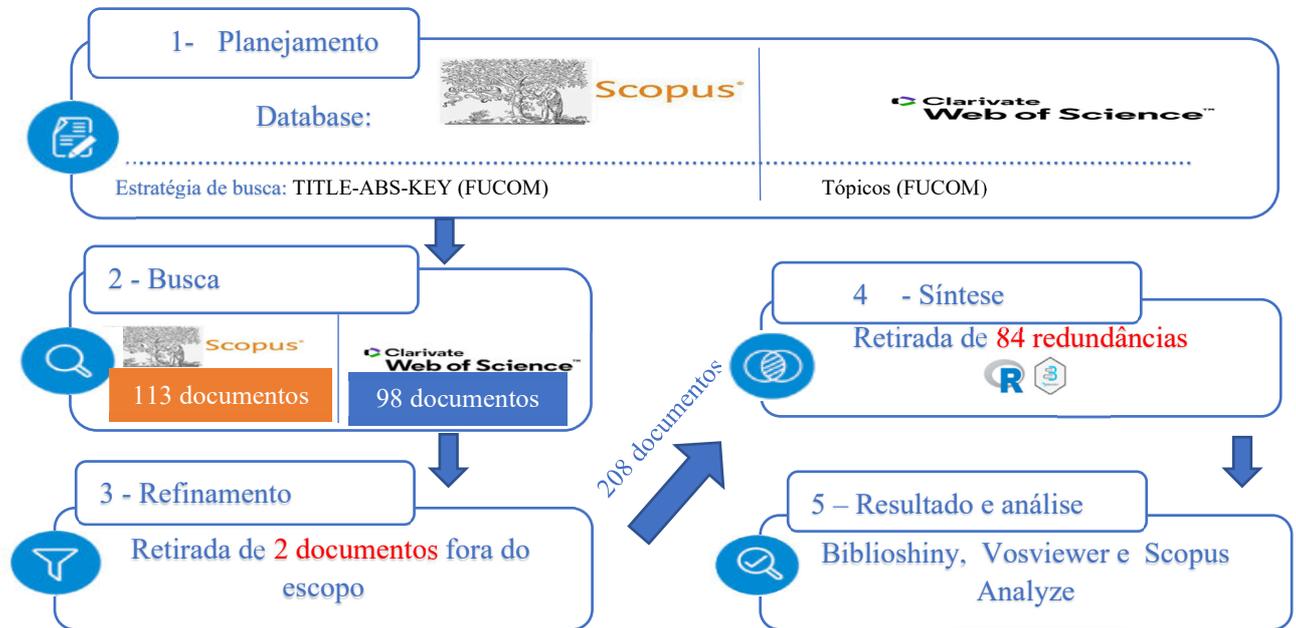
#### 2.4.1 Mapeamento do estado da arte

Na base Scopus ao utilizar o seguinte filtro de pesquisa em 10/05/2023: TITLE-ABS-KEY (FUCOM) foram encontrados 113 artigos.

Na base Web of Science, ao utilizar o seguinte filtro de pesquisa em 10/05/2023: Tópicos (RASFI) foram encontrados 98 artigos.

Após foram retirados 2 artigos que estavam fora do escopo e após retirados mais 84 que estavam em redundância entre as duas bases. Após 125 documentos foram analisados utilizando o pacote Bibliometrix, conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 - Metodologia para levantar documentos na Base Scopus e analisar no pacote Bibliometrix



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de (Girardi et al. 2022).

#### 2.4.2 Resultados e análises

Primeiramente são apresentados os artigos híbridos com outros métodos, o artigo da proposta do método FUCOM, as comparações de outros métodos com o método FUCOM, as novas abordagens a partir do método original, assim como uma revisão mais ampla utilizando o Bibliometrix com VOSviewer. Ao realizar uma pesquisa nas bases Scopus e Web of Science, foram encontrados 96 artigos híbridos que utilizam o FUCOM com outros métodos, sendo apresentados 20 deles no Quadro 2.

Quadro 2 - Artigos híbridos encontrados na literatura

Título	Tipo	Método	Ano	Base
<i>A New Methodology for Improving Service Quality Measurement: Delphi-FUCOM-SERVQUAL Model</i> (Prentkovskis et al., 2018)	Híbrido	DELPHI-FUCOM-SERVQUAL	2018	Scopus
<i>Evaluation and selection of the PVC carpentry manufacturer using the FUCOM-MABAC model</i> (Nunić, 2018)	Híbrido	FUCOM-MABAC	2018	Scopus
<i>A New Model for Stock Management in Order to Rationalize Costs: ABC-FUCOM-Interval Rough CoCoSo Model</i> (Erceg et al., 2019)	Híbrido	ABC-FUCOM-Interval Rough CoCoSo	2019	Scopus
<i>A New Hybrid MCDM Model: Sustainable Supplier Selection in a Construction Company</i> (Matić et al., 2019).	Híbrido	FUCOM - COPRAS	2019	Scopus
<i>Integrated MCDM model for processes optimization in the supply chain management in the wood company</i> (Erceg; Mularifović, 2019)	Híbrido	FUCOM - WASPAS	2019	Scopus

<i>Ranking dangerous sections of the road using MCDM model (Nenadic, 2019)</i>	Hibrido	FUCOM-WASPAS	2019	Scopus
<i>ARAS-FUCOM approach for VPAF fighter aircraft selection (Van Hoan; Ha, 2019).</i>	Hibrido	ARAS-FUCOM	2020	Scopus
<i>A Novel Integrated FUCOM-MARCOS Model for Evaluation of Human Resources in a Transport Company (Đalić, 2020)</i>	Hibrido	FUCOM-MARCOS	2020	Scopus
<i>Fuzzy Applications of FUCOM Method in Manufacturing Environment (Haqbin, 2019)</i>	Hibrido	FUCOM – F-TOPSIS - F WASPAS	2020	Web of Science
<i>Selection of a distribution channel using the integrated FUCOM-MARCOS model (Khosravi, 2022)</i>	Hibrido	FUCOM-MARCOS	2020	Web of Science
<i>Selection of the Best Location for RFID Wagon Monitoring Device on Serbian Railways Based on FUCOM-TOPSIS Method and Fuzzy Set Theory (Milosavljević; Jeremić; Milinković, 2020)</i>	Hibrido	FUCOM - TOPSIS	2020	Web Os Science
<i>Location selection for a textile manufacturing facility with GIS based on hybrid MCDM approach (Ulutaş; Karakuş, 2021)</i>	Hibrido	FUCOM - PIV-F	2021	Scopus
<i>Multi-objective Optimization of Integrated Water System by FUCOM-VIKOR Approach (Ong, 2021)</i>	Hibrido	FUCOM-VIKOR	2021	Scopus
<i>Evaluation of human resource information systems using grey ordinal pairwise comparison MCDM methods (Esangbedo, 2021)</i>	Hibrido	Grey-PA-FUCOM	2021	Scopus
<i>Selecting the most suitable organizational structure for hospitals: an integrated fuzzy FUCOM-MARCOS method (Khosravi et al., 2022)</i>	Hibrido	FUCOM - MARCOS	2022	Scopus
<i>A hybrid trapezoidal fuzzy FUCOM-AHP approach and their application to identification of monkeypox risk factors (Garg; Majumder; Nath, 2022).</i>	Hibrido	FUCOM-AHP	2022	Scopus
<i>Risk assessment and mitigation for electric power sectors: A developing country's perspective (Rehman; Ali; Sabir, 2022)</i>	Hibrido	FUCOM-VIKOR	2022	Scopus
<i>An integrated RFUCOM - RTOPSIS approach for failure modes and effects analysis: A case of manufacturing industry (Dhalmahapatra et al., 2022)</i>	Hibrido	RFUCOM-RTOPSIS	2022	Scopus
<i>Critical Success Factors for 5G Technology Adaptation in Supply Chains (Biswas et al., 2023)</i>	Hibrido	q-ROFWNA - FUCOM	2023	Web Os Science
<i>Prediction of the number of COVID-19 confirmed cases using the hybrid FUCOM-Pareto analysis- random forest method (Gökler, 2023)</i>	Hibrido	FUCOM e PARETO	2023	Web Os Science

Fonte: Elaboração própria (2023)

Além da pesquisa para verificar os métodos híbridos, também foram verificados 15 outros artigos, sendo apresentado 10 deles no Quadro 3 sendo 1 o artigo da proposta do método FUCOM e 1 com nova abordagem a partir do método original e 8 comparações de outros métodos com o método FUCOM.

Quadro 3 - Proposta do método FUCOM e suas novas abordagens

<b>Título</b>	<b>Tipo</b>	<b>Método</b>	<b>Ano</b>	<b>Base</b>
<i>A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM) (Pamućar; Stević; Sremac, 2018)</i>	Proposta do método	FUCOM	2018	Scopus

<i>Analytical hierarchy process method and data envelopment analysis application in terrain vehicle selection (Starčević et al., 2019).</i>	Comparação	Uso de AHP-DEA e validação dos resultados comparados com FUCOM e BWM	2018	Scopus
<i>Fuzzy Group Full Consistency Method for Weight Determination (Ilieva, 2020).</i>	Extensão	(FUCOM) é estendido para trabalhar de forma coletiva, para resolver um problema de otimização FUZZY e para obter os pesos difusos dos critérios.	2018	Scopus
<i>Sustainability prioritization of sewage sludge to energy scenarios with hybrid-data consideration: a fuzzy decision-making framework based on full consistency method and fusion ranking model (Tang; Xu; Chen, 2021)</i>	Comparação	FUCOM comparado com AHP e BWM	2021	Scopus
<i>Pareto Optimal Decisions in Multi-Criteria Decision Making Explained with Construction Cost Cases (Anysz et al., 2021)</i>	Comparação	Comparação de AHP, TOPSIS, FUCOM e MARCOS	2021	Scopus
<i>Comparing Best-Worst method and Full Consistency Method in a fuzzy environment (Haqbin, 2022)</i>	Comparação	Comparação entre FFUCOM e FBWM	2022	Scopus
<i>Enhancement of resilience and quality of cold supply chain under the disruptions caused by COVID-19: A case of a developing country (Kaya, 2022)</i>	Comparação	Comparação do método FBWM com o FUCOM em um estudo de caso	2022	Scopus
<i>Selection of ERP system and the best practice by hybrid method: A case study of Thai automotive supply chain network (Panjavongroj; Phruksaphanrat, 2022)</i>	Comparação	Comparação do método LFPP com o método FUCOM	2022	Scopus
<i>Suitable site selection by using full consistency method (FUCOM): a case study for maize cultivation in northwest Turkey (Everest et al., 2022)</i>	Comparação	FUCOM comparado com AHP and the Best-Worst Method BWM	2022	Scopus
<i>A new integrated approach based on base-criterion and utility additive methods and its application to supplier selection problem (Ulutaş et al., 2022).</i>	Comparação	BC e UA comparado com FUCOM, LBWA, DIBR e OPA	2023	Scopus

Fonte: Elaboração própria (2023)

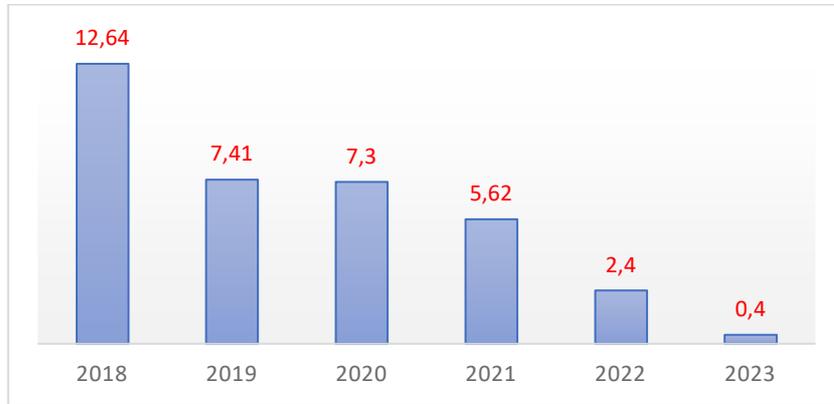
A Figura 9 demonstra a aplicação de FUCOM na produção científica anual de 2018 até 10/05/2023, onde observa-se um nítido crescimento de publicações entre 2018 e 2022, enquanto a Figura 10 mostra a média de citações por ano até 10/05/2023.

Figura 9 - Produção científica anual – artigos



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

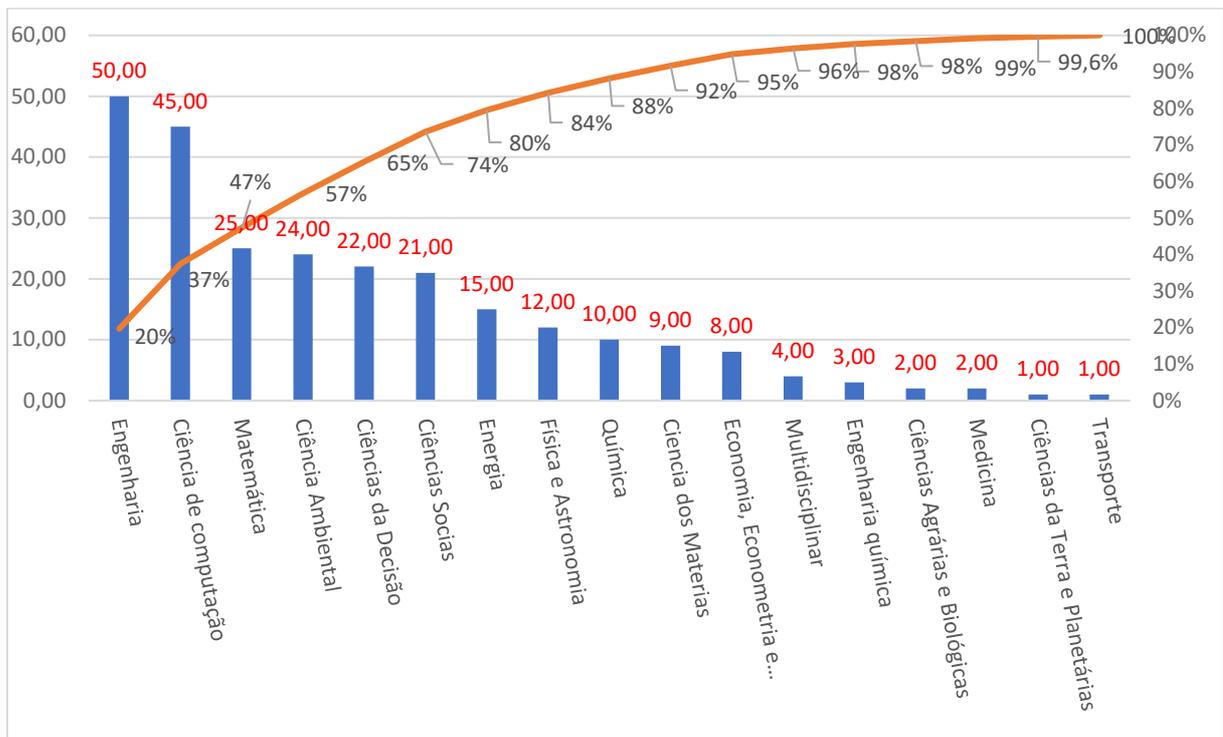
Figura 10 - Média de citações de artigos por ano



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

O Pareto da Figura 11 apresenta a quantidade de artigos publicados por área, em que foi aplicado FUCOM. É observado que as áreas de Engenharia, Ciência da Computação, Matemática, Ciência do Meio-Ambiente, Ciência da Decisão, Ciência Sociais, Energia, Física e Astronomia e Química são as áreas que concentram cerca de 88% das publicações.

Figura 11 - Quantidade de publicações por área



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e pacote Bibliometrix (2023)

A Tabela 10 apresenta todos os *Journals* que obtiveram as maiores publicações em

quantidade no assunto.

Tabela 10 - Fontes mais relevantes

<b>Fonte</b>	<b>Documentos</b>
<i>Symmetry</i>	10
<i>Sustainability (Switzerland)</i>	9
<i>Operational Research In Engineering Sciences: Theory And Applications</i>	7
<i>Decision Making: Applications In Management And Engineering</i>	5
<i>Environment, Development And Sustainability</i>	5
<i>Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering</i>	5
<i>Expert Systems With Applications</i>	4
<i>Soft Computing</i>	3
<i>Applied Soft Computing</i>	2
<i>Decision Science Letters</i>	2
<i>Environmental Science And Pollution Research</i>	2
<i>Industria Textila</i>	2
<i>Journal Of Intelligent And Fuzzy Systems</i>	2
<i>Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University</i>	2
<i>Pamukkale University Journal Of Engineering Sciences-Pamukkale Universitesi Muhendislik Bilimleri Dergisi</i>	2
<i>Plos One</i>	2
<i>Studies In Informatics And Control</i>	2
<i>Sustainability</i>	2

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

Completando, a relevância da avaliação dos Journals, a Tabela 11 mostra o índice H das fontes mais relevantes da pesquisa realizada em 10/05/2023.

Para Silva e Grácio (2017), o índice H “mede, de forma simultânea, aspectos relacionados à produção e ao impacto da produção científica de um pesquisador, periódico, grupo e centro de pesquisa ou país em uma base de dados”.

Tabela 11 - Índice H das fontes mais relevantes

<b>Fonte</b>	<b>Índice H</b>
<i>Symmetry</i>	9
<i>Sustainability (Switzerland)</i>	7
<i>Operational Research In Engineering Sciences: Theory And Applications</i>	6

<i>Decision Making: Applications In Management And Engineering</i>	5
<i>Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering</i>	5
<i>Environment, Development And Sustainability</i>	3
<i>Applied Soft Computing</i>	2
<i>Decision Science Letters</i>	2
<i>Expert Systems With Applications</i>	2

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

A Tabela 12 apresenta o índice H dos 20 autores mais relevantes da revisão bibliográfica, onde indica que o mais relevante é Dragan Pamučar, com um índice H de 9, ou seja, obteve 9 publicações sendo citadas pelo menos 9 vezes.

Tabela 12 - Índice H dos 20 autores mais relevantes

<b>Autor</b>	<b>Índice H</b>
Pamučar D	9
Puška A	6
Ali Y	5
Pamučar D	5
Zavadskas E	5
Ecer F	4
Nunić Z	4
Badi I	3
Božanić D	3
Chatterjee P	3
Deveci M	3
Mardani A	3
Stojanović I	3
Tanackov I	3
Bai S	2
Biswas S	2
Božanic D	2
Cavallaro F	2

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

Além do índice H, foi analisado o índice G, desta forma ao avaliar o índice G igual a 19 de Dragan Pamučar, Tabela 13, ficando entendido que as 19 principais publicações do autor foram citadas pelo menos 361 vezes ou 19<sup>2</sup>.

Tabela 13 - Índice G dos 20 autores mais relevantes

<b>Autor</b>	<b>Índice G</b>
Pamučar D	19
Puška A	7
Ali Y	7
Zavadskas E	7
Pamučar D	6
Ecer F	6
Biswas S	5
Nunić Z	4
Badi I	4
Mardani A	4
Tanackov I	4
Chakraborty S	4
Khan A	4
Božanić D	3
Chatterjee P	3
Deveci M	3
Stojanović I	3
Cavallaro F	3

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

A Tabela 14 apresenta a quantidade de publicações utilizando o método FUCOM dos 18 autores mais relevantes.

Tabela 14 - Publicações do método por autores

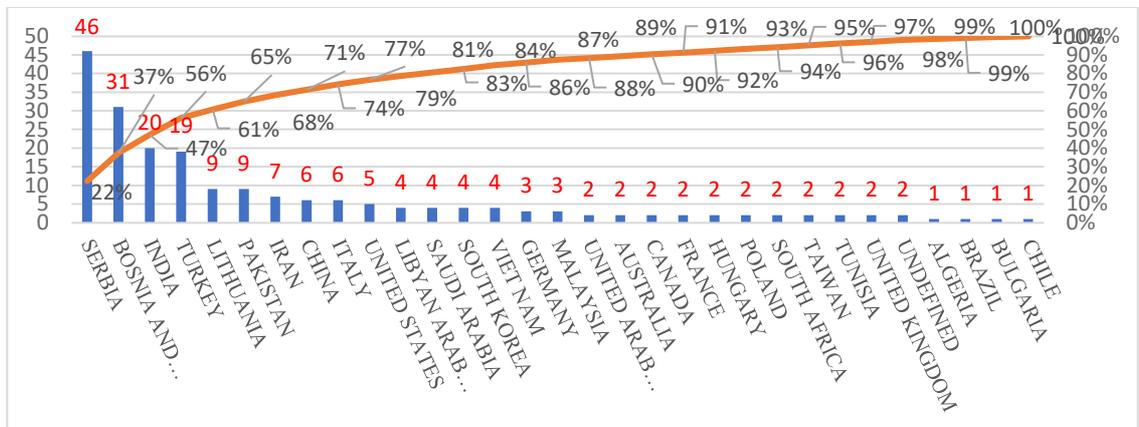
<b>Autor</b>	<b>Documentos</b>
Pamučar D	21
Stević	19
Ali Y	9
Puška A	7
Zavadskas E	7
Ecer F	6
Pamučar D	6
Biswas S	5
Sremac S	5
Badi I	4
Chakraborty S	4

Khan A	4
Majumder P	4
Mardani A	4
Nunić Z	4
Stevic Z	4
Tanackov I	4
Božanić D	3

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

Analisando por região, identificou-se que mais de 65% das publicações foram desenvolvidas na Sérvia, Bósnia e Herzegovina, Índia, Turquia, Lituânia e Paquistão. Portanto, conclui-se que grande parte das pesquisas onde FUCOM é aplicado, são desenvolvidas na Europa e oriente. Existe uma oportunidade de aplicações do método no ocidente, principalmente na América do Sul, onde foi identificado apenas 1 publicação no Brasil e 1 publicação no Chile, conforme e apresentado no gráfico de Pareto da Figura 12.

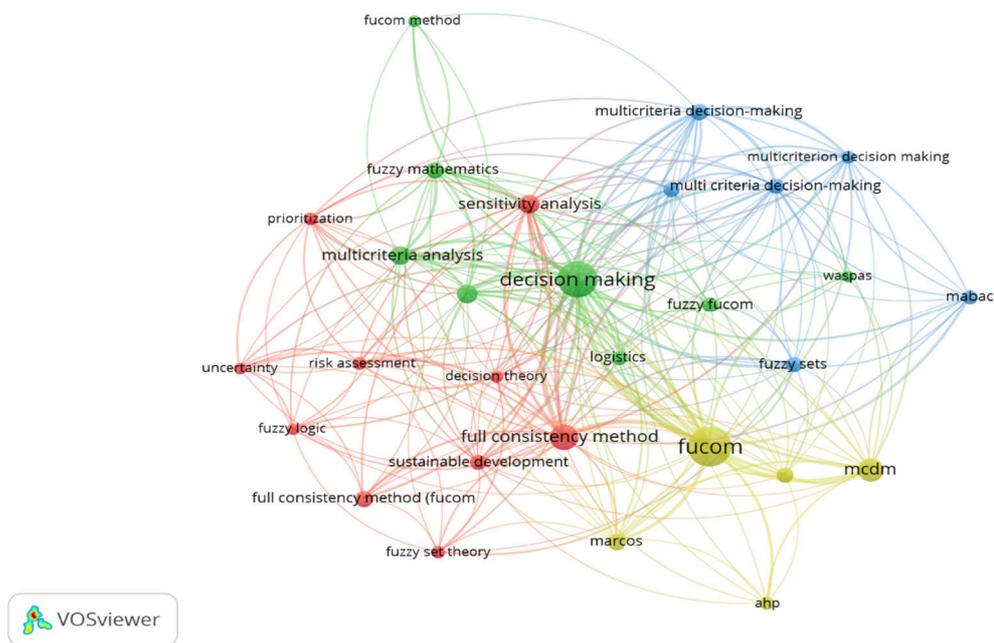
Figura 12 -Países que apresentaram mais publicações do método



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus pacote Bibliometrix (2023)

Novamente o *software* VOSviewer foi usado para analisar *clusters* de palavras-chave e a rede autoral.

Analisando os *clusters* de palavras-chave, considerando 5 como o número mínimo de ocorrências, verificou-se que 29 de 927 palavras-chave atingiram esse limite. A Figura 13 ilustra os *clusters* de palavras-chave obtidos.

Figura 13 - Análise de *clusters* de palavras-chave

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e software VOSviewer (2023)

A palavra-chave "*decision making*" tem o maior número de ocorrências ( $o = 46$ ) e a maior força total de vínculo ( $s = 165$ ), seguida por "*fucom*" com número de ocorrências ( $o = 54$ ) e a força total de vínculo ( $s = 127$ ), seguido de "*full consistency method*" com número de ocorrências ( $o = 22$ ) e a força total de vínculo ( $s = 93$ ).

## 2.5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO MÉTODO RAFSI

A revisão bibliográfica do método RAFSI realizada nessa dissertação foi aceita com um artigo no congresso internacional ITQM 2023, e extensões do mesmo artigos foram aprovados no ENEGEP 2023 e SBPO 2023, conforme como descrito no Apêndice A.

Para Žižović *et al.* (2020), um novo método AMD, denominado *Ranking of Alternatives Through Functional mapping of criterion sub-intervals into a Single Interval* (RAFSI) elimina problemas de reversão de ordenação, que são alterações inesperadas na ordenação de alternativas ocorrem quando qualquer alternativa não ótima é adicionada ou excluída do conjunto existente de alternativas, problema que acontece com outros métodos como TOPSIS, VIKOR, e COPRAS (Žižović *et al.* 2020).

Para Vanzetta, Gomes e Santos (2023c) e Vanzetta, Gomes e Santos (2023d), o método RAFSI apresenta relevância e demonstra o potencial com o modelo aplicado em diversos países, por variados autores e em áreas com problemas distintos. E assim como o FUCOM foi utilizado

em problemas simples assim como para problema de escolha estratégicas

Das e Chakraborty (2023), utilizaram os métodos MEREC e CRITIC para levantamento dos pesos dos critérios para uso de quatro AMD, RAFSI, *Proximity Indexed Value* (PIV), *Evaluation by an Area-based Method of Ranking* (EAMR), *Pareto-Edgeworth Grierson* (PEG) para otimização do desempenho processos de corte a arco plasma (PAC), tendo alto grau de congruência no desempenho no ranking entre EAMR e PEG, EAMR e RAFSI, e PEG e RAFSI. A principal limitação deste método é que, como todos os AMD tem análises conduzidas com base em dados experimentais passados, não tendo possibilidade de realizar qualquer ensaio confirmatório para verificar a exatidão dos resultados derivados.

Aro, Prasetyo e Persada (2022) utilizaram o método em um *database* e foi avaliado a vantagem da eliminação do problema de reversão de ordenação do novo método.

Kaya, Pamučar e Ayci (2022) utilizaram BWM fuzzy e RAFSI para o processo de seleção de máscaras antivírus com relação à Pandemia da COVID-19, e constatou que embora a técnica RAFSI seja uma poderosa ferramenta de tomada de decisão, ela não pode expressar informações confusas e ambíguas, utilizando conjuntos Fuzzy para isso. Uma das possíveis limitações da metodologia multicritério Fuzzy BWM-RAFSI é a complexidade matemática que requer o conhecimento da matemática de programação não linear e teoria Fuzzy.

Akyurt *et al.* (2021) aplicaram o método *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH) e RAFSI para resolver a tomada de decisão problema de uma organização de educação teórica e de voo (TAFA) na Turquia para selecionar a melhor base de voo.

Pamučar *et al.* (2020) desenvolveram uma metodologia multicritério, onde o modelo LBWA-MACBETH foi utilizado para determinar os coeficientes de peso dos critérios, enquanto o modelo Fuzzy RAFSI foi utilizado para avaliar selecionar diretrizes estratégicas reorganização e adequação de sistemas de saúde em emergência causada pela pandemia da COVID-19. Segundo os autores, metodologia proposta preenche uma lacuna na literatura considerando a aplicação de técnicas multicritério, tendo um algoritmo universal que pode ser aplicado para resolver vários problemas do mundo real. Entretanto, o modelo utilizado no trabalho não se enquadra na categoria de ferramentas de tomada de decisão matematicamente simples, com formulações matemáticas complexas para a fusão de preferências de especialistas em uma única decisão de grupo.

Deveci, Pamučar e Oguz (2022) utilizaram o número Fuzzy baseado no método *Logarithmic additive Assessment of the Weight Coefficients* (LAAW) com o método RAFSI para determinação da localização adequada para usina fotovoltaica flutuante. Foi desenvolvido

um modelo matemático com um alto grau de generalização sob o aspecto da adaptabilidade a vários problemas multicritérios, transformando as preferências de especialistas em números aproximados difusos, no qual consiste em várias iterações mediante intervalos de limite de números aproximados difusos são definidos. Uma das limitações da metodologia fuzzy rough LAAW RAFSI é a incapacidade de representar as inter-relações entre os critérios.

Boré *et al.* (2022) aplicaram o método RAFSI para escolher a melhor a distância de usinas de incineração de lixo com o melhor risco aceitável de poluentes atmosféricos para a saúde humana. A matriz de escolha inicial é transformada em qualquer intervalo, permitiu a tomada de decisão racional e após os resultados foram comparados com o método SAW, obtendo rankings idênticos.

Deveci *et al.* (2022) utilizaram um modelo decisão híbrida baseado na metodologia *Ordinal Priority Approach* (OPA) e RAFSI sob q-ROFSs para avaliar a implementação da alternativa de mobilidade pessoal por meio de opções de veículos autônomos. O modelo q-ROF OPA-RAFSI fornece resistência a problemas de reversão de ordenação, uma das mais significativas deficiências de muitos métodos AMD tradicionais que pode levar a decisões erradas e irracionais. Além disso, o modelo híbrido proposto proporciona avaliação objetiva de desempenho, entretanto uma das limitações é a matemática complexa do algoritmo OPA.

Deveci *et al.* (2022) apresentaram um novo modelo híbrido de tomada de decisão multicritério difuso para determinar locais ótimos de estacionamento de patinetes elétricos, combinando a *Logarithmic Methodology of Additive Weights* (LMAW) e o método RAFSI. Na primeira etapa, a abordagem LMAW baseada na função Aczel-Alsina difusa é usada para abordar a incerteza das opiniões dos especialistas no processo de decisão e calcular os pesos dos critérios. Uma das limitações do modelo é a impossibilidade de ver as inter-relações entre os atributos na matriz de decisão inicial.

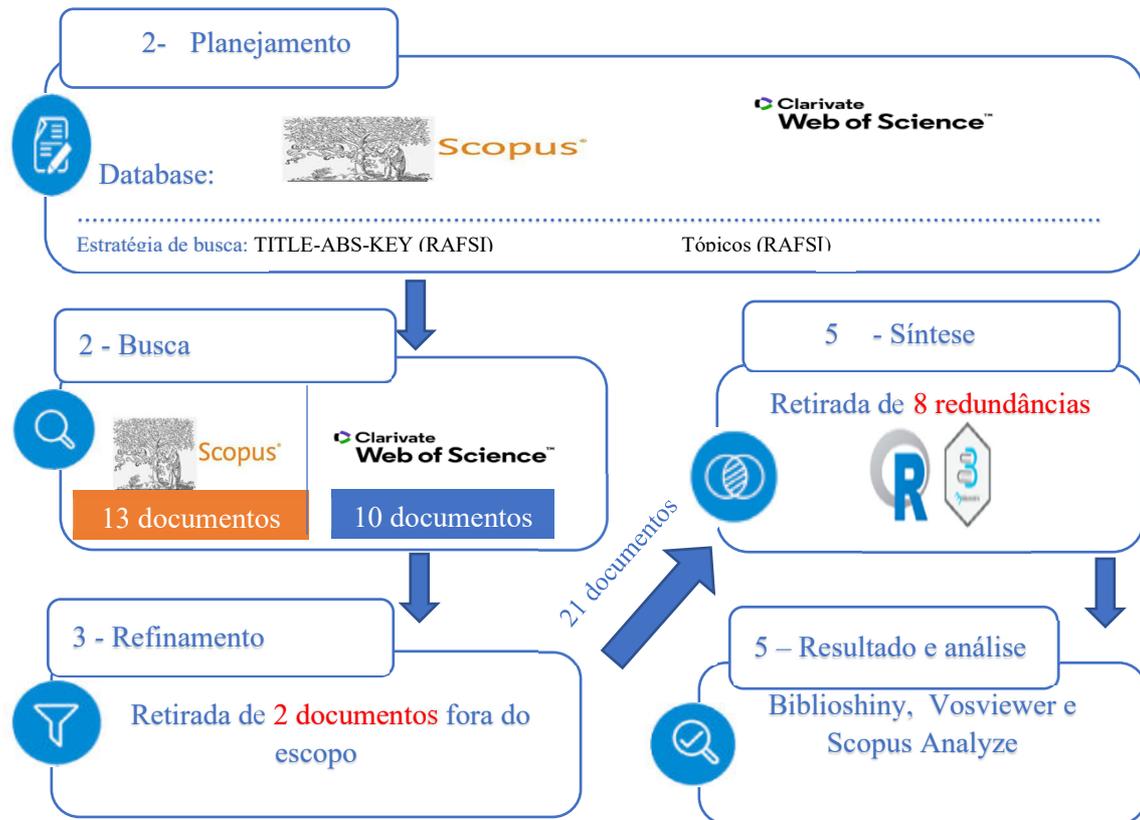
### 2.5.1 Mapeamento do estado da arte

Na base Scopus ao utilizar o seguinte filtro de pesquisa em 02/05/2023: TITLE-ABS-KEY (RASFI) foram encontrados 13 artigos.

Na base Web of Science ao utilizar o seguinte filtro de pesquisa em 02/05/2023: Tópicos (RASFI) foram encontrados 10 artigos.

Após foram retirados 2 artigos que estavam fora do escopo e após retirados mais 8 que estavam em redundância entre as duas bases. Após 13 documentos foram analisado utilizando o pacote Bibliometrix, conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 - Metodologia para levantar documentos na Base Scopus e analisar no pacote



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Girardi et al. (2022)

### 2.5.2 Resultados e análises

Começando é apresentado os artigos que são híbridos com outros métodos, o artigo da proposta do método RAFSI e novas abordagens a partir do método original, assim como uma revisão mais ampla utilizando o Bibliometrix com VOSviewer. Ao realizar uma pesquisa nas bases *Scopus* e *Web of Science*, foram encontrados 9 artigos híbridos que utilizam o RAFSI com outros métodos, conforme demonstra o Quadro 4.

Quadro 4 - Artigos híbridos encontrados na literatura

Título	Tipo	Método	Ano	Base
<i>Development of a Multi-Criteria Model for Sustainable Reorganization of a Healthcare System in an Emergency Situation Caused by the COVID-19 Pandemic</i> (Pamučar et al., 2020).	HIBRIDO	FUZZY - LBWA- MACBETH-RAFSI	2020	Scopus
<i>D numbers – FUCOM – FUZZY RAFSI model for selecting the group of construction machines for enabling mobility</i> (Božanić et al., 2021)	HIBRIDO	D numbers - FUCOM – FUZZY- RAFSI	2021	Scopus

<i>A Flight Base Selection for Flight Academy Using a Rough MACBETH and RAFSI Based Decision-Making Analysis (Akyurt et al., 2021)</i>	HIBRIDO	Rough MACBETH- RAFSI	2021	Scopus
<i>Floating photovoltaic site selection using Fuzzy Rough numbers based LAAW and RAFSI model (Deveci; Pamučar; Oguz, 2022)</i>	HIBRIDO	Fuzzy rough number (FRN) incluindo LAAW - RAFSI	2022	Scopus
<i>A New Hybrid Fuzzy Multi-Criteria Decision Methodology for Prioritizing the Antivirus Mask Over COVID-19 Pandemic (Kaya; Pamučar; Aycin, 2022)</i>	HIBRIDO	FUZZY-BWM- RAFSI	2022	Web of Science
<i>An integrated FUCOM-RAFSI model for assessing the potential of a new gateway port in libya for some african landlocked countries (Pamučar; Badi; Stevic, 2021)</i>	HIBRIDO	FUCOM-RAFSI	2022	Scopus
<i>Personal Mobility in Metaverse With Autonomous Vehicles Using Q-Rung Orthopair Fuzzy Sets Based OPA-RAFSI Model (Deveci et al. 2022).</i>	HIBRIDO	OPA (Ordinal Priority Approach) -RAFSI	2022	Scopus
<i>A Novel Approach of Ranking of Alternatives Through Functional Mapping of Criterion Sub-Intervals into a Single Interval (RAFSI) Method under a Fermatean Environment (Aro; Prasetyo; Persada, 2022).</i>	HIBRIDO	FUZZY RAFSI	2022	Scopus
<i>Sustainable E-scooter parking operation in urban areas using fuzzy Dombi based RAFSI model (Deveci et al., 2023).</i>	HIBRIDO	FUZZY Dombi, RAFSI	2023	Scopus

Fonte: Elaboração própria (2023)

Além da pesquisa para verificar os métodos híbridos, também foi verificado o artigo da proposta do método RAFSI e novas abordagens a partir do método original, conforme indica no Quadro 5, onde 3 artigos foram encontrados.

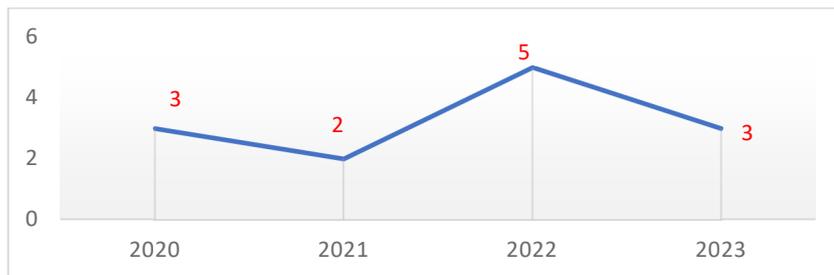
Quadro 5 - Proposta do método RAFSI e suas novas abordagens

Título	Tipo	Método	Ano	Base
<i>Eliminating Rank Reversal Problem Using a New Multi-Attribute Model-The RAFSI Method</i> (Žižović et al., 2020).	Proposta do método RAFSI	RAFSI	2020	Scopus
<i>Monitored air pollutants from waste-to-energy facilities in China: Human health risk, and buffer distance assessment</i> (Boré et al., 2022).	Extensão	Análise de incerteza e sensibilidade utilizando simulação de Monte Carlo e aplicação do método RAFSI e comparação de resultado com o método <i>Simple Additive Weighting</i> (SAW)	2022	Scopus
<i>A comparative assessment of multicriteria parametric optimization methods for plasma arc cutting processes</i> (Das; Chakraborty 2023)	Extensão	Uso do método MEREC e CRITIC para levantamento dos pesos dos critérios para uso do RAFSI.	2023	Scopus

Fonte: Elaboração própria (2023)

A Figura 15 demonstra a aplicação de RAFSI na produção científica anual de 2020 até 02/05/2023, onde é possível observar um crescimento de publicações em 2022 em relação a 2021, enquanto a Figura 16 demonstra a média de citações por ano até 02/05/2023.

Figura 15 - Produção científica anual – artigos



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

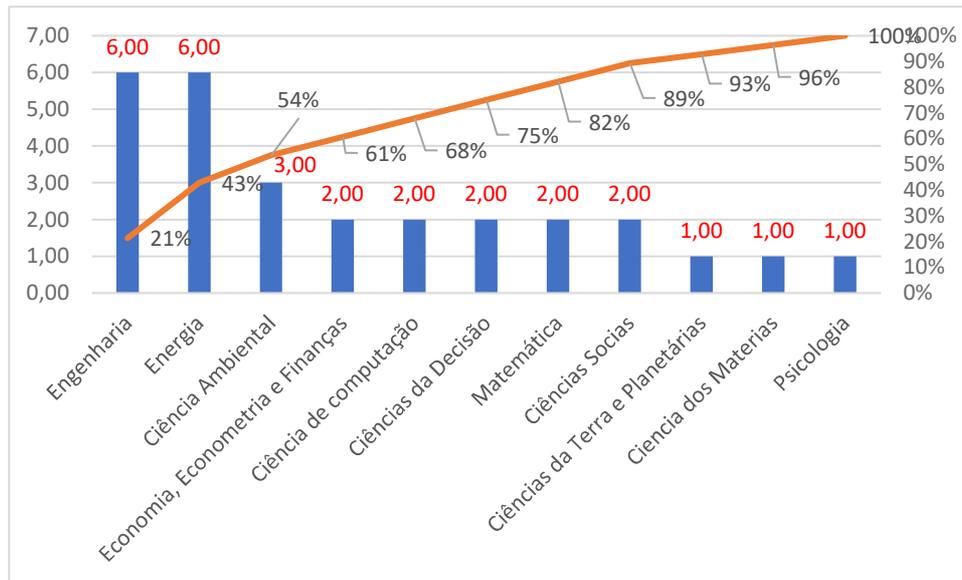
Figura 16 - Média de citações de artigos por ano



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

O Pareto da Figura 17 demonstra a quantidade de artigos publicados por área, em que foi aplicado RAFSI. É observado que as áreas de Engenharia, Energia, Ciência do Meio-Ambiente, Negócio, Gestão e Contabilidade, Ciência da Computação, Ciência da Decisão, Matemática e Ciência Sociais são as áreas que concentram cerca de 89% das publicações.

Figura 17 - Quantidade de publicações por área



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus pacote Bibliometrix (2023)

A Tabela 15 demonstra todos os *Journals* que obtiveram as maiores publicações em quantidade no assunto.

Tabela 15 - Fontes mais relevantes

Fonte	Documentos
<i>Mathematics</i>	2
<i>Atmospheric Pollution Research</i>	1
<i>Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering</i>	1
<i>Ieee Transactions On Engineering Management</i>	1
<i>Ieee Transactions On Intelligent Transportation Systems</i>	1
<i>International Journal For Quality Research</i>	1
<i>Applied Energy</i>	1
<i>Sustainable Cities And Society</i>	1

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

Completando, a relevância da avaliação dos Journals, a Tabela 16 mostra o índice H das fontes mais relevantes da pesquisa realizada em 02/05/2023.

Tabela 16 - Índice H das fontes mais relevantes

<b>Fonte</b>	<b>Índice H</b>
<i>Mathematics</i>	1
<i>Atmospheric Pollution Research</i>	1
<i>Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering</i>	1
<i>Ieee Transactions On Engineering Management</i>	1
<i>Ieee Transactions On Intelligent Transportation Systems</i>	1
<i>International Journal For Quality Research</i>	1
<i>Applied Energy</i>	1
<i>Sustainable Cities And Society</i>	1

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

Além das fontes, analisar os índices dos autores demonstra que os pesquisadores envolvidos no método estão sendo bastante citados e publicando de forma significativa. A Tabela 17 apresenta o índice H dos 17 autores mais relevantes da revisão bibliográfica, onde indica que o mais relevante é Muhammet Deveci, com um índice H de 3, ou seja, obteve 3 publicações sendo citadas pelo menos 3 vezes.

Tabela 17 - Índice H dos 17 autores mais relevantes do método RAFSI

<b>Autor</b>	<b>Índice H</b>
DEVECI M	3
PAMUČAR D	3
GOKASAR I	2
ŽIŽOVIĆ M	2
AKYURT I	1
ALBIJANIĆ M	1
BADI I	1
BORÉ A	1
BOŽANIĆ D	1
BRZAKOVIĆ P	1
CHATTERJEE P	1
CHEN Y	1
COFFMAN D	1

CUI J	1
DOLJANICA D	1
FELLNER J	1
GUPTA B	1

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

Além do índice H, foi novamente avaliado o índice G dos principais autores. Desta forma, ao avaliar o índice G de Dragan Pamučar, Tabela 18, fica entendido que as 8 principais publicações do autor foram citadas pelo menos 64 vezes ou 8<sup>2</sup>.

Tabela 18 - Índice G dos 17 autores mais relevantes

<b>Autor</b>	<b>Índice G</b>
PAMUČAR D	8
DEVECI M	5
GOKASAR I	3
ŽIŽOVIĆ M	2
AKYURT I	1
ALBIJANIĆ M	1
BADI I	1
BORÉ A	1
BOŽANIĆ D	1
BRZAKOVIĆ P	1
CHATTERJEE P	1
CHEN Y	1
COFFMAN D	1
CUI J	1
DOLJANICA D	1
FELLNER J	1
GUPTA B	1

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

A Tabela 19 demonstra a quantidade de publicações utilizando o método RAFSI dos 17 autores mais relevantes.

Tabela 19 - Publicações do método por autores

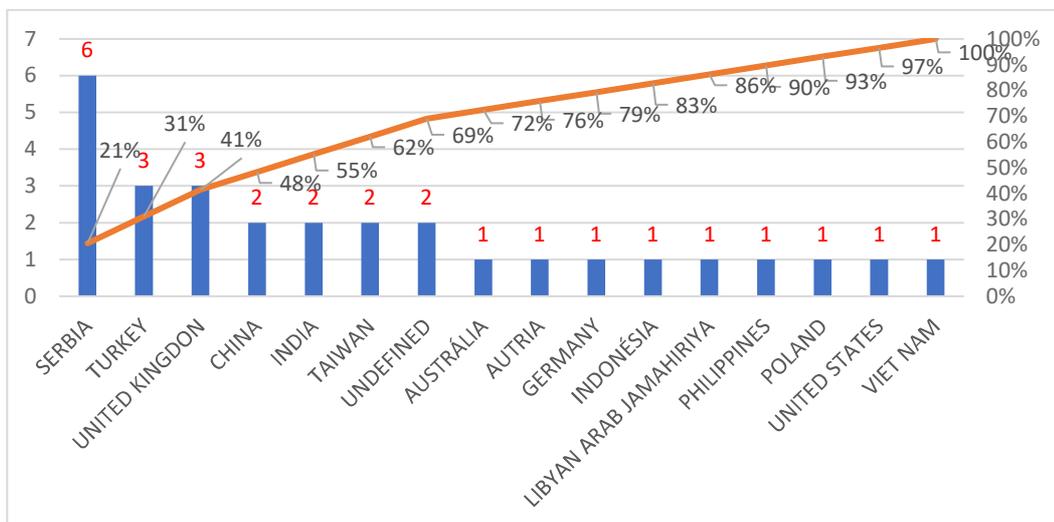
<b>Autor</b>	<b>Documentos</b>
PAMUČAR D	9

DEVECI M	5
GOKASAR I	3
ŽIŽOVIĆ M	2
AKYURT I	1
ALBIJANIC P	1
ALBIJANIĆ M	1
AYCIN E	1
BADI I	1
BORÉ A	1
BOŽANIĆ D	1
BRZAKOVIĆ P	1
CHAKRABORTY S	1
CHATTERJEE P	1
CHEN Y	1
COFFMAN D	1
CUI J	1

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus, Web of Science e pacote Bibliometrix (2023)

Analisando por região, identificou-se que mais de 60% das publicações foram desenvolvidas na Sérvia, Turquia, Reino Unido, China, Índia. Portanto, conclui-se que grande parte das pesquisas onde RAFSI é aplicado, são desenvolvidas na Europa e oriente. Existe uma oportunidade de aplicações do método no ocidente, principalmente na América do Sul, onde não foi identificada nenhuma publicação, conforme demonstra no gráfico de Pareto da Figura 18.

Figura 18 - Países que apresentaram mais publicações do método

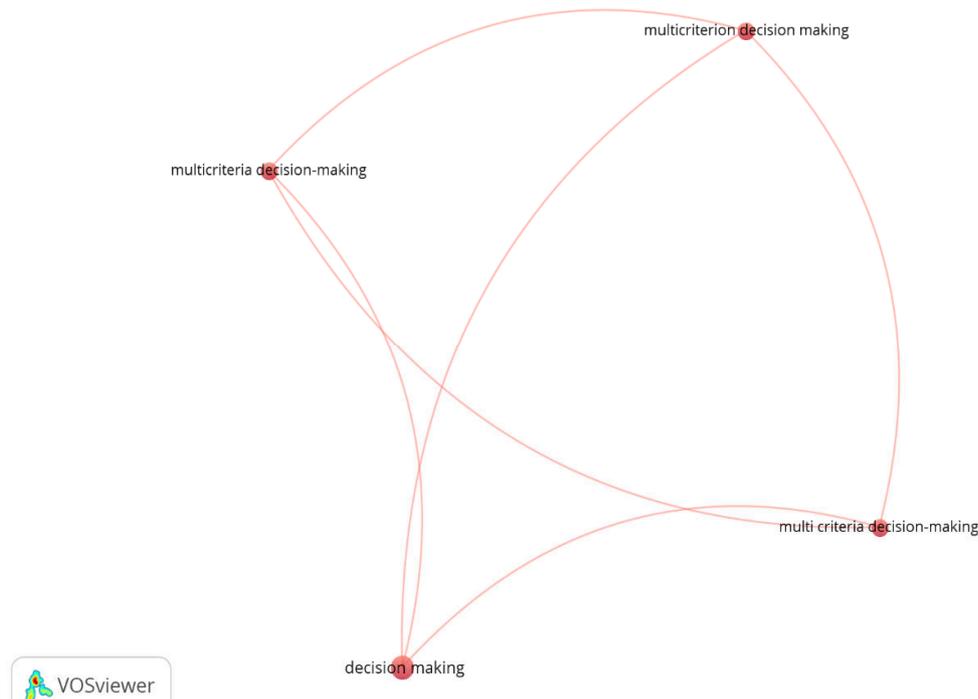


Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus pacote Bibliometrix (2023)

Assim como na revisão bibliométrica anteriores, novamente o *software* VOSviewer foi usado para analisar *clusters* de palavras-chave e a rede autoral.

Analisando os *clusters* de palavras-chave, considerando 3 como o número mínimo de ocorrências, verificou-se que somente 4 de 119 palavras-chave atingiram esse limite. A Figura 19 ilustra os *clusters* de palavras-chave obtidos.

Figura 19 - Análise de *clusters* de palavras-chave



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Scopus e software VOSviewer (2023)

A palavra-chave "*decision making*" tem o maior número de ocorrências ( $o = 5$ ) e a maior força total de vínculo ( $s = 9$ ), seguida por "*multicriterion decision making*", "*multi criteria decision-making*" e "*multicriteria decision-making*", todas com número de ocorrências e força total de vínculo iguais ( $o = 3$ ,  $s = 9$ ).

## 2.6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO MÉTODO FUCOM-RAFSI

Após realizar um levantamento bibliográfico na base *SCOPUS* e *Web of Science*, foi verificado a existência de somente dois artigos que utilizaram a conexão dos métodos FUCOM e RAFSI, visando estabelecer os pesos e ordenar as alternativas, respectivamente, sendo uma delas no campo militar. O levantamento foi realizado no dia 20 de novembro de 2023.

Na base Scopus ao utilizar o seguinte filtro de pesquisa em 20/11/2023: TITLE-ABS-KEY (FUCOM) and TITLE-ABS-KEY (RAFSI) foram encontrados 2 artigos.

Na base Web of Science, ao utilizar o seguinte filtro de pesquisa em 20/11/2023: Tópicos (RASFI) *and* Tópicos (FUCOM) foram encontrados os mesmos 2 artigos.

Pamučar *et al.* (2021) utilizaram o método FUCOM para gerar pesos dos critérios e método RAFSI para avaliar o potencial de um novo porto de entrada na Líbia para alguns países africanos sem litoral e foi comparado com outros três métodos: TOPSIS, VIKOR e SAW e os resultados aqui obtidos são muito semelhantes aos achados, o que indica a confiabilidade dos resultados do modelo.

Božanić *et al.* (2021) novamente utilizaram o método híbrido FUCOM-RAFSI combinado com números D para resolver o problema da seleção do grupo de composição de máquinas de construção para permitir a mobilidade das unidades do Exército Sérvio. O método proporcionou um bom tratamento da incerteza após a resolução do problema, reduzindo os dilemas relacionados às razões de ponderação do decisor sobre o valor a relação dos critérios.

Em ambos os artigos o pesquisador Dragam Pamučar aparece, no primeiro artigo como autor e no segundo como co-autor. Ele é um dos criadores do método RAFSI e principal autor de publicações do método.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta o procedimento para aplicação do método de estruturação de problemas *SCA*, demonstra o passo a passo e as equações dos métodos FUCOM, RAFSI, a ferramenta computacional proposta do método híbrido FUCOM-RAFSI e a definição de navio escolta.

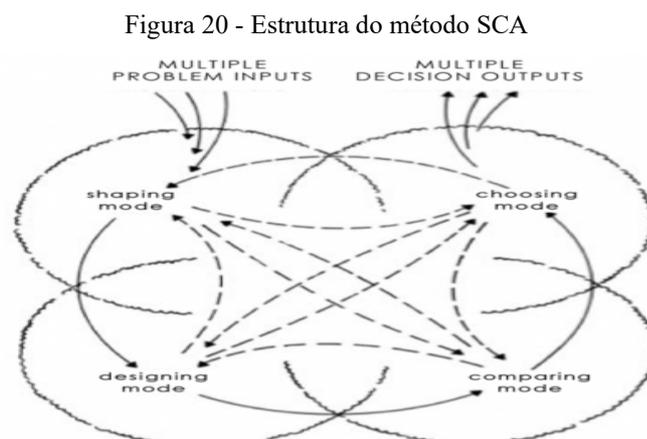
#### 3.1 STRATEGIC CHOICE APPROACH

O *SCA* é um PSM o qual se destaca pela sua capacidade em lidar com problemas de decisões interconectadas e em gerenciar a incerteza ao longo do tempo. (Rosenhead, 2006),

No *SCA* são feitas comparações interativas dos esquemas alternativos de decisão, o que ajuda a mostrar as principais incertezas que cercam o problema e auxiliam os decisores a trabalharem juntos para haver avanços seguros no ambiente decisório (Mingers; Rosenhead, 2004). A principal função dos facilitadores no *SCA* é auxiliar os participantes a modelarem as interconexões existentes nas áreas de decisão e as comparações ajudam a deixar claro quais são as incertezas-chave.

O método reconhece a importância de três áreas de incerteza principais no contexto das decisões propostas: Incertezas sobre o Ambiente de trabalho (UE), Incertezas sobre os Valores - Guia da Organização (UV) e Incertezas sobre Escolhas em Agendas Relacionadas (UR).

Segundo Friend e Hickling (1987), os quatro modos complementares do *SCA* podem ser caracterizados conforme mostra a Figura 20.



Fonte: Friend e Hickling (1987)

As etapas do Método SCA, conforme mostra a Figura 20, são:

*Shaping mode* (modelar): os decisores estão preocupados quanto ao conjunto de problemas de decisão que enfrentam, no caso é qual deve ser o conceito do produto para que

ele satisfaça a todos os *stakeholders*.

*Designing mode* (projetar): o foco nessa etapa é quais os cursos de ação são viáveis em relação ao problema moldado. O que é possível a organização criar para que o produto seja um sucesso no mercado, quais as possíveis coisas que o produto pode fazer, como as pessoas da organização vão precisar trabalhar para que tudo seja feito no tempo certo e tudo ocorra o mais próximo do planejado, para não haver perda de capital, devido a grandes mudanças que sejam necessárias realizar no final do projeto.

*Comparing mode* (comparar): a preocupação dos decisores nesta etapa é acerca das formas nas quais as implicações dos diferentes cursos de ação devem ser comparadas. As incertezas são tratadas e focadas, mesmo que algumas delas já tenham sido analisadas anteriormente.

*Choosing mode* (escolher): os atores envolvidos discutem como se comprometer com as escolhas, ao longo do tempo.

### 3.2 MÉTODO FUCOM

Como já foi citado o método FUCOM foi proposto por Pamučar, Stević e Sremac em 2018, na Sérvia, e segundo Badi e Ali (2019) as vantagens do modelo FUCOM são que permite o pareamento de comparação dos critérios por meio do uso de valores inteiros, decimais ou valores da escala predefinida para a comparação pareada dos critérios, além de ter uma única comparação (n-1) dos critérios. (Stević; Brković, 2020).

Após serem selecionados os critérios utilizando um PSM o método FUCOM tem os seguintes passos (Pamučar, Stević e Sremac, 2018).

Passo 1. Nesta etapa, são hierarquizados os critérios do conjunto predefinido de avaliação. A ordenação é realizada de acordo com a significância dos critérios, ou seja, partindo do critério que se espera ter o maior coeficiente de peso para o critério de menor significância:  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ , de forma que  $C_{j(1)} > C_{j(2)} > \dots > C_{j(k)}$ .

Passo 2. Nesta etapa, é realizada uma comparação dos critérios ranqueados e determinada a prioridade comparativa, onde k representa a classificação dos critérios de avaliação conforme Equação 1.

$$(\varphi_{k/(k+1)}) = \frac{C_k}{C_{k+1}} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Assim, obtêm-se os vetores das prioridades comparativas dos critérios de avaliação, como na expressão  $\Phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots, \varphi_{k/k+1})$ .

De acordo com as suas preferências, os decisores definem a prioridade comparativa

$k/(k+1)$  entre os critérios observados. Assim, por exemplo, se duas pedras A e B, que, respectivamente, têm os pesos de  $w_A = 300$  gramas e  $w_B = 255$  gramas são observadas, a prioridade comparativa ( $j A/B$ ) da Pedra A em relação à Pedra B é  $j A/B = 300/255 = 1,18$ . Além disso, se os pesos A e B não puderem ser determinados precisamente, mas uma escala predefinida é usada (por exemplo, de 1 a 9), então pode-se dizer que as pedras A e B têm pesos  $w_A = 8$  e  $w_B = 7$ , respectivamente. Em seguida, a prioridade comparativa ( $j A/B$ ) da Pedra A em relação com a pedra B pode ser determinada como  $j A/B = 8/7 = 1,14$ . Isso significa que a pedra A em relação a pedra B tem maior prioridade (peso) em 1,18 (no caso de medições precisas), ou seja, em 1,14 (no caso de aplicação de escala de medida).

Passo 3. Nesta etapa, são calculados os valores finais dos coeficientes de peso dos critérios de avaliação  $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ . Os valores finais dos coeficientes de peso devem satisfazer as duas condições seguintes:

a) A relação dos coeficientes de peso é igual à prioridade comparativa entre os critérios observados  $(\varphi_{k/(k+1)})$  definidos no passo 2, ou seja, é satisfeita a seguinte condição da Equação 2.

$$\varphi_{k/(k+1)} = \frac{w_k}{w_{k+1}} \quad (2)$$

b) Para além da condição da Equação 2, os valores finais dos coeficientes de peso devem satisfazer a condição de transitividade matemática, conforme Equação 3:

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (3)$$

Com base nos ajustes definidos, pode-se definir o modelo final para determinação dos valores finais dos coeficientes de peso dos critérios de avaliação conforme as Equações 4.

$\min \chi$

s. t.

$$\left| \frac{w_{j(k)}}{w_{j(k+1)}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| = \chi, \forall j$$

$$\left| \frac{w_{j(k)}}{w_{j(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| = \chi, \forall j$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, \forall j$$

$$w_j \geq 0, \forall j$$

(4)

Resolvendo as equações (4), obtêm-se os valores finais dos critérios de avaliação e o grau de consistência  $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T(\chi)$  dos resultados obtidos.

### 3.3 MÉTODO RAFSI

Como mencionado anteriormente o método RAFSI foi proposto por Žižović *et al.* em 2020, na Sérvia, e integra três pontos de partida para a tomada de decisões consistentes, que englobam a definição de pontos de critérios referenciais incluindo valores de critérios ideais e anti-ideais, definindo relações entre as alternativas consideradas e valores ideais/anti-ideais, e utilizando uma nova técnica de normalização de dados, baseada na definição de critério que mapeiam subintervalos de critérios em um intervalo de critérios exclusivo (Žižović *et al.*, 2020).

Primeiramente supõe-se que os decisores tenham que classificar  $m$  alternativas com base em  $n$  critérios, já tendo os pesos dos critérios e que eles estão atendendo à seguinte condição de soma dos pesos ser igual a 1. ( $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ ).

Os critérios podem ser do tipo benefício (maior é melhor) ou do tipo custo (menor é melhor). Alternativas  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) são definidas por seus respectivos valores ( $a_{ij}$ ) em cada critério ( $c_j$ ).

O método RAFSI tem as seguintes etapas (Žižović *et al.*, 2020):

Passo 1: Defina valores ideais e anti-ideais. Para cada critério, o decisor define dois valores,  $a_{Ij}$  para o valor ideal do critério e  $a_{Nj}$  para o valor anti ideal do critério. Para critérios do tipo benefício  $a_{Ij} > a_{Nj}$  e para critérios do tipo custo  $a_{Nj} < a_{Ij}$ .

Passo 2: Mapeamento dos elementos da matriz de decisão inicial em intervalos dos critérios. Com a finalidade de tornar todos os critérios da matriz de decisão inicial iguais ou transferi-los para os critérios intervalo  $[n_1, n_{2k}]$ , forma-se uma sequência de números a partir do intervalo  $k$  da maneira em que  $k - 1$  pontos são inseridos entre os valores mais altos e mais baixos do intervalo de critérios. Sugere-se que o valor ideal seja pelo menos seis vezes melhor que o anti-ideal (valor pouco aceitável), ou  $n_1 = 1$  e  $n_{2k} = 6$ . No entanto, o decisor pode utilizar outros valores preferenciais como  $n_1 = 1$  e  $n_{2k} = 9$ .

A função  $f_s(x)$ , Equação 5, é utilizado para inserir os subintervalos no intervalo de critérios  $[n_1, n_{2k}]$ , onde  $n_{2k}$  e  $n_1$  representam a relação que mostra até que ponto o valor ideal é preferido sobre o valor anti-ideal, e onde  $a_{Ij}$  e  $a_{Nj}$  representam valores ideais e anti-ideais dos critérios  $C_j$ , respectivamente:

$$f_s(x) = \frac{n_{2k} - n_1}{a_{Ij} - a_{Nj}} x + \frac{a_{Ij} \cdot n_1 - a_{Nj} \cdot n_{2k}}{a_{Ij} - a_{Nj}} \quad (5)$$

A função  $f_s(x)$  representa uma função que mapeia uma parte de um intervalo, mas também pode mapear um intervalo de critério no intervalo numérico correspondente. Portanto,

os números  $a_{Ij}$  e  $a_{Nj}$  pode representar: valores de dentro do intervalo de critério ou pontos finais do intervalo de critério.

Após aplicação da função  $f_s(x)$  em cada valor de critério é obtido a matriz de decisão padronizada  $S = [s_{ij}] m \times n$ .

Passo 3: Cálculo da média aritmética, Equação (6), e média harmônica Equação (7).

$$A = \frac{n_1 + n_2 k}{2} \quad (6)$$

$$H = \frac{2}{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2 k}} \quad (7)$$

Passo 4: Normalização da matriz de decisão padronizada  $S = [s_{ij}] m \times n$  obtendo a  $\hat{S} = [\hat{S}_{IJ}] m \times n$ . Para critérios do tipo benefício se utiliza a Equação 8 e para critérios do tipo custo se utiliza a Equação 9:

$$\hat{S}_{IJ} = \frac{S_{IJ}}{2A} \quad (8)$$

$$\hat{S}_{IJ} = \frac{H}{2S_{IJ}} \quad (9)$$

Passo 5: A função dos critérios das alternativas  $[V(A_i)]$  é calculado conforme a Equação 10. As alternativas são então classificadas segundo a ordem decrescente dos valores calculados  $[V(A_i)]$ .

$$V(A_i) = w_1 \hat{S}_{i1} + w_2 \hat{S}_{i2} + \dots + w_n \hat{S}_{in} \quad (10)$$

### 3.4 FERRAMENTA COMPUTACIONAL DO MÉTODO FUCOM-RAFSI

O tutorial da ferramenta computacional do método FUCOM-RAFSI demonstrada nessa dissertação foi aceito com um artigo no congresso nacional CNEG 2024, conforme descrito no Apêndice A.

Segundo Cinelli *et al.* (2020), a disponibilidade de software de implementação de métodos AMD teve um efeito notável na utilização de certos métodos. De fato, não é raro, que os analistas/decisores procurem software que implemente a abordagem selecionada.

O desenvolvimento de *software* é uma atividade exigente (em termos de custo e tempo). Como resultado, muitos métodos não são implementados em ferramentas autônomas, o que

pode dificultar a sua aplicabilidade em várias áreas (Cinelli *et al.*, 2020). Buscando mitigar essa dificuldade, foi criado o software FUCOM-RAFSI na linguagem R *version* 4.2.3, o qual foi utilizado para calcular os resultados do problema.

### 3.4.1 R Version

A linguagem R foi criada em 1993 por Robert Gentleman e Ross Ihaka, estatísticos da Universidade de Auckland, Nova Zelândia. Projetado para oferecer alto desempenho em análises estatísticas, mineração de dados, aprendizado de máquina e exploração de padrões em bases de dados, o R destaca-se pela sua eficiência e abrangência. Como uma linguagem de código aberto, o R conta com uma ampla variedade de pacotes, disponíveis principalmente por meio do repositório *Comprehensive R Archive Network* (CRAN). Esses pacotes, oferecidos gratuitamente, tornam o R uma ferramenta extremamente versátil, aplicável não apenas à estatística e à ciência de dados, mas também a inúmeros outros campos (Barbara; Santos; Fávero, 2023).

### 3.4.2. Descrição da Ferramenta e Aplicação

A ferramenta computacional web proposta foi desenvolvida em R *version* 4.2.3. O serviço web publicado é disponibilizado à comunidade por intermédio do portal shinyapps.io ([www.shinyapps.io](http://www.shinyapps.io)). Os códigos dos métodos FUCOM (R Core Team, 2024 A) e do RAFSI (R Core Team, 2024 B) foram submetidos e aprovados no CRAN, que é um repositório de pacotes e extensões da linguagem R. Todos os pacotes que estão disponíveis no CRAN são aceitos após uma criteriosa certificação do cumprimento de rígidos padrões (Barbara; Santos; Fávero, 2023). Nos Apêndices B e C, é possível ver os códigos que determinam as funções axiomáticas dos métodos.

Para Vanzetta, Gomes e Santos (2024f) o tempo necessário para obter os resultados ao utilizar o software é limitado apenas pelo tempo de inclusão dos dados, uma vez que todos os cálculos são realizados automaticamente.

O aplicativo está hospedado no serviço de *cloud* do próprio shinyapps, e pode ser acessado pelo link <https://mateus-vanzetta.shinyapps.io/FUCOM-RAFSI/>.

Ao acessar a ferramenta supracitada, o usuário irá se deparar com a página com um resumo sobre a ferramenta conforme Figura 21:

Figura 21 - Home da página da ferramenta



Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

A ferramenta possui um menu superior, como mostrado na Figura 21, onde pode escolher se quer utilizar somente o método FUCOM, somente o método RAFSI, ou o método híbrido FUCOM-RAFSI.

De modo a ilustrar a aplicação de ambos os métodos e aplicação da ferramenta, é aplicado num exemplo didático. Imagine um processo de aquisição de carro sedan pequeno, com uma lista de 4 veículos (considerando todos os modelos de entrada). Os dados técnicos foram obtidos nos sites dos fabricantes:

1. HB20S (A1);
2. Chevrolet Onix Plus (A2);
3. Fiat Cronos (A3); e
4. Toyota Yaris (A4).

Os critérios a serem medidos, para os veículos, são:

1. Preço (C1) - Custo;
2. Quantidade de Airbags (C2) - Benefício;
3. Consumo na estrada (km/l) (C3) Benefício; e
4. Tamanho do Porta-Malas (C4) - Benefício.

Ao selecionar a aba do método híbrido FUCOM-RAFSI no menu superior, o usuário deverá indicar a quantidade de alternativas e critérios a medir. Não pode ser inseridos nomes repetidos e nem deixar o espaço do nome em branco. Caso não forem atendidas essas condições, o botão de “Inserir dados dos critérios” não será habilitado e uma mensagem de erro irá aparecer

(Figura 22). As inserções dos nomes dos critérios deverão ser realizadas conforme a significância dos critérios, ou seja, partindo do critério que se espera ter o maior coeficiente de peso para o critério de menor significância (Figura 23):

Os critérios foram hierarquizados da seguinte forma de significância: Preço (C1) > Quantidade de Airbags (C2) > Consumo na estrada (km/l) (C3) = Tamanho do Porta-Malas (C4).

Figura 22 - Mensagem de erro por deixar nome em branco

FUCOM-RAFSI HOME FUCOM RAFSI FUCOM-RAFSI

### Calculadora do Método FUCOM-RAFSI

*Na primeira etapa o ranking dos critérios é realizado de acordo com a significância dos critérios; ou seja, partindo do critério que se espera ter o maior coeficiente de peso para o critério de menor significância.*

Número de Alternativas: 4

Número de Critérios: 4

Nome da Alternativa 1: HB20S

Nome da Alternativa 2: Onix Plus

Nome da Alternativa 3: Cronos

Nome da Alternativa 4: Yaris

Digite o nome do critério na posição 1 em significância: Preço

Digite o nome do critério na posição 2 em significância: Quantidade de Airbags

Digite o nome do critério na posição 3 em significância: Consumo na estrada (km/l)

Digite o nome do critério na posição 4 em significância:

Inserir dados dos Critérios

Nomes de critérios ou alternativas inválidos. Forneça nomes únicos e não deixe nenhum em branco.

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Figura 23 - Página da ferramenta híbrida FUCOM-RAFSI

FUCOM-RAFSI HOME FUCOM RAFSI FUCOM-RAFSI

### Calculadora do Método FUCOM-RAFSI

*Na primeira etapa o ranking dos critérios é realizado de acordo com a significância dos critérios; ou seja, partindo do critério que se espera ter o maior coeficiente de peso para o critério de menor significância.*

Número de Alternativas: 4

Número de Critérios: 4

Nome da Alternativa 1: HB20S

Nome da Alternativa 2: Onix Plus

Nome da Alternativa 3: Cronos

Nome da Alternativa 4: Yaris

Digite o nome do critério na posição 1 em significância: Preço

Digite o nome do critério na posição 2 em significância: Quantidade de Airbags

Digite o nome do critério na posição 3 em significância: Consumo na estrada (km/l)

Digite o nome do critério na posição 4 em significância: Tamanho do Porta-Malas

Inserir dados dos Critérios

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Após o botão “Inserir dados dos critérios” ser habilitado, segue-se para o próximo passo de inserir os dados dos critérios, com quatro abas, sendo a primeira para inserção da comparação par a par dos critérios em relação ao primeiro colocado (maior significância para o decisor) dos critérios, neste caso o critério Preço (C1) (Figura 24). Na comparação do critério C1 com ele mesmo é atribuído o valor de comparação 1 automaticamente, sem necessidade de inserir o valor.

Figura 24 - Inserção dos dados dos critérios

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Na segunda aba é atribuído se os critérios são do tipo benefício (maior é melhor) ou do tipo custo (menor é melhor).

Na terceira aba é inserido a relação entre o valor ideal ( $n_1$ ) e o valor anti-ideal, ( $n_{2k}$ ) sendo atribuído  $n_1 = 1$  e  $n_{2k} = 6$ .

Na quarta aba são definidos os valores ideais  $a_{Ij}$  e anti-deais  $a_{Nj}$  de cada critério.

Após preencher todos os campos das abas, o botão “Inserir dados na matriz de decisão” é habilitado, aparecendo um resumo dos dados inseridos para facilitar a visualização dos dados inseridos, assim como os pesos dos critérios calculados pelo método FUCOM (Figura 25).

Figura 25 - Rresumo dos dados inseridos

DADOS DOS CRITÉRIOS E PESOS CORRESPONDENTES

	Critério	↑ Tipo	↑ Valor.Ideal	↑ Valor.Anti.Ideal	↑ Peso
1	Preço	Custo	90000	105000	0.46154
2	Quantidade de Airbags	Benefício	7	2	0.23077
3	Consumo na estrada (km/l)	Benefício	18	13	0.15385
4	Tamanho do Porta-Malas	Benefício	585	350	0.15385

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Também irá aparecer a matriz de decisão para inserir os dados das alternativas conforme os critérios. Caso um dos dados inseridos pelo decisor estiver fora do intervalo dos valores ideais  $a_{Ij}$  e anti-ideais  $a_{Nj}$  atribuídos ao critério, uma mensagem de erro irá aparecer, informando para qual critério e alternativa aconteceu (Figura 26). Caso todos os valores estiverem dentro do intervalo, o botão de “Ranking Final das Alternativas e Pesos dos Critérios” será habilitado (Figura 27).

Figura 26 - Mensagem de erro informando que o valor está fora do intervalo

### Matriz de Decisão

	Preço	Quantidade.de.Airbags	Consumo.na.estrada..km.l.	Tamanho.do.Porta.Malas
HB20S	95590.00	4.00	15.00	475.00
Onix PI	99490.00	6.00	17.40	469.00
Cronos	130000.00	2.00	15.60	525.00
Yaris	97990.00	7.00	14.70	473.00

Ranking Final das Alternativas e Peso dos Critérios

Valor fora do intervalo para - Critério:  
Preço - Alternativa: Cronos

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Figura 27 - Botão de “Ranking Final das Alternativas e Pesos dos Critérios” será habilitado

### Matriz de Decisão

	Preço	Quantidade.de.Airbags	Consumo.na.estrada..km.l.	Tamanho.do.Porta.Malas
HB20S	95590.00	4.00	15.00	475.00
Onix PI	99490.00	6.00	17.40	469.00
Cronos	93990.00	2.00	15.60	525.00
Yaris	97990.00	7.00	14.70	473.00

Ranking Final das Alternativas e Peso dos Critérios

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Ao apertar o botão “Ranking Final das Alternativas e Pesos dos Critérios” é gerado os pesos atribuídos aos critérios pelo método FUCOM, assim como o desvio da consistência total (DFC) (Figura 28). Ainda apresenta um gráfico para melhor retratar os pesos calculados. (Figura 29).

Figura 28 - Pesos dos critérios e desvio da consistência total (DFC)

**PESOS DOS CRITÉRIOS**

	Critério	Peso
1	Preço	0.46154
2	Quantidade de Airbags	0.23077
3	Consumo na estrada (km/l)	0.15385
4	Tamanho do Porta-Malas	0.15385

Showing 1 to 4 of 4 entries Previous  Next

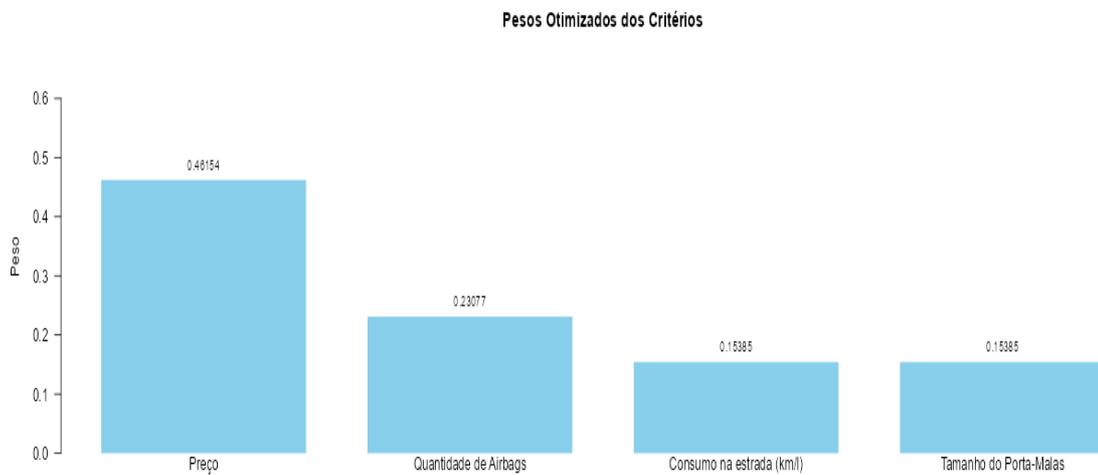
**GRAU DE CONSISTÊNCIA**

**DFC**

0.00000
---------

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Figura 29 - Gráfico dos pesos dos critérios calculados



Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Também é gerado ranking das alternativas ( $V(A_i)$ ) de acordo com o método RAFSI (Figura 30).

Figura 30 - Ranking das alternativas (V(Ai))

RANKING FINAL DAS ALTERNATIVAS

Alternativa	V_Ai	Posição
Onix Plus	0.456162058541955	1º
Yaris	0.444628111191518	2º
Cronos	0.385686288935196	3º
HB20S	0.383427560028116	4º

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

A Figura 30 supracitada mostra o ordenamento: Onix Plus > Yaris > Cronos > HB20S. Ainda é possível obter mais resultados dos métodos FUCOM e RAFSI, utilizando os botões de ocultar/mostrar conforme Figura 31, além de um botão para imprimir um PDF dos resultados obtidos.

Figura 31 - Botões para mostrar e ocultar resultados



Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

### 3.5 NAVIO ESCOLTA

Os navios de escolta incluem fragatas, corvetas e contratorpedeiros, também conhecidos como destróieres. Estes navios se distinguem pela sua dimensão, pelo número de armas e pela potência do motor. O objetivo de uma escolta é proteger uma unidade de maior valor, que pode ser um navio aeródromo, um navio de transporte de tropas ou um navio de suporte logístico. Portanto, seu principal papel é aniquilar ou neutralizar aeronaves e navios adversários. Por exemplo, as fragatas do Brasil possuem mísseis anti-navio, canhões e lança-torpedos. (Tenório *et al.*, 2020).

Os navios de escolta precisam ter capacidade antissubmarino, antissuperfície e antiaérea para defesa de ponto (disponibilidade de mísseis). Além disso, é necessário ter capacidade para transporte, reabastecimento, operação e manutenção de helicópteros, capazes de atacar alvos de superfície e submarinos, além de realizar operações de esclarecimento. (Gomes, 2019, Santos; Costa; Gomes, 2021).

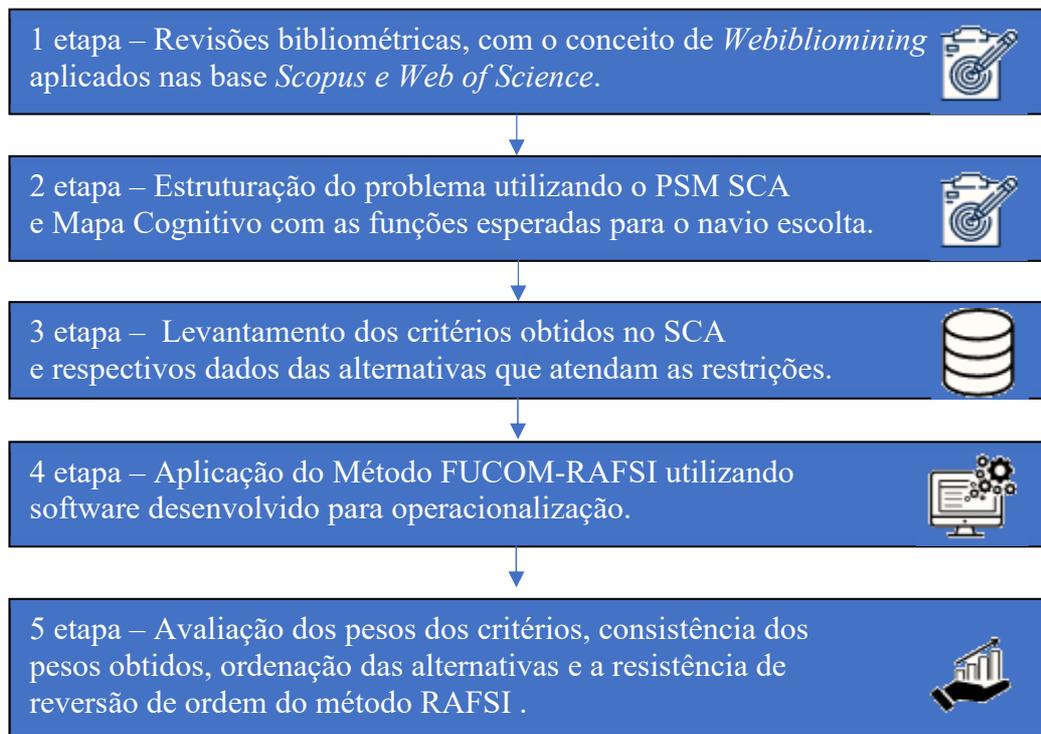
## 4 METODOLOGIA

Este capítulo é destinado à apresentação da metodologia utilizada para a realização da revisão bibliométrica, para levantamento das alternativas, dos critérios utilizados para a estruturação do estudo de caso relacionado a obtenção de um navio escolta que atenda aos requisitos funcionais da Marinha do Brasil (MB). Entretanto, antes de realizar-se a implementação do método FUCOM-RAFSI aos dados do caso, faz-se necessário compreender-se a situação problemática, o que foi realizado utilizando o PSM SCA.

De acordo com De Souza (2014), a definição de método não se resolve em uma fórmula consensual, comportando, ao contrário, várias alternativas. Conforme a classificação proposta por Creswell e Creswell (2017), esta pesquisa pode ser caracterizada como qualitativa-quantitativa mista, combinando estudo de caso e modelagem matemática (Bertrand; Fransoo, 2002). Ela é qualitativa aplicada, pois procura investigar problemas concretos e, além disso, será realizada uma revisão da literatura. Ela tem uma abordagem quantitativa, pois apresenta aplicações dos métodos AMD.

Os procedimentos metodológicos adotados para realização da pesquisa foram estabelecidos conforme ilustra a Figura 32.

Figura 32 -Etapas da metodologia aplicada



Fonte: Elaboração própria (2024)

Nas revisões bibliométricas da etapa 1 realizadas nesta pesquisa, foram adotados o conceito de *Webibliomining*, adaptada do modelo proposto por Costa (2016) com a abordagem utilizada foi testada nos bancos de dados *Scopus* e *Web of Science* dos métodos FUCOM e RAFSI, de métodos de apoio multicritério à decisão aplicados à seleção de meios operativos em ambientes militares, principalmente navios, buscando avaliar critérios e métodos utilizados, assim como de PSM para estruturação de problemas em problemas militares.

As informações necessárias para estruturação do problema da etapa 2 e levantamento dos critérios e respectivos dados das alternativas da etapa 3 foram obtidas mediante de consultas a documentos fornecidos pela MB, artigos publicados na base Scopus, sites civis e validadas em entrevistas com oficiais do setor operativo (responsáveis pelas operações dos navios) e do setor de material (responsáveis pelos projetos, aquisições e manutenções de meios).

As entrevistas da etapa 2, conforme Apêndice D, foram conduzidas no dia 6 de junho de 2024, sendo convidados a participar da pesquisa de forma informal, por meio de contato direto, um grupo de 4 oficiais da MB, alguns com maior experiência no setor operativo e alguns com maior experiência do setor de material, todos com mais de 10 anos de experiência no assunto. Estes participantes foram selecionados devido ao seu conhecimento técnico e operacional, e suas respostas foram utilizadas para validar os dados técnicos obtidos dos documentos da MB em uma entrevista semiestruturada.

As informações para levantamento dos critérios e respectivos dados das alternativas da etapa 3 foram obtidas mediante consultas a documentos fornecidos pela MB, artigos publicados na base Scopus, sites civis e validadas em entrevistas semiestruturada, conforme Apêndice E, no dia 15 de julho de 2024 com os mesmos oficiais disponibilizado na etapa anterior e as respostas foram utilizadas para validar critérios, suas respectivas relevâncias e as alternativas de navios escoltas.

A pesquisa realizada é de natureza quantitativa, com perguntas específicas que resultam em respostas que podem ser codificadas numericamente e aplicada. O objetivo principal foi validar dados técnicos provenientes de documentos da MB, de artigos publicados na base Scopus e de sites civis. O tipo de pesquisa é descritivo, pois busca descrever e interpretar dados já existentes, com um foco documental e de levantamento, uma vez que envolve a coleta de dados por meio de questionários junto a oficiais da MB. A análise é voltada para identificar padrões e validar informações técnicas.

Não foi exigida a assinatura de um termo de consentimento ético, uma vez que as informações coletadas são de natureza técnica e operacional, não envolvem dados pessoais ou sensíveis, e as respostas foram fornecidas de forma anônima. A ausência do consentimento

ético formal é justificada com base na Resolução n.º 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), que dispensa o consentimento em pesquisas de baixo risco e que não envolvam dados pessoais identificáveis.

Sobre as entrevistas, foram elaborados questionários semiestruturado visando validar dados técnicos provenientes de documentos da MB, de artigos publicados na base Scopus e de sites civis. O protocolo da entrevista foi baseado tanto no conhecimento e experiência do pesquisador, que possui mais de 10 anos de experiência no setor de material e manutenção de navios, quanto em práticas metodológicas descritas por autores reconhecidos em pesquisa qualitativa e análise técnica, como Yin (2018), que destaca a importância de entrevistas e questionários para validar e complementar dados provenientes de outras fontes documentais.

As respostas foram registradas durante as entrevistas e avaliadas. Os questionários foram distribuídos em formato físico, preenchidos manualmente pelos participantes e, posteriormente, as respostas foram organizadas para análise.

A análise de conteúdo é uma técnica de investigação que visa descrever, de maneira objetiva e sistemática, o conteúdo das comunicações. Ela permite a categorização de dados qualitativos, transformando-os em quantidades que podem ser analisadas para validar informações previamente existentes (Bardin, 1977).

As respostas foram tratadas por meio de análise de conteúdo, conforme sugerido por Bardin (1977). A análise envolveu a codificação dos questionários dos entrevistados em categorias, que permitiram identificar padrões, similaridades e diferenças nas respostas, focada em validar as respostas em relação aos dados já disponíveis.

**Codificação:** A unidade de registro foi sim e não para as respostas no contexto de validação dos dados obtidos em documentos da MB, de artigos publicados na base Scopus e de sites civis para obtenção de um navio escolta, funções esperadas, dificuldade de instalação, manutenção, forma de importar, exportar e modos de reduzir o impacto ambiental, critérios de seleção e possíveis alternativas de navios para validar os dados. As respostas foram codificadas como 1 para "Sim, essas opções cobrem todas as formas relevantes", 2 para "Não, há outra forma", 3 para "Não, retirar uma destas opções" e valores prioridade entre os critérios.

**Categorização:** Após análise dos questionários, foi feita a organização das perguntas e avaliado as respostas, ocorrendo uma convergência de respostas, como todos os entrevistados respondendo "Sim" para as 4 questões para aplicação do PSM, "Sim" para as 2 questões sobre os critérios e alternativas e convergência para os mesmos valores de significância entre os critérios propostos, colocando prioridade alta (valor 1), média (valor 2) e baixa (3) para os

critérios, sugerindo validação forte dos dados, fornecendo uma visão clara sobre o grau de validação dos dados, confirmando as informações existentes com base nas respostas obtidas.

Análise Quantitativa: Foi calculada a porcentagem de respostas "Sim" e "Não" para cada questão para avaliar o grau de validação das informações, assim como os valores prioridade entre os critérios.

Os seguintes documentos foram analisados para estruturar o questionário da pesquisa e validar os dados obtidos, mostrando como cada documento contribuiu para a construção e validação das questões do questionário, alinhando a pesquisa com as informações técnicas e operacionais necessárias.

EMA-305 - Doutrina Militar Naval, Brasil (2017 B): Utilizado exclusivamente para a aplicação do PSM. Este documento auxiliou na formulação de questões sobre a eficácia das operações de submarinos, além de contribuir para questões sobre a função de ações antissubmarino.

DGMM 0130: Manual do Apoio Logístico Integrado, Brasil (2013): Utilizado exclusivamente para o PSM. Este documento contribuiu para a identificação de possíveis manutenções para navios escolta e as dificuldades associadas, sendo empregado na formulação de questões sobre as manutenções e seus desafios.

EMA-420: Normas para Logística do Material, Brasil (2011): Também utilizado exclusivamente para a aplicação do PSM, fornecendo informações sobre as manutenções possíveis para navios escolta e as dificuldades associadas. Isso foi crucial para a elaboração de perguntas relacionadas às dificuldades de manutenção no questionário.

Vogt (2018), Novo Estudo de uma Escolta para a Marinha do Brasil: Este documento foi utilizado tanto para o PSM quanto para o levantamento de critérios e alternativas. No PSM, ele contribuiu para a formulação de questões sobre as funções esperadas dos navios escolta, bem como as dificuldades associadas à sua implementação e aquisição. No levantamento de critérios e alternativas, foi essencial para a definição dos critérios, valores ideais e anti-ideais, além da identificação de alternativas de navios disponíveis para aquisição.

Jane's Fighting Ships, Pape (2021). Este documento foi utilizado tanto para o PSM quanto para o levantamento de critérios e alternativas. No PSM, ele contribuiu para a formulação de questões sobre as funções esperadas dos navios escolta. No levantamento de critérios e alternativas, foi essencial para a definição dos critérios, valores ideais e anti-ideais, além da identificação de alternativas de navios disponíveis para aquisição.

Na etapa 4, foi desenvolvida um aplicativo *web* do método híbrido FUCOM-RAFSI para operacionalizar a aplicação e gerar os resultados, utilizando os dados validados na etapa

anterior, com 11 critérios e 7 alternativas. Aplicando o método FUCOM foi obtido os pesos dos critérios e com a aplicação do método RAFSI a ordenação das alternativas.

Na etapa 5 foram avaliadas os pesos dos critérios, consistência dos pesos obtidos e a ordenação das alternativas, onde também foi avaliado a resistência de reversão de ordem do método RAFSI com inserção e retirada de alternativas.

#### 4.1 ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

A estruturação do problema aplicando o método SCA demonstrada nessa dissertação foi aceito com um artigo no congresso nacional SAEPRO 2024, conforme como descrito no Apêndice A.

Aplicação do método SCA com a técnica de mapeamento cognitivo para estruturar o problema de obtenção de um navio escolta de modo a atender aos requisitos para necessários às funções operacionais para a MB, com resultados e discussões sobre eles. Segundo Vanzetta *et al.* (2024g) o SCA ajuda a reduzir a subjetividade e os Mapas Cognitivos dão suporte à identificação das áreas e opções de decisão do SCA o que ajuda a reduzir a subjetividade. Pode-se argumentar que este é um problema adequado à aplicação dos PSM, sobretudo do SCA, uma vez que se caracteriza como uma situação problemática complexa, devido à existência de diversas incertezas orçamentárias, operacionais, técnicas e políticas.

##### 4.1.1 Aplicação do SCA (*Strategic Choice Approach*)

Considerando a diversidade de incertezas para a operação num ambiente complexo de defesa que resguarde a soberania do país, a MB enfrenta grandes desafios. Porém, o método SCA se apresenta como uma das ferramentas que oferece recursos para lidar as diferentes incertezas principalmente no que tange à obtenção de navios escoltas, como descritos:

Incetezas sobre o ambiente de trabalho (UE - *Uncertainty about the working environment*): Incerteza sobre qual a melhor tecnologia utilizar, sobre forma de obtenção, sobre atendimento das funções operacionais, sobre instabilidade política, sobre o valor de obtenção, sobre a disponibilidade e capacidade das instalações portuárias e redes logísticas para apoiar as operações e manutenção dos navios, sobre capacidade de construção pela MB e sobre os recursos disponíveis de material, pessoal e incertezas sobre a vida útil que o meio terá.

Incetezas sobre o julgamento de valor (UV - *Uncertainty about guiding values*): Incerteza sobre os objetivos estratégicos da MB, sobre a influência e poder de diferentes grupos de interesse (*lobbies*) para qual decisão tomar e sobre a aceitação pública e política.

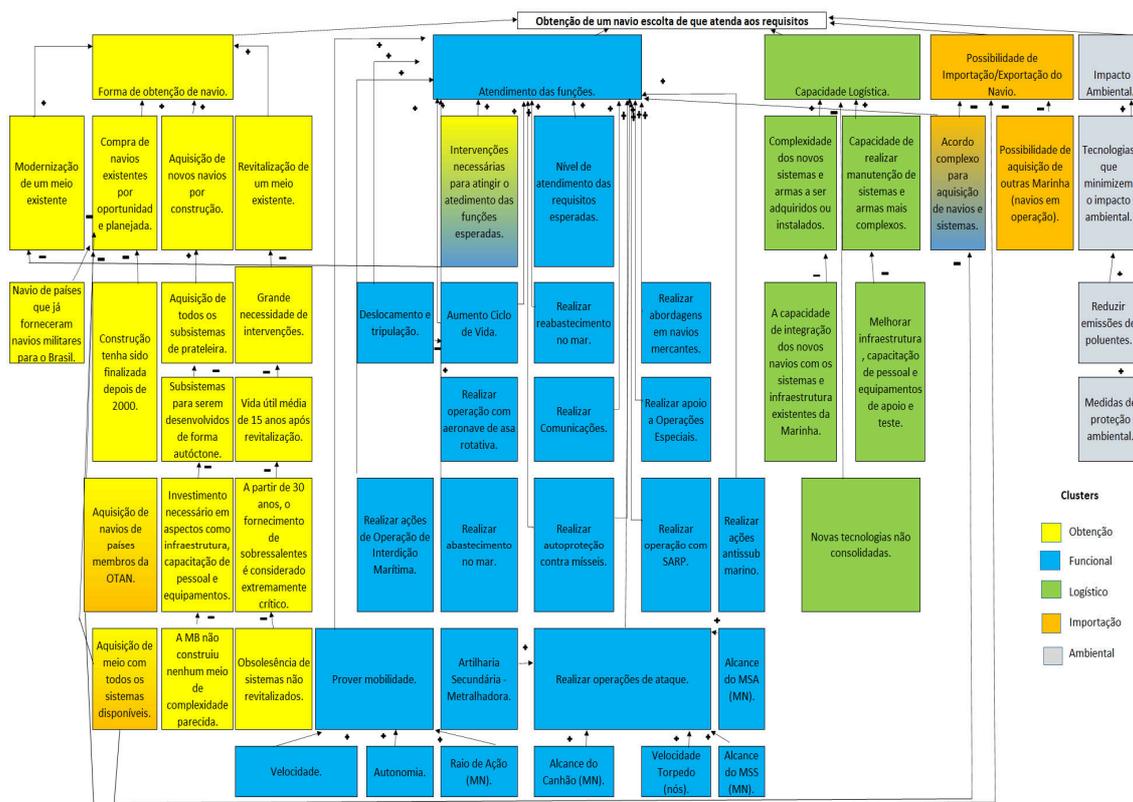
Incetezas sobre as escolhas relacionadas (UR - *Uncertainty about related decisions*):

Incerteza sobre a instabilidade política global e regional pode afetar a aceitação pública e política das decisões relacionadas à aquisição, operação de navios militares e valores gastos. A evolução da tecnologia naval pode influenciar as prioridades estratégicas em evolução da MB, à medida que novas capacidades se tornam disponíveis ou obsoletas.

#### 4.1.1.1 Modo de Modelagem

Para a etapa de modelagem foi utilizado um mapa cognitivo e com base nos *clusters* foram definidas as Áreas de Decisão, ou seja, aquelas áreas consideradas essenciais para a abordagem do problema. Os *clusters* são agrupamentos identificados visualmente em um mapa cognitivo em função de uma grande densidade de ligações que representam as afinidades entre os conceitos do mapa e são desenvolvidos segundo uma estrutura de árvore, isto é, agrupam os conceitos por áreas de interesse, reduzido as áreas de decisão para cinco áreas, conforme os *clusters*. A análise dos *clusters*, geralmente, foca em tópicos ou temas específicos, representando grupos de ideias relacionadas, conforme Figura 33.

Figura 33 - Mapa Cognitivo



Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Eden (1998).

O método SODA (*Strategic Options Development And Analysis*) permite estruturar e identificar problemas, sendo que a sua ferramenta é o Mapa Cognitivo que, por meio de uma

estrutura hierárquica de meios e fins, registra e elucida as visões individuais dos envolvidos em uma dada situação problemática. Para tal, o SODA emprega entrevistas e mapeamento cognitivo com construtos bipolares (Eden, 1988). O objetivo é eliminar ambiguidades intrínsecas e propiciar uma visão clara do contexto sob análise, viabilizando assim a identificação das potenciais soluções ou linhas de ação. (Eden, 1988).

O modo de modelagem é dedicado ao entendimento da situação problemática e do cenário em si com maior riqueza de detalhes para identificar com clareza as áreas de decisão envolvidas na aplicação, conforme o Quadro 6.

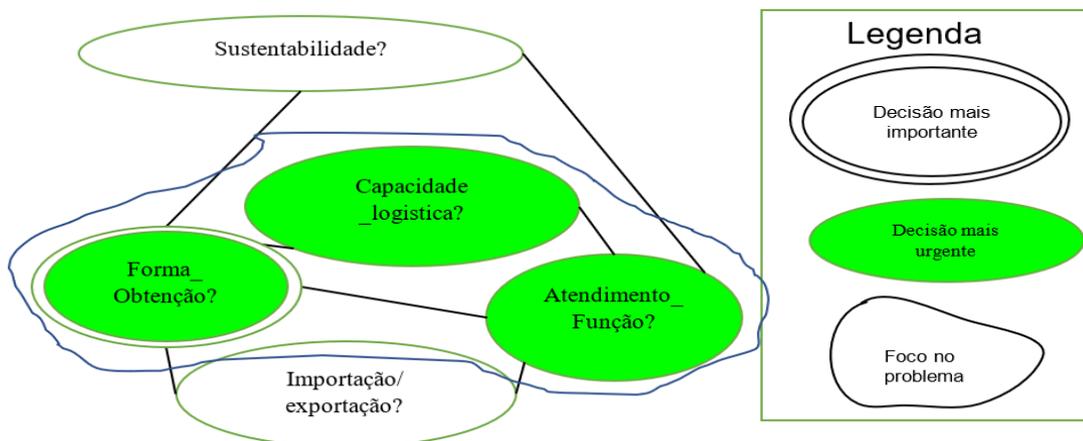
Quadro 6 - Áreas de Decisão e seus rótulos

Clusters	Áreas de decisão	Rótulo
Obtenção	Quais são os modos de obter um navio escolta de que atenda aos requisitos?	Forma_Obtenção?
Funcional	Quais dificuldades para adquirir e atender as funções do navio escolta?	Atendimento_Função?
Logística	De que modo os novos sistemas e armas se adequarão com os sistemas de manutenção da MB?	Capacidade_logistica?
Importação	Qual forma de importar/exportar os sistemas ou os navios?	Importação/exportação?
Ambiental	Qual forma de redução do impacto ambiental?	Sustentabilidade?

Fonte: Elaboração própria - Adaptado de Friend (1989).

Posteriormente, foi realizada a identificação das relações entre as Áreas de Decisão, identificando o foco do problema, sendo construído o grafo da Figura 34.

Figura 34 - Grafo de decisão



Fonte: Adaptado de Friend (1989).

#### 4.1.1.2 Modo Designing

Considerando as Áreas de Decisão identificadas como foco no problema, faz-se

necessário estabelecer as possíveis Opções de Decisão, que podem ser tomadas no presente ou em algum momento futuro, conforme o Quadro 7. Tais Opções de Decisão, em virtude da compatibilidade, correspondem às alternativas que serão avaliadas.

Quadro 7 -Áreas e opções de decisão

Áreas de decisão	Opção de Decisão	Rótulo
Quais são os modos de obter navio escolta que atenda aos requisitos?	-Modernização de um meio existente.	Forma_ Obtenção?
	-Compra de navios existentes por oportunidade planejada.	
	- Aquisição de novos navios por construção	
	- Revitalização de um meio existente.	
Quais formas de obter e atender as funções do navio escolta?	- Menor dificuldade para aquisição/instalação de sistemas e armas interferindo no atendimento dos requisitos e no valor de obtenção.	Atendimento_ Função?
	-Maior dificuldade para aquisição/instalação de sistemas, armas ou navios interferindo no atendimento dos requisitos e no valor de obtenção.	
De que modo os novos sistemas se adequarão com os sistemas de manutenção da MB?	- Optar por sistemas e armas com apoio logístico disponível na MB, podendo ter menor nível atendimento.	Capacidade_ logística?
	- Optar por sistemas e armas com apoio logístico ainda não disponível na MB, podendo ter maior nível atendimento.	

Fonte: Elaboração própria – Adaptado de Friend (1989).

A seguir são descritas as opções de decisão, apresentadas no Quadro 7.

A modernização de um meio existente envolve a atualização e aprimoramento das capacidades técnicas, operacionais e tecnológicas de uma classe de navio novo durante um período de manutenção previsto para a meia vida dele (Vogt, 2018). Isso pode incluir a instalação de sistemas mais avançados de armamento, comunicação e sensoriamento, bem como melhorias na propulsão e na eficiência energética, tendo que realizar diversas intervenções, sendo que algumas opções mais avançadas não são possíveis de serem instaladas por restrições de espaço, estruturais ou incompatibilidade de sistemas novos com antigos.

A opção de compra de navios existentes por oportunidade planejada envolve a aquisição de embarcações já construídas e disponíveis no mercado no mundo, que atendam às funções e especificações da MB (Tenório *et al.*, 2020). Isso permite a obtenção de navios testados e prontos para uso imediato, reduzindo tempo e custos em relação à construção de novas embarcações. A seleção baseia-se em critérios como capacidade operacional, ano de construção, custo-benefício, facilidade de aquisição e alinhamento com requisitos estratégicos e táticos da MB. A aquisição é limitada a navios de países membros da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), de países que já venderam navios militares para o Brasil, simplificando as negociações governamentais e restringida a navios com no máximo 24 anos de operação. Em média o tempo de vida útil de um navio deste tipo é 35 anos, segundo seu projeto, sendo a média de 37 anos dos navios de superfície da MB (Filho, 2021). No caso

específico das fragatas da Classe “Niterói”, comissionadas entre 1976 e 1980, algumas já ultrapassaram os 45 anos de serviço (Marinha do Brasil, 2025).

A opção de aquisição de novos navios por construção envolve o desenvolvimento de um projeto nacional pela MB, permitindo a criação de embarcações sob medida que atendam a todos os requisitos operacionais e estratégicos. Esta abordagem permite a incorporação das tecnologias mais recentes, garantindo capacidades avançadas. Apesar do maior investimento inicial e tempo de entrega comparado à compra de navios existentes, oferece maior controle sobre *design*, desempenho e características operacionais. Além disso, pode estimular a indústria naval nacional, gerando empregos e fortalecendo a capacidade de construção naval do país. No entanto, há riscos devido à falta de experiência da MB na construção de navios de escolta de primeira classe e o risco de falta de recursos financeiros pelo alto valor envolvido. (Vogt, 2018). A Marinha do Brasil (MB) possui experiência na construção de navios de escolta de menor porte, como as corvetas das classes *Inhaúma* e *Barroso*. A classe *Inhaúma* compreende quatro corvetas construídas entre 1983 e 1994, com os dois primeiros navios construídos no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ) e os dois últimos pelo Estaleiro Verolme. O programa enfrentou atrasos devido a problemas de financiamento e à insolvência do estaleiro Verolme em 1991, resultando na necessidade de completar as embarcações no AMRJ. O caso da corveta *Barroso* (V-34) exemplifica os desafios enfrentados pela MB na construção de navios de escolta. A construção iniciou-se em dezembro de 1994, com previsão de conclusão para meados de 1999. No entanto, devido a cortes de verbas e contingenciamentos orçamentários, a conclusão foi adiada por 108 meses, resultando em um total de 14 anos até sua incorporação em agosto de 2008. (Vogt, 2018).

A revitalização de embarcações existentes na MB envolve um processo abrangente para estender a vida útil e melhorar as capacidades operacionais dos navios. Isso inclui a instalação de novos sistemas de armas, sensores, equipamentos de comunicação, e atualizações em sistemas de propulsão, eletrônicos e de combate, com um aumento previsto de 10 a 15 anos na vida útil do navio (Canuto Filho, 2023). O objetivo é alinhar os navios com os padrões tecnológicos mais recentes, mantendo sua eficácia e relevância em cenários marítimos contemporâneos. A revitalização também pode melhorar a infraestrutura e as instalações dos navios, aumentando a eficiência operacional e reduzindo os custos de manutenção a longo prazo. Essa abordagem maximiza o retorno do investimento em embarcações existentes, prolongando sua vida útil e mantendo sua capacidade operacional. No entanto, há riscos associados à complexidade da integração de sistemas obsoletos com novos e à disponibilidade de peças de reposição para sistemas não substituídos.

Para atender as funções de um navio escolta para a MB com diferentes níveis de dificuldade para aquisição, instalação de sistemas, armas e navios, assim como para acordos de aquisição, existem duas abordagens distintas a serem consideradas, tanto para modernização, revitalização quanto à aquisição de novos navios (oportunidade e construção), sem levar em consideração o apoio logístico (manutenção). Ambas abordagens realizam as funções, mas com diferentes níveis de atendimento de requisitos, com diferentes configurações e valores de obtenção.

A primeira envolve a opção de utilizar sistemas e equipamentos que exigem menores intervenções, facilitando a integração de novos componentes em navios já em operação ou em novas construções, ou ainda adquirir navios de nações parceiras com maior facilidade, com projetos de sistemas que incorporem de forma fácil e eficiente novas tecnologias, sendo desejável a utilização de projetos com a arquitetura aberta (Filho, 2021). Essa abordagem prioriza a facilidade de aquisição de sistemas e navios, facilidade de instalação, menor dificuldade de negociação, menor valor, mas pode resultar em um nível menor de atendimento, mais próximos dos requisitos mínimos para o navio atender as funções, devido à dificuldade de adaptação de sistemas mais complexos aos navios existentes e às restrições de espaço e estruturais para instalação.

Por outro lado, a segunda abordagem busca atender melhor requisitos funcionais, mesmo que isso envolva maior complexidade na aquisição e integração de sistemas mais avançados e customizados ou buscar aquisições de maior desempenho de nações que não forneceram para o Brasil. Embora essa segunda opção seja mais desafiadora em termos de tempo, custo e burocráticos, pode oferecer um desempenho operacional superior e uma vantagem estratégica mais significativa. As funções foram descritas no *cluster* funcional do mapa cognitivos.

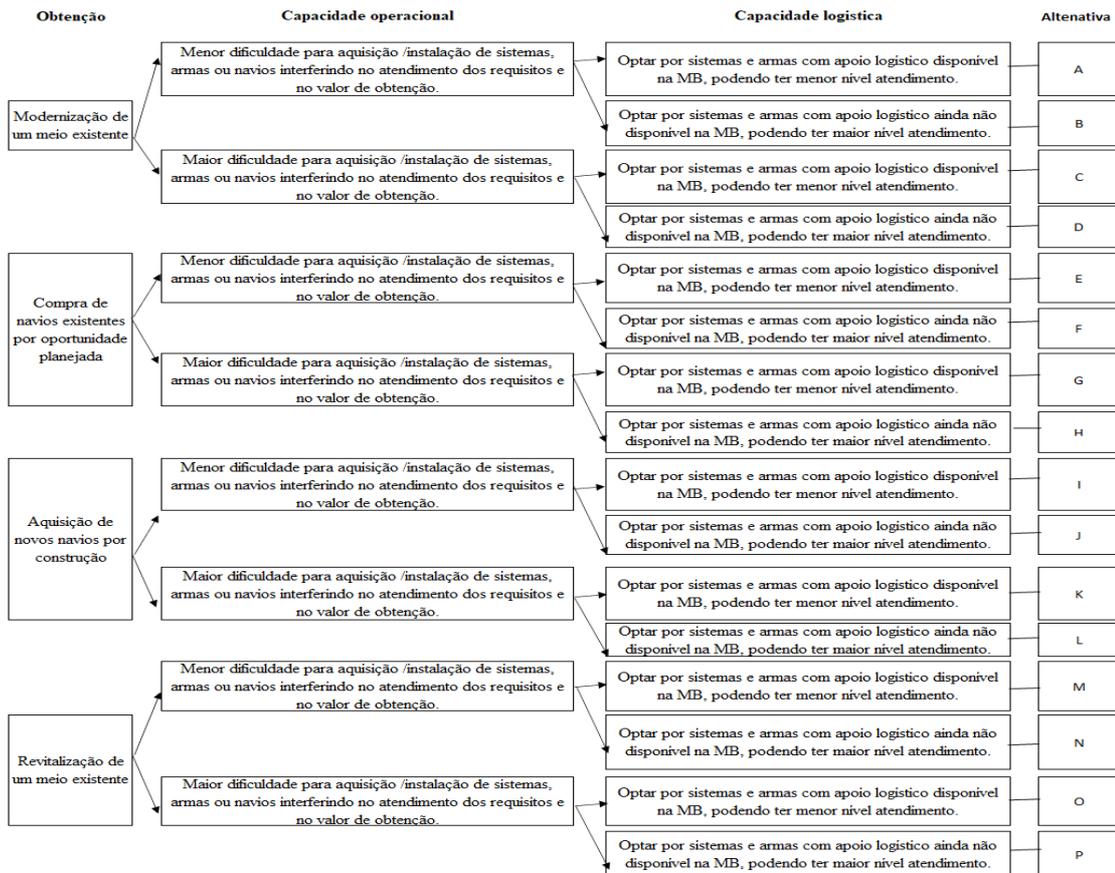
No contexto militar, a disponibilidade de navios é baseada na confiabilidade e essa na manutenção dos meios. Por isso, as manutenções precisam ser assertivas e ocorrer no tempo certo (Vanzetta; Gomes; Santos, 2023e). Então esta opção de decisão é baseada em priorizar ou não a aquisição e instalação de sistemas e armas com capacidade de apoio logístico disponível na MB, enfatizando a facilidade de apoio logístico (manutenção) disponível na MB. Essa abordagem busca simplificar os procedimentos de manutenção, minimizando os custos operacionais, de treinamento e reduzindo o tempo de inatividade dos navios. No entanto, é importante ressaltar que essa escolha pode resultar em uma capacidade operacional limitada, uma vez que os sistemas e armas podem ter menor desempenho em comparação com alternativas mais avançadas, cuja MB não possui apoio logístico disponível ainda. (Brasil,

2013).

#### 4.1.1.3 Modo comparação

Nesta seção definem-se os critérios de avaliação para as alternativas descritas na árvore de decisão da Figura 35.

Figura 35 - Árvore de decisão



Fonte: Elaboração própria - Adaptado de Friend (1989).

Na busca de escolher o melhor modo de obtenção de um navio escolta para atender os requisitos foram estabelecidos três Áreas de Comparação, conforme detalhado no Quadro 8.

Quadro 8 - Áreas de comparação

Ordem	Áreas de comparação	Rótulo
1º	Melhor atendimento das funções	Funções
2º	Custo para obtenção	Custo
3º	Aumento da vida útil	Vida

Fonte: Autores - Adaptado de Friend (1989).

Estes critérios serão pontuados em uma escala de 1 a 9, conforme sugere Friend e Hickling (2011), sendo 1 a melhor opção com menor custo, ou melhor atendimento das funções,

ou com maior aumento da vida útil.

Baseando-se nos critérios, todas as Opções de Decisão representadas na árvore de decisão da Figura 33 foram indicados por oficiais da MB para cada critério de comparação e os respectivos valores estão descritos na Tabela 20.

Tabela 20 - Classificação das áreas de comparação

Opção	Custo	Aumento da vida útil	Melhor atendimento das funções	Total	Ranking
A	10	11	11	32	8
B	12	10	9	31	7
C	16	10	9	35	12
D	18	9	7	34	11
<b>E</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>27</b>	<b>2</b>
<b>F</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>26</b>	<b>1</b>
G	14	8	8	30	5
H	16	7	6	29	3
I	13	8	9	30	5
J	15	7	7	29	3
K	19	7	7	33	10
L	21	6	5	32	8
M	7	14	16	37	14
N	9	13	14	36	13
O	13	13	14	40	16
P	15	12	12	39	15

Fonte: Elaboração própria - Adaptado de Friend (2011).

No total foram 16 alternativas, sem combinações incompatíveis, sendo todas analisadas. Todas as alternativas tiveram pontuações relevantes para avaliação, sem a necessidade de realizar um filtro para valores limitantes para cada critério.

#### 4.1.1.4 Modo de escolha

Considerando que a problemática consiste na obtenção de um navio escolta que atenda aos requisitos funcionais, as opções finais foram escolhidas conforme a soma das avaliações quanto aos critérios de menor custo, melhor atendimento das funções e aumento da vida útil. Nesse sentido, 2 opções se destacaram com a menor pontuação final próximas (27 e 26), sendo elas as opções E e F respectivamente.

Observa-se que as opções E e F não tiveram nenhum critério com pontuação mais baixa, mas foram compensadas com valores entre os mais baixos nos custos e aumento do ciclo de vida e um valor intermediário no atendimento das funções

- Opção E: Compra de navios existentes por oportunidade planejada com menor dificuldade para aquisição /instalação de sistemas e armas interferindo no nível atendimento dos requisitos, e no valor e optar por sistemas e armas com apoio logístico disponível na MB, podendo ter menor nível atendimento.

- Opção F: Compra de navios existentes por oportunidade planejada, com menor dificuldade para aquisição /instalação de sistemas e armas interferindo no nível atendimento dos requisitos, e no valor e optar por sistemas e armas com apoio logístico ainda não disponível na MB, podendo ter maior nível atendimento.

Uma vez que os detalhes das opções finais consideradas ótimas são comparados, nota-se que as subopções compra de navios existentes por oportunidade planejada, com menor dificuldade para aquisição /instalação de sistemas e armas buscando melhor atendimento das funções, aparece em ambos os casos, se diferenciando no apoio logístico disponível na MB, podendo ser que alguns sistemas e armas podem ser desconhecidos pela MB (necessitando novas estruturas e treinamento), quanto já conhecidos pela MB.

O próximo passo é o emprego de métodos multicritério de apoio à decisão para escolha de navios existentes para aquisição por oportunidade planejada, com navios dentro das restrições descritos no *cluster* obtenção como alternativas e utilizando as funções esperadas descritas no *cluster* funcional do mapa cognitivo como critérios para decisão da melhor alternativa.

#### 4.2 AVALIAÇÃO PELO MÉTODO FUCOM-RAFSI

A aplicação do método FUCOM-RAFSI demonstrada nessa dissertação foi aceito com um artigo no congresso nacional SBPO 2024, conforme como descrito no Apêndice A.

Objetivo é auxiliar na seleção de um navio de escolta que atenda às funções da MB utilizando um método de apoio multicritério à tomada de decisão (MCDM). A análise empregou o método FUCOM, para obter os pesos e o método RAFSI para ordenação das alternativas. Com restrição de serem navios de países da OTAN, de países que já venderam navios militares para o Brasil, com no máximo 24 anos de operação (entrou em operação depois de 2000), com as opções se diferenciando no apoio logístico disponível na MB, podendo ser que alguns sistemas e armas podem ser desconhecidos pela MB (necessitando novas estruturas e treinamento), quanto já conhecidos pela MB. O prazo de 24 anos corresponde, em média, à metade da vida útil dessas embarcações, estimada em cerca de 35 a 40 anos, o que ainda permite uma utilização razoável antes da obsolescência, equilibrando o custo de aquisição com a vida útil remanescente (Vogt, 2018).

O método FUCOM é um método subjetivo e foi escolhido por ser baseado nas comparações pareadas de critérios, onde é realizado um número reduzido de comparações com menor esforço cognitivo, no caso da seleção de navio escolta foram utilizados 11 critérios, sendo realizados 10 comparações entre critérios ( $n - 1$ ) e se comparado com outros métodos

subjetivos de comparação pareadas de critérios, como AHP, seriam necessários 55 comparações ( $n*(n-1)/2$ ) e BWM seriam necessários 19 comparações ( $2n-3$ ), além de ter um grande grau consistência, entre 0 e 0.025 (Pamučar; Stević; Sremac, 2018). Adicionalmente o FUCOM simplifica o processo ao permitir a atribuição de pesos de forma intuitiva. Essa abordagem é particularmente útil no contexto militar, onde os decisores muitas vezes tem dificuldade de expressar pesos exatos e preferem fornecer prioridades entre critérios.

Já o método RAFSI foi escolhido, pois elimina problemas de reversão de ordem, que ocorre quando uma alternativa é inserida ou excluída com mudança inesperada na ordenação, problema que acontece com outros métodos como TOPSIS, VIKOR, e COPRAS (Žižović *et al.* 2020), além do método possibilitar aos decisores resolver problemas complexos, tornando as decisões estáveis e coerentes em ambientes dinâmicos e incertos, onde o número de alternativas muitas vezes muda durante o processo (Akyurt *et al.*, 2021), como na seleção de navios escoltas com restrição de países que podem fornecer, podendo ter uma alteração de políticas e acordos internacionais, além de novos navios estarem em desenvolvimento e construção em países que já forneceram para o Brasil, podendo ser incluídos na análise novas alternativas assim como excluídos.

#### 4.2.1 Levantamento dos critérios

As funções que o navio deve atender estão descritas no *cluster* funcional do mapa cognitivo da Figura 33, sendo validados em entrevista com oficiais da MB e serão consideradas como critérios para seleção do navio a ser adquirido por oportunidade planejada:

C1: Alcance Canhão (MN): Alcance, em milhas náuticas, do canhão, que é armamento ou um conjunto de armamentos que confere a principal defesa ao navio, com alcance mínimo de 9 MN.

C2: Velocidade do Torpedo: ASW (*Anti-submarine warfare*): Velocidade em nós do torpedo utilizados em navios de guerra de superfície para deter, danificar ou destruir submarinos inimigos.

C3: Alcance MSS (Míssil Superfície Superfície): Alcance de míssil em milhas para o ramo da guerra naval que se refere à supressão de combatentes de superfície.

C4: Artilharia Secundária: Quantidade de metralhadoras, que agem em complemento a bateria principal (canhão).

C5: Realizar operação com aeronave de asa rotativa (helicóptero) (HE): Contribui para o valor combatente, transferência de carga e material e evacuação aeromédica. Como os navios

utilizam quantidade e modelos diferentes de aeronaves foram atribuídos valores que se deu por meio de uma escala de intervalos e seguindo os valores utilizados por Tenório *et al.*, 2020.

C6: Velocidade: Velocidade em nós correspondente ao regime de máxima potência das máquinas.

C7: Alcance MSA (Missil Superfície Ar) AAeW (*Anti-surface warfare*): Alcance, em milhas náuticas, de míssil para o ramo da guerra aérea para combater ameaças aéreas.

C8: Autonomia: intervalo máximo de tempo (em dias) que um navio é capaz de operar sem qualquer tipo de reabastecimento (combustível, água potável, gêneros alimentícios, etc.).

C9: Raio de Ação (MN): Distância máxima, em milhas náuticas, que o navio consegue alcançar saindo de sua base, e a ela regressar, sem necessidade de reabastecimento de combustível.

C10: Tripulação: Conjunto de pessoas, que asseguram a operação de uma embarcação e interfere negativamente no ciclo de vida do navio.

C11: Deslocamento: O deslocamento é a medida do peso correspondente ao volume de água que o navio desloca e interfere negativamente no ciclo de vida do navio.

O critério de custo foi utilizado como uma área de comparação em uma etapa inicial do processo, dentro da abordagem SCA, visando filtrar as opções de obtenção de navios escoltas mais viáveis. Nesse momento, o custo desempenhou um papel importante para determinar quais alternativas poderiam ser consideradas factíveis e compatíveis com os recursos disponíveis ao nível estratégico.

No entanto, em etapas posteriores, a decisão de não incluir o critério de custo na avaliação dos navios escoltas é fundamentada em várias razões. Primeiramente, os valores de aquisição desses navios militares não são amplamente divulgados, e as estimativas disponíveis podem ser imprecisas, ainda mais para aquisição por outro país (Brasil). Além disso, os custos são frequentemente definidos no momento da compra, o que dificulta uma análise precisa e confiável nesse aspecto.

Por fim, foi considerado que a MB irá dispor de recursos necessários para custear as aquisições, e que o principal objetivo do estudo é avaliar os navios escoltas quanto às características operacionais que possibilitem um maior retorno relacionado com as funções identificados.

#### 4.2.2 Levantamento das alternativas

Devido à restrição dos modelos serem de países que já venderam navios militares para o Brasil (para facilitar a negociação entre os governos) modelos como os navios *De Zeven*

*Provincien* da Holanda, *Fridtjof Nansen* da Noruega e *Iver Huitfeldt* e *Absalon* da Dinamarca não foram considerados. Além disso foram considerados navios dentro dos valores ideais e anti-ideias dos critérios. O navio *Baden-Wurtemberg* da Alemanha, com canhão com alcance de 7,2 MN, não foi considerado devido alcance do canhão não atender o critério C1. O navio *Daring* (Type 45) do Reino Unido não foi considerado por não ter torpedo e não atender a função realizar guerra anti-submarino, sendo escolhidas as alternativas para obtenção por oportunidade planejada:

A1: Sachsen (Type 124), da Alemanha, entrou em operação no ano de 2005, sendo a mais recente e avançada fragata de defesa aérea da Marinha Alemã, baseada no *design* da classe F123 Brandenburg, mas com melhorias em furtividade. Equipadas com os radares avançados APAR e SMART-L, essas fragatas são capazes de detectar aeronaves e mísseis furtivos. Embora classificadas como fragatas, têm capacidades e tamanho comparáveis a destróieres e foram projetadas para substituir a classe Lütjens. Elas compartilham semelhanças com a classe holandesa *De Zeven Provinciën*, utilizando o mesmo sistema antiaéreo. (Seaforce, 2024 A);

A2: Alvaro de Bazán da Espanha, entrou em operação no ano de 2012, (F100) é uma nova classe de fragatas de defesa aérea da Marinha Espanhola, equipada com o sistema de combate Aegis, capaz de rastrear centenas de alvos aéreos simultaneamente. Construídas pela Navantia, essas fragatas são uma das poucas fora dos EUA a utilizar o sistema Aegis. Elas servem como base para o destróier australiano da classe Hobart. Além disso, incorporam aço resistente a balas e sistemas antivibração para reduzir sua detecção por submarinos. (Seaforce 2024 B);

A3: Forbin (Horizon) da França, entrou em operação no do ano de 2011, sendo uma classe de destróieres de defesa aérea em serviço nas Marinhas da França e da Itália, originada de um projeto multinacional chamado *Common New Generation Frigate* (CNGF). O Reino Unido inicialmente participou do programa, mas se retirou em 1999 devido a diferenças nos requisitos, criando o destróier Tipo 45. França e Itália precisavam de navios com capacidades de curto alcance para escoltar seus porta-aviões, enquanto o Reino Unido exigia navios mais avançados para proteção de frotas em áreas hostis. A solução foi adotar uma interface de radar padrão. Após vários atrasos e desacordos, o sistema de lançamento de mísseis Sylver foi escolhido. O navio conta com uma poderosa capacidade antissubmarino, modernos e eficientes sistemas de defesa contra radares inimigos e contra armamentos como mísseis anti-navio e torpedos que eventualmente sejam lançados contra o navio. (Seaforce 2024 C);

A4: Aquitaine da França, entrou em operação no ano de 2019. A classe FREMM (Fragata Europeia Multi-Missão) foi desenvolvida para as Marinhas da França e da Itália, com

navios projetados para múltiplas funções. A França encomendou variantes antissubmarino e de defesa aérea, enquanto a Itália adquiriu variantes de propósito geral e antissubmarino. Originalmente, 27 navios estavam planejados, mas cortes orçamentários reduziram a frota para 11 para a França e 10 para a Itália. A França também propôs a variante FREDa, focada em defesa aérea, para substituir fragatas antigas, São fragatas com capacidade ASW, AAEW e ataque terrestre. As missões essenciais das FREMM são o domínio do meio aeromarítimo e a participação ativa em conjunto, assim como o apoio ao grupo aeronaval e anfíbio (Seaforce 2024 D);

A5: Andrea Doria da Itália, entrou em operação no ano de 2009. Originada da classe Horizon, composta por fragatas de defesa aérea em serviço com a Marinha Francesa e a Marinha Italiana, sendo classificadas como destróieres pelos italianos. O programa começou como a CNGF e envolveu uma colaboração multinacional, com o Reino Unido participando inicialmente, mas se retirando em 1999 devido a divergências de requisitos. França e Itália continuaram o projeto, encomendando juntos quatro navios que operariam com o sistema de mísseis PAAMS. As unidades italianas, Andrea Doria e Caio Duilio, foram entregues em 2007 e 2009 (Seaforce 2024 E);

A6: Bergamini da Itália, entrou em operação no ano de 2021. A classe FREMM é uma série de fragatas projetadas para as marinhas da França e da Itália, com variantes para ASW e propósito geral (GP). Inicialmente, foram planejadas 10 fragatas para a Marinha Italiana, com quatro variantes ASW e seis GP. Em 2015, o governo italiano aprovou a construção das unidades 9 e 10, todas com capacidades ampliadas de defesa aérea e sistemas de radar avançados. As dez FREMM italianas terão capacidades ampliadas de defesa aérea (AAW), utilizando o sistema SAAM-ESD com mísseis Aster 30 e Aster 15 e radar 3D ativo MFRA. As últimas fragatas incluem melhorias como antenas IFF conformais e maior furtividade, além de substituições no sistema de lançamento de contramedidas. (Seaforce 2024 F); e

A7: Thaondi Revel da Itália, entrou em operação no de 2021, também conhecida como PPA ("*Pattugliatore Polivalente d'Altura*"), é uma classe de navios de patrulha multipropósito construída pela Fincantieri para a Marinha Italiana. A classe é projetada com alta modularidade e automação, podendo ser entregue em três configurações: full, light + e light, variando de acordo com os sensores e equipamentos embarcados. As funções incluem patrulhamento, operações de resgate no mar e, na versão mais equipada, combate de linha de frente. A Marinha Italiana encomendou o novo míssil pesado MBDA TESEO MK/2E ("*TESEO EVO*"), um míssil anti navio de longo alcance com capacidade de ataque terrestre estratégico. Ele terá um novo sistema terminal com um buscador de Frequência de Rádio com alcance superior a 360 km,

comparado ao OTOMAT/TESEO anterior, que tinha alcance superior a 180 km (Seaforce 2024 G).

As informações técnicas-operacionais dos principais navios disponíveis no mundo para comercialização que atendem os requisitos da melhor opção do SCA são resumidas no Quadro 9.

Quadro 9 - Quadro comparativa dos parâmetros navios escoltas moderno

Alternativa	Autonomia	Deslocamento	Velocidade	Raio de Ação	Tripulação.	Artilharia Principal	Artilharia Secundária	AAeW (MSA)	ASuW (MSS)	ASW	HE
A1	21	5690	29	4000	255	Oto Melara 76mm	2 x Rheinmetall MLG 27mm e 4 x MGs 12.7mm	Raytheon Standard SM-2MR Block IIIA	RGM-84D	MU90	2 x LYNX ou NH90
A2	21	6250	28	4500	201	FMC Mk 45 Mod 2 127mm	2 x BAE Mk 38 Mod M242 25mm, 2 x Oerkilon 20mm e 2 x Escribano Sentinel 12.7mm	Raytheon RIM-66M-5 Block IIIB	RGM-84D	Honeywe II Mk 46 Mod 5	1 SH-60-B Sea Hawk Lamps
A3	45	7163	31	7000	195	Mk 45 Mod 2 127mm	2 x BAE Mk 38 Mod M242 25mm, 2 x Oerkilon 20mm e 2 x Escribano Sentinel 12.7mm	Aster 30 e Aster 15	Exocet MM40 Block 3	MU90	1 NH90
A4	45	6096	27,5	6000	128	Oto Melara 76mm	2 x Nexter Narwhal remote station with M621 20mm e 2 x MG 12.7mm	Aster 30 e Aster 15	Exocet MM40	MU90	1 NH90
A5	45	6741	29	7000	200	Oto Melara 76mm Super Rapid	2 Oto Melara Oerkilon 25/80mm	Aster 30 e Aster 15	Oto Melara Mk 2/A	MU90	1 EH101 ou 1 NH90
A6	45	6700	27	6000	200	Leonardo 127mm/6 4LW	2 x Leonardo 76mm/62 RapidStrales e 2 x MG 25mm	Aster 30 e Aster 15	Teseo Mk2/A	MU90	1 EH101 e 1 NH90 ou 2 NH90
A7	30	5830	32	5000	143	Leonardo 127mm/6 4LW	1 x Leonardo 76mm/62 Rapid Strales- 2 x MG 25mm e 4 MG 12.7mm	Aster 30 e Aster 15	Teseo Mk2/A	Leonardo Black Shark	2 NH90 ou 1 EH101

Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 4.2.3 Aplicação do método FUCOM-RAFSI

A aplicação do método proposto irá começar com os passos do método FUCOM para geração dos pesos dos critérios e avaliação da consistência e após os passos do método RAFSI para ordenação das alternativas e avaliação da resistência a reversão de ordem.

Passo 1: Os critérios foram hierarquizados com base nos dados validados nas entrevistas no dia 15 de junho de 2024 da seguinte forma:  $C1=C2=C3=C4=C5=C6=C7>C8=C9>C10=C11$ .

No aplicativo *web* do método híbrido FUCOM-RAFSI o usuário deve indicar a quantidade de alternativas e critérios a medir conforme a Figura 36.

Figura 36 - Inserção das alternativas e dos critérios

Calculadora do Método FUCOM-RAFSI

Na primeira etapa o ranking dos critérios é realizado de acordo com a significância dos critérios, ou seja, partindo do critério que se espera ter o maior coeficiente de peso para o critério de menor significância.

Nome de Alternativa:	Número de Alternativas:	Número de Critérios:
Nome da Alternativa 1 : A1	7	11
Nome da Alternativa 2 : A2		Digite o nome do critério na posição 1 em significância: C1
Nome da Alternativa 3 : A3		Digite o nome do critério na posição 2 em significância: C2
Nome da Alternativa 4 : A4		Digite o nome do critério na posição 3 em significância: C3
Nome da Alternativa 5 : A5		Digite o nome do critério na posição 4 em significância: C4
Nome da Alternativa 6 : A6		Digite o nome do critério na posição 5 em significância: C5
Nome da Alternativa 7 : A7		Digite o nome do critério na posição 6 em significância: C6
		Digite o nome do critério na posição 7 em significância: C7
		Digite o nome do critério na posição 8 em significância: C8
		Digite o nome do critério na posição 9 em significância: C9
		Digite o nome do critério na posição 10 em significância: C10
		Digite o nome do critério na posição 11 em significância: C11

Inserir dados dos Critérios

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Passo 2: Comparação par a par dos critérios. A comparação é feita com relação ao primeiro colocados dos critérios C1. As prioridades dos critérios ( $\pi_{Cj}(k)$ ) foram, portanto, obtidas para todos os critérios classificados no primeiro nível conforme Tabela 21 e Figura 37:

Tabela 21 - Comparação par a par dos critérios com o critério C1

Critério	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
$\pi_{Cj}(k)$	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3

Fonte: Elaboração própria (2024)

Figura 37 - Comparação par a par dos critérios com o critério C1

Inserir uma comparação dos critérios ranqueados para determinar a prioridade comparativa entre os critérios. A comparação é feita com relação ao primeiro classificado (o mais significativo) dos critérios:  
 Quantas vezes o critério C2 - Velocidade do Torpedo é menos significativo em comparação ao critério C1 - Alcance Canhão (MN):

1

Quantas vezes o critério C3 - Alcance MSS é menos significativo em comparação ao critério C1 - Alcance Canhão (MN):

1

Quantas vezes o critério C4 - Artilharia Secundária é menos significativo em comparação ao critério C1 - Alcance Canhão (MN):

1

Quantas vezes o critério C5 - HE é menos significativo em comparação ao critério C1 - Alcance Canhão (MN):

1

Quantas vezes o critério C6 - Velocidade é menos significativo em comparação ao critério C1 - Alcance Canhão (MN):

1

Quantas vezes o critério C7 - Alcance MSA é menos significativo em comparação ao critério C1 - Alcance Canhão (MN):

1

Quantas vezes o critério C8 - Autonomia é menos significativo em comparação ao critério C1 - Alcance Canhão (MN):

2

Quantas vezes o critério C9 - Raio de Ação é menos significativo em comparação ao critério C1 - Alcance Canhão (MN):

2

Quantas vezes o critério C10 - Tripulação é menos significativo em comparação ao critério C1 - Alcance Canhão (MN):

3

Quantas vezes o critério C11 - Deslocamento é menos significativo em comparação ao critério C1 - Alcance Canhão (MN):

3

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Nesta etapa, é realizada uma comparação dos critérios ranqueados, gerando a prioridade comparativa entre os critérios observados conforme equação 1 e demonstrado na Figura 38:

$$\begin{aligned} \varphi_{C1/C2} &= 1/1 = 1, & \varphi_{C2/C3} &= 1/1 = 1, & \varphi_{C3/C4} &= 1/1 = 1, & \varphi_{C4/C5} &= 1/1 = 1, \\ \varphi_{C5/C6} &= 1/1 = 1, & \varphi_{C6/C7} &= 1/1 = 1, & \varphi_{C7/C8} &= 2/1 = 2, & \varphi_{C8/C9} &= 2/2 = 1, \\ \varphi_{C9/C10} &= 3/2 = 1,5, & \varphi_{C10/C11} &= 3/3 = 1. \end{aligned}$$

Figura 38 - Prioridade comparativa entre os critérios observados

PRIORIDADE COMPARATIVAS DOS CRITÉRIOS		
	Critério	$\varphi$
1	$\varphi$ Alcance Canhão (MN) / $\varphi$ Velocidade do Torpedo	1
2	$\varphi$ Velocidade do Torpedo / $\varphi$ Alcance MSS	1
3	$\varphi$ Alcance MSS / $\varphi$ Artilharia Secundária	1
4	$\varphi$ Artilharia Secundária / $\varphi$ HE	1
5	$\varphi$ HE / $\varphi$ Velocidade	1
6	$\varphi$ Velocidade / $\varphi$ Alcance MSA	1
7	$\varphi$ Alcance MSA / $\varphi$ Autonomia	2
8	$\varphi$ Autonomia / $\varphi$ Raio de Ação (MN)	1
9	$\varphi$ Raio de Ação (MN) / $\varphi$ Tripulação	1.5
10	$\varphi$ Tripulação / $\varphi$ Deslocamento	1

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Passo 3: Os valores finais dos coeficientes de peso devem satisfazer as duas condições seguintes:

a) A relação dos coeficientes de peso da Figura 39 é igual à prioridade comparativa entre os critérios observados na etapa anterior (Figura 38), atendendo as condições da equação 2, ou seja:

$$w_1/w_2=1, w_2/w_3=1, w_3/w_4=1, w_4/w_5=1, w_5/w_6=1, w_6/w_7=1, w_7/w_8=2, w_8/w_9=1, w_9/w_{10}=1,5, w_{10}/w_{11}=1.$$

Figura 39 - Relação dos coeficientes de peso

RELAÇÃO DOS COEFICIENTES DE PESO

	Critério	$\omega$
1	$\omega 1 / \omega 2$	1
2	$\omega 2 / \omega 3$	1
3	$\omega 3 / \omega 4$	1
4	$\omega 4 / \omega 5$	1
5	$\omega 5 / \omega 6$	1
6	$\omega 6 / \omega 7$	1
7	$\omega 7 / \omega 8$	2
8	$\omega 8 / \omega 9$	1
9	$\omega 9 / \omega 10$	1,5
10	$\omega 10 / \omega 11$	1

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

b) Adicionalmente, os valores finais do coeficiente de peso devem obedecer à transitividade matemática conforme a Equação 3 e demonstrado na Figura 40:

$$w1/w3=1, w2/w4=1, w3/w5=1, w4/w6=1, w5/w7=1, w6/w8=2, w7/w9=2, w8/w10=1,5 \text{ e } w9/w11= 1,5.$$

Figura 40 - Coeficientes de peso para satisfazer a condição de transitividade matemática

VALORES FINAIS DOS COEFICIENTES DE PESO PARA SATISFAZER A CONDIÇÃO DE TRANSITIVIDADE MATEMÁTICA

	Critério	$\omega$
1	$\omega 1 / \omega 3$	1
2	$\omega 2 / \omega 4$	1
3	$\omega 3 / \omega 5$	1
4	$\omega 4 / \omega 6$	1
5	$\omega 5 / \omega 7$	1
6	$\omega 6 / \omega 8$	2
7	$\omega 7 / \omega 9$	2
8	$\omega 8 / \omega 10$	1,5
9	$\omega 9 / \omega 11$	1,5

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Por fim é estabelecido os valores finais das constantes de peso e grau de consistência dos resultados como  $\chi = 0,0$ , conforme Tabela 22 e Figura 41. Ainda apresenta um gráfico para melhor retratar os pesos calculados, conforme Figura 42.

Tabela 22 - Pesos dos critérios

Critério	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Peso	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115	0,0585	0,0585	0,039	0,039

Figura 41 - Pesos dos critérios e DFC

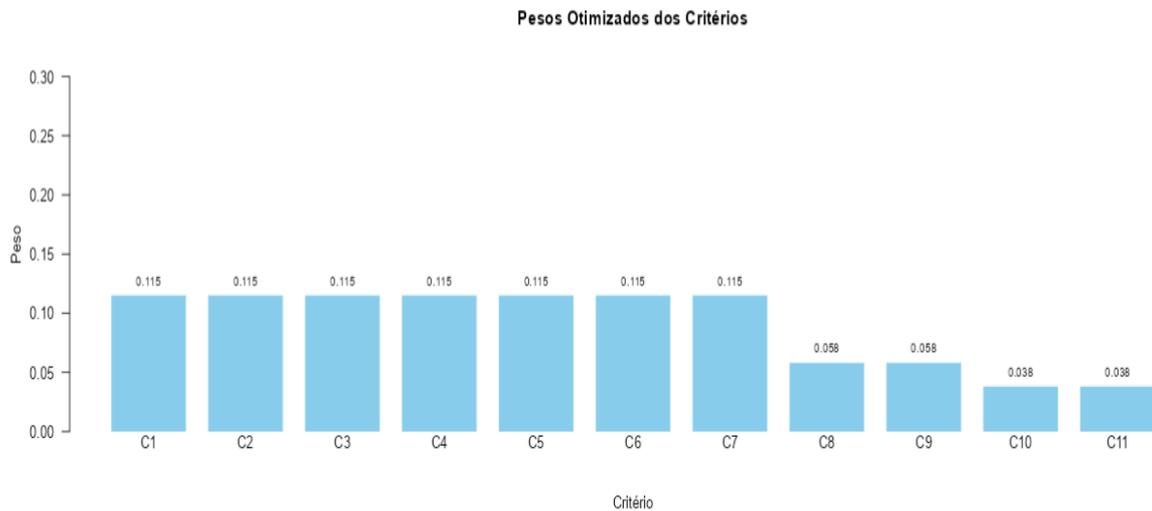
PESOS DOS CRITÉRIOS		
	Critério	Peso
1	C1 - Alcance Canhão (MN)	0.115
2	C2 - Velocidade do Torpedo	0.115
3	C3 - Alcance MSS	0.115
4	C4 - Artilharia Secundária	0.115
5	C5 - HE	0.115
6	C6 - Velocidade	0.115
7	C7 - Alcance MSA	0.115
8	C8 - Autonomia	0.058
9	C9 - Raio de Ação	0.058
10	C10 - Tripulação	0.038
11	C11 - Deslocamento	0.038

GRAU DE CONSISTÊNCIA	
DFC	
0.00000	

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Figura 42 - Gráfico dos pesos dos critérios calculados



Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

A fim de encontrar a melhor alternativa entre os navios escoltas sugeridos foi utilizado o método RAFSI, que começa com a matriz de decisão inicial conforme Figura 43:

Figura 43 - Matriz de decisão

## MATRIX DE DECISÃO

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	9.00	50.00	67.00	6.00	4.00	29.00	90.00	21.00	4000.00	255.00	5690.00
A2	12.40	45.00	67.00	6.00	3.00	28.00	92.00	21.00	4500.00	201.00	6250.00
A3	12.40	50.00	97.00	6.00	3.00	31.00	65.00	45.00	7000.00	195.00	7163.00
A4	9.00	50.00	97.00	4.00	3.00	27.50	65.00	45.00	6000.00	128.00	6096.00
A5	9.00	50.00	97.00	2.00	3.00	29.00	65.00	45.00	7000.00	200.00	6741.00
A6	54.00	50.00	97.20	4.00	5.00	27.00	65.00	45.00	6000.00	200.00	6700.00
A7	54.00	50.00	97.20	3.00	5.00	32.00	65.00	30.00	5000.00	143.00	5830.00

Ranking Final das Alternativas e Peso dos Critérios

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Passo 4 : A definição dos valores ideais  $a_{Ij}$  e antideais  $a_{Nj}$  dos critérios foram obtidos em documentos da MB e validados por especialistas (oficiais da MB). Também foram definidos quais são os critérios monotônicos de benefício (maior é melhor): C1 , C2, C3, C4 , C5 , C6 , C7 , C8 e C9. Da mesma forma foram definidos os critérios monotônicos de custo (menor é melhor): C10 e C11. O resumo dessas informações está na Figura 44.

$a_{Ij}=[54, 50, 98, 7, 5, 32, 92, 45, 7000, 110, 5000]$  ; e

$a_{Nj}=[ 9, 45, 40, 2, 1, 25, 20, 20, 4000, 300, 8000]$  .

O intervalo de critérios agora pode ser formado da seguinte maneira:

Para critérios de benefício: C1  $\in [9, 54]$ ; C2  $\in [45, 50]$ ; C3  $\in [40, 98]$ ; C4  $\in [2, 7]$ ; C5  $\in [1,5]$ ; C6  $\in [25, 32]$ ; C7  $\in [20, 92]$ ; C8  $\in [20, 45]$ ; C9  $\in [4000, 7000]$ .

Para critérios de custo: C10  $\in [110, 300]$ ; C11  $\in [5000, 8000]$ .

Figura 44 - Tipos de critérios, valores ideais e anti-ideais e pesos dos critérios

DADOS DOS CRITÉRIOS E PESOS CORRESPONDENTES

	Critério	Tipo	Valor.Ideal	Valor.Anti.Ideal	Peso
1	C1 - Alcance Canhão (MN)	Benefício	54	9	0.115
2	C2 - Velocidade do Torpedo	Benefício	50	45	0.115
3	C3 - Alcance MSS	Benefício	98	40	0.115
4	C4 - Artilharia Secundária	Benefício	7	2	0.115
5	C5 - HE	Benefício	5	1	0.115
6	C6 - Velocidade	Benefício	32	25	0.115
7	C7 - Alcance MSA	Benefício	92	20	0.115
8	C8 - Autonomia	Benefício	45	20	0.058
9	C9 - Raio de Ação	Benefício	7000	4000	0.058
10	C10 - Tripulação	Custo	110	300	0.038
11	C11 - Deslocamento	Custo	5000	8000	0.038

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Passo 5: Definição de  $n1 = 1$  e  $n2k = 6$ , Figura 45, e mapeamento dos elementos da matriz de decisão inicial em intervalos dos critérios conforme Tabela 23 e Figura 46 (matriz de decisão padronizada).

Figura 45 - Definição de  $n1$  e  $n2k$

Inserir  $n2k$  e  $n1$ , que representa a relação de até que ponto o valor ideal é preferido em relação ao valor anti-ideal.

**Relação do Valor Ideal ( $n1$ ):**

**Relação do Valor Anti-Ideal ( $n2k$ ):**

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Tabela 23 - Mapeamento da matriz de decisão em intervalos - matriz de decisão padronizada

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	1,00	6,00	3,33	5,00	4,7	3,86	5,86	1,20	1,00	4,82	2,15
A2	1,38	1,00	3,33	5,00	3,5	3,14	6,00	1,20	1,83	3,39	3,08
A3	1,38	6,00	5,91	5,00	3,5	5,29	4,13	6,00	6,00	3,24	4,61
A4	1,00	6,00	5,91	3,00	3,5	2,79	4,13	6,00	4,33	1,47	2,83
A5	1,00	6,00	5,91	1,00	3,5	3,86	4,13	6,00	6,00	3,37	3,90
A6	6,00	6,00	5,91	3,00	6,0	2,43	4,13	6,00	4,33	3,37	3,83
A7	6,00	6,00	5,91	2,00	6,0	6,00	4,13	3,00	2,67	1,87	2,38

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Figura 46 - Mapeamento da matriz de decisão em intervalos - matriz de decisão padronizada

MATRIZ DE DECISÃO PADRONIZADA

	Alcance.Canhão..MM.	Velocidade.do.Torpedo	Alcance.MSS.	Artilharia.Secundária	HE	Velocidade	Alcance.MSA.	Autonomia	Raio.de.Ação..MN.	Tripulação	Deslocamento
Sachsen (Type 124)	1.00	6.00	3.33	5.00	4.75	3.86	5.86	1.20	1.00	4.82	2.15
Alvaro de Bazán	1.38	1.00	3.33	5.00	3.50	3.14	6.00	1.20	1.83	3.39	3.08
Forbin	1.38	6.00	5.91	5.00	3.50	5.29	4.13	6.00	6.00	3.24	4.61
Aquitaine	1.00	6.00	5.91	3.00	3.50	2.79	4.13	6.00	4.33	1.47	2.83
Andrea Doria	1.00	6.00	5.91	1.00	3.50	3.86	4.13	6.00	6.00	3.37	3.90
Bergamini	6.00	6.00	5.93	3.00	6.00	2.43	4.13	6.00	4.33	3.37	3.83
Thaon di Revel	6.00	6.00	5.93	2.00	6.00	6.00	4.13	3.00	2.67	1.87	2.38

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Passo 6: Cálculo das médias aritméticas e harmônicas dos elementos mínimos conforme Equações 6 e 7:

$$A = \frac{1+6}{2} = 3,5 \quad \text{e} \quad H = \frac{2}{\frac{1}{1} + \frac{1}{6}} = 1,71$$

Passo 7: Normalização da matriz de decisão padronizada utilizando as Equações 8 e 9 conforme Tabela 24 e Figura 47:

Tabela 24 - Normalização da matriz de decisão padronizada

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	0,14	0,86	0,48	0,71	0,68	0,55	0,84	0,17	0,14	0,17	0,40
A2	0,2	0,14	0,48	0,71	0,5	0,45	0,86	0,17	0,26	0,25	0,28
A3	0,2	0,86	0,84	0,71	0,5	0,76	0,59	0,86	0,86	0,26	0,19
A4	0,14	0,86	0,84	0,43	0,5	0,4	0,59	0,86	0,62	0,58	0,30
A5	0,14	0,86	0,84	0,14	0,5	0,55	0,59	0,86	0,86	0,25	0,22
A6	0,86	0,86	0,85	0,43	0,86	0,35	0,59	0,86	0,62	0,25	0,22
A7	0,86	0,86	0,85	0,29	0,86	0,86	0,59	0,43	0,38	0,46	0,36

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Figura 47 -Normalização da matriz de decisão padronizada

MATRIZ DE DECISÃO NORMALIZADA

	Alcance.Canhão..MN.	Velocidade.do.Torpedo	Alcance.MSS.	Artilharia.Secundária	HE	Velocidade	Alcance.MSA.	Autonomia	Raio.de.Ação..MN.	Tripulação	Deslocamento	
Sachsen (Type 124)	0.14		0.86	0.48	0.71	0.68	0.55	0.84	0.17	0.14	0.18	0.40
Alvaro de Bazán	0.20		0.14	0.48	0.71	0.50	0.45	0.86	0.17	0.26	0.25	0.28
Forbin	0.20		0.86	0.84	0.71	0.50	0.76	0.59	0.86	0.86	0.26	0.19
Aquitaine	0.14		0.86	0.84	0.43	0.50	0.40	0.59	0.86	0.62	0.58	0.30
Andrea Doria	0.14		0.86	0.84	0.14	0.50	0.55	0.59	0.86	0.86	0.25	0.22
Bergamini	0.86		0.86	0.85	0.43	0.86	0.35	0.59	0.86	0.62	0.25	0.22
Thaondi Revel	0.86		0.86	0.85	0.29	0.86	0.86	0.59	0.43	0.38	0.46	0.36

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Passo 8: Ordenação das alternativas ( $V(A_i)$ ), conforme Tabela 25 e Figura 48.

Tabela 25 - Ordenação das alternativas

	$V(A_i)$	Rank
A7 - Thaondi Revel	0,673	1
A 6 - Bergamini	0,655	2
A 3 - Forbin (Horizon)	0,631	3
A4 - Aquitaine	0,553	4
A5 - Andrea Doria	0,536	5
A1 - Sachsen (Type 124)	0,531	6
A 2 - Alvaro de Bazán	0,430	7

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Figura 48 - Ordenação das alternativas ( $V(A_i)$ ).

RANKING FINAL DAS ALTERNATIVAS

Posição	Alternativa	$V_{A_i}$
A7 - Thaondi Revel	0.673	1º
A6 - Bergamini	0.655	2º
A3 - Forbin (Horizon)	0.631	3º
A4 - Aquitaine	0.553	4º
A5 - Andrea Doria	0.536	5º
A1 - Sachsen (Type 124)	0.531	6º
A2 - Alvaro de Bazán	0.430	7º

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Pela análise da ordenação obtida na Figura 48, utilizando o método RAFSI, foi indicado que os modelos de navios escolta que melhor atendem às funções da Marinha do Brasil são o Thaondi Revel (Itália, comissionado em maio de 2021), o Bergamini (Itália, comissionado em 2019) e o Forbin (França, comissionado em 2011). Esse resultado reflete as capacidades distintas de cada Navio.

O Thaondi Revel se destaca pelo maior alcance de canhão, maior velocidade de torpedo, maior alcance do MSS, maior capacidade de operação com aeronaves e maior velocidade máxima

O Bergamini apresenta um alto alcance de canhão, grande velocidade de torpedo, longo alcance do MSS, elevada capacidade de operação com aeronaves e superior autonomia operacional.

O Forbin sobressai com maior velocidade de torpedo, longo alcance do MSS, maior artilharia secundária, maior autonomia e um raio de ação mais extenso.

Isso reflete que as três primeiras alternativas são não dominadas dentro do contexto da decisão, pois apresentam pontuações significativamente superiores às demais e estão próximas entre si, podendo ser escolhida qualquer uma delas.

As alternativas que ocuparam o quarto, quinto e sexto lugares também apresentaram resultados próximos entre si, mas com pontuações consideravelmente inferiores às três primeiras. Já a alternativa classificada em sétimo lugar demonstrou um desempenho muito abaixo das demais, sendo considerada inadequada para atender plenamente aos requisitos estabelecidos.

#### 4.3 VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE

Uma das maneiras de verificar a estabilidade dos métodos MCDA é introduzindo novas

alternativas no conjunto original ou eliminando alternativas ruins do conjunto (Žižović *et al.*, 2020). Nessas condições, espera-se que o método MCDA não mostrará nenhuma mudança drástica na ordenação das alternativas. No primeiro experimento, uma alternativa é retirada do conjunto de alternativas. No caso foi escolhido a alternativa A4: Aquitaine da França devido ser a primeira após as 3 primeiras alternativas melhores ordenadas, representando um ponto de transição na ordenação, onde há uma queda significativa na pontuação em relação às três melhores alternativas: e o impacto dessa mudança nas funções de ordenação das alternativas são analisados na Tabela 26 e Figura 49.

Tabela 26 - Ordenação retirando a alternativa A4: Aquitaine

	<b>V(A<sub>i</sub>)</b>	<b>Rank</b>
A7 - Thaondi Revel	0,673	1
A 6 - Bergamini	0,655	2
A 3 - Forbin (Horizon)	0,631	3
A5 - Andrea Doria	0,536	4
A1 - Sachsen (Type 124)	0,531	5
A 2 - Alvaro de Bazán	0,430	6

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Figura 49 - Ordenação retirando a alternativa A4: Aquitaine

RANKING FINAL DAS ALTERNATIVAS

Posição	Alternativa	V_Ai
A7 - Thaondi Revel	0.673	1º
A6 - Bergamini	0.655	2º
A3 - Forbin (Horizon)	0.631	3º
A5 - Andrea Doria	0.536	4º
A1 - Sachsen (Type 124)	0.531	5º
A2 - Alvaro de Bazán	0.430	6º

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Na Tabela 26 e Figura 49, ao retirar a alternativa A4 que estava na 4º colocação, as alternativas A5, A1 e A6 que estavam na 5º, 6º e 7º posições respectivamente subiram uma posição, mas os valores das alternativas permaneceram inalteradas.

Após a retirada da alternativa A4: Aquitaine da França, outra alternativa é retirada do conjunto de alternativas, dessa vez a escolhida a última colocada, o navio A2: Alvaro de Bazan da Espanha, devido ser a pior alternativa, onde a remoção de opções de baixo desempenho não afeta a estabilidade da ordenação. O impacto dessa mudança nas funções de ordenação das alternativas são demonstrados na Tabela 27 e Figura 50.

Tabela 27 - Ordenação retirando a alternativa A4: Alvaro de Bazan da Espanha

	<b>V(Ai)</b>	<b>Rank</b>
A7 - Thaondi Revel	0,673	1
A6 - Bergamini	0,655	2
A3 - Forbin (Horizon)	0,631	3
A5 - Andrea Doria	0,536	4
A1 - Sachsen (Type 124)	0,531	5

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Figura 50 - Ordenação retirando a alternativa A4: Alvaro de Bazan da Espanha

RANKING FINAL DAS ALTERNATIVAS

Posição	Alternativa	V_Ai
A7 - Thaondi Revel	0.673	1º
A6 - Bergamini	0.655	2º
A3 - Forbin (Horizon)	0.631	3º
A5 - Andrea Doria	0.536	4º
A1 - Sachsen (Type 124)	0.531	5º

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Na Tabela 27 e Figura 50 ao retirar a alternativa A2 que estava na última colocação das alternativas, as demais alternativas mantêm suas posição na ordenação além de manterem seus valores.

A partir das Tabelas 26 e 27 e Figuras 49 e 50, é fácil observar que o método RAFSI fornece resultados válidos em um ambiente dinâmico. Isso também é confirmado pelos valores da função de critérios das alternativas ( $V(A_i)$ ). Em todos esses cenários os valores das alternativas permaneceram inalteradas e o impacto dessa mudança nas funções de ordenação também.

No segundo experimento, o conjunto de alternativas é expandido ainda mais com a introdução de uma nova alternativa. Nesse caso um novo navio que não foi avaliado anteriormente por ser um navio que estava dentro das restrições, como o navio *De Zeven Provincien* da Holanda.

A8 - De Zeven Provincien da Holanda que entrou em operação em 2005. As fragatas holandesas AD(C)Fs foram construídas para substituir as antigas fragatas da classe Tromp e, como ADFs, as fragatas da classe "Standard"/Kortenaer da Marinha Real dos Países Baixos. Elas têm capacidades e aparência semelhantes às ADCFs, mas sem instalações de comando dedicadas. (Sea Forces, 2024h).

Com um deslocamento de mais de 6.000 toneladas, essas fragatas são, na prática, *destroyer*. A Marinha holandesa optou por não modernizar outros navios para financiar a construção de quatro unidades dessa classe, que possuem características furtivas e alta

capacidade de sobrevivência. Inicialmente, seriam equipadas com motores Rolls Royce WR-21, mas devido a atrasos, utilizam os Rolls-Royce SM-1C 'Spey', com possibilidade de receber os WR-21 futuramente para maior eficiência.

Possui como Artilharia Principal o canhão OTO Melara de 127 mm, como Artilharia Secundária duas Oerlikon 20mm e quatro M2 Browning 12.7mm (cal. 50), AaeW Raytheon Standard SM-2MR Block IIIA, AsuW RGM-84 Harpoon SSM e ASW Honeywell Mk 46 Mod 5. Na Tabela 28 estão suas características.

Tabela 28 - Característica da alternativa A8

Alternativa	Alcance canhão	ASW	ASuW (MSS)	Artilharia Secundária	HE	Velocidade	AAeW (MSA)	Autonomia	Raio de ação	Tripulação	Deslocamento
A8	9	45	67	6	3	30	90	21	4000	202	6.050

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Após a nova alternativa ser inserida o novo ranking das alternativas está na Tabela 29 e Figura 51:

Tabela 29 - Ordenação inserindo a alternativa A8: LCF

	V(Ai)	Rank
A7 - Thaondi Revel	0,673	1
A 6 - Bergamini	0,655	2
A 3 - Forbin (Horizon)	0,631	3
A4 - Aquitaine	0,553	4
A5 - Andrea Doria	0,536	5
A1 - Sachsen (Type 124)	0,531	6
A8 - De Zeven Provinciën (LCF)	0,440	7
A 2 - Alvaro de Bazán	0,430	8

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Figura 51 - Ordenação inserindo a alternativa A8: LCF

RANKING FINAL DAS ALTERNATIVAS

Posição	Alternativa	V_Ai
A7 - Thaondi Revel		0.673 1º
A6 - Bergamini		0.655 2º
A3 - Forbin (Horizon)		0.631 3º
A4 - Aquitaine		0.553 4º
A5 - Andrea Doria		0.536 5º
A1 - Sachsen (Type 124)		0.531 6º
A8 - De Zeven Provinciën (LCF)		0.440 7º
A2 - Alvaro de Bazán		0.430 8º

Fonte: Software FUCOM-RAFSI (2024)

Pela análise da nova ordenação as alternativas se mantêm, somente com a alternativa Alvaro de Bazán descendo uma posição. Os valores das alternativas também se mantêm mostrando que o método RAFSI é resistente a reversão de ordem.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 RESULTADOS ESPERADOS E DISCUSSÃO

A presente dissertação teve por objetivo desenvolver a modelagem matemático-computacional do método híbrido de Análise Multicritério de Decisão FUCOM-RAFSI e sua aplicação em um estudo de caso para ordenação de navios escolta de navios escolta para a Marinha do Brasil.

O primeiro passo requerido foi a estruturação do problema proposto, no qual foi utilizado o SCA para definir opções ótimas em que se deveria ter esforço concentrado. A aplicação do método SCA ajudou a reduzir a subjetividade durante a comparação das opções levantadas devido à variedade de combinações possíveis e incertezas envolvidas no processo decisório. O emprego dos Mapas Cognitivos na fase inicial de apreciação do problema teve por finalidade dar suporte à identificação das áreas e opções de decisão do SCA, sobretudo, no Modo Modelagem, uma vez que os *clusters* do mapa do decisor foram utilizados para definir as áreas de decisão. As opções que se destacaram das outras, com a compra de navios existentes por oportunidade planejada, com menor dificuldade para aquisição /instalação de sistemas e armas interferindo no nível atendimento dos requisitos, buscando adquirir de nações que já forneceram para o Brasil, facilitando acordos entre governos, com restrição de serem navios países da OTAN, com no máximo 24 anos de operação, se diferenciando no apoio logístico disponível na MB, podendo ser que alguns sistemas e armas podem ter a manutenção desconhecidos pela MB (necessitando novas estruturas e treinamento), quanto já conhecidos pela MB.

Em seguida, após um levantamento dos dados referente aos critérios e alternativas, dentre várias fontes como: documentos da MB, artigos publicados na base Scopus, sites civis e que foram validados por especialista (oficiais da MB com experiência no setor operativo e de material), foi possível a aplicação do método híbrido FUCOM-RAFSI.

Com relação aos objetivos específicos da pesquisa, apresentados na subseção 1.5, destaca-se a importância dos estudos bibliométricos sobre o método FUCOM e sobre o método RAFSI nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, quando foi identificado lacunas na utilização dos métodos na América do Sul. Em outra revisão da literatura realizada em métodos de apoio multicritério à decisão aplicados à seleção de meios operativos em ambientes militares, principalmente navios, buscando avaliar critérios e métodos utilizados, foi observado que há um predomínio significativo dos métodos AHP e TOPSIS. Essa predominância aponta para

uma lacuna no uso de novos métodos de decisão, como FUCOM e RAFSI, na escolha de meios militares, que têm potencial para oferecer novas soluções eficientes.

Outra contribuição apresentada na subseção 1.5, foi o desenvolvimento de uma plataforma computacional baseada na proposta do método, completamente aberta, sem necessidade de cadastro ou pagamento por parte dos usuários. Essa ferramenta auxiliou na operacionalização da aplicação dos métodos, proporcionando resultados satisfatórios de uma forma simples e intuitiva. Vale ressaltar que o tempo necessário para obter os resultados ao utilizar o software é limitado apenas pelo tempo de inclusão dos dados, uma vez que todos os cálculos são realizados automaticamente. Caso todos os cálculos fossem realizados manualmente, além do risco de erros devido a falhas de cálculo, o tempo gasto seria significativamente maior, tornando a execução manual dos métodos inadequado para problemas complexos com muitas alternativas e critérios.

Por fim o último objetivo específico apresentado na subseção 1.5 foi auxiliar a alta administração naval na escolha de um navio escolta que atenda as funções esperadas, sendo uma necessidade real da MB, sendo assim, com esse estudo foi possível dar uma contribuição importante para as FA, sendo alcançado a indicação dos navios Thaondi Revel, o Bergamini e o Forbin como melhores escolhas por meio do método híbrido FUCOM-RASFI. Isso reflete que essas alternativas são não dominadas dentro do contexto da decisão, pois apresentam pontuações significativamente superiores às demais e estão próximas entre si.

O método FUCOM teve somente dez comparações pareadas de critérios e teve grau de consistência igual a  $\chi = 0,0$ , ou seja, os pesos encontrados satisfazem todas as relações de importância sem desvio. A ordenação final das alternativas também é relevante para a discussão acerca do emprego de cada um dos modelos. Foi possível avaliar a resistência a reversão de ordem do método RAFSI, com a exclusão e inserção de alternativas, sendo observados que a ordenação das alternativas não se alterou, assim como os valores das alternativas. Assim, conclui-se que o método FUCOM-RAFSI mostrou-se eficiente para a solução do problema proposto e pode auxiliar a MB em outros processos decisórios complexos.

## 5.2 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Como considerações para pesquisas futuras, o FUCOM pode ser utilizado para considerar as opiniões de múltiplos decisores, sem que haja a necessidade do consenso, onde todos os participantes do processo realmente exponham suas convicções, conforme suas experiências, conhecimentos e pesquisas e colocar isso como aprimoramento da ferramenta

computacional considerando todos os decisores envolvidos no processo de forma individual e agregando todos os pesos, para que ao final, a nova proposta indique um peso absoluto global.

Outra abordagem possível seria a implementação de outro método de comparação pareada, como AHP e BWM, e comparar os pesos e consistência obtidas.

Para aprimorar a robustez dos resultados, seria relevante testar métodos de ordenação que evitam a reversão de ordenação, como o SPOTIS (*Rank Reversal Free Method for Multi-Criteria Decision-Making Support*). Além disso, seria interessante analisar o comportamento da ordenação em métodos que apresentam o problema da reversão de ordenação, como TOPSIS, VIKOR e COPRAS. A comparação entre métodos suscetíveis e não suscetíveis a esse efeito permitiria uma avaliação mais aprofundada da estabilidade das ordenações obtidas e sua aplicabilidade em cenários decisórios complexos.

O método híbrido FUCOM-RAFSI pode ser adaptado e aplicado a outros processos de seleção e aquisição de recursos estratégicos nas Forças Armadas. Exemplos incluem a escolha de novos meios como o Navio de Apoio Antártico (NapAnt) e os Navios de Assistência Hospitalar (NasH). A aplicação do método em diferentes contextos operacionais contribuiria para a validação de sua eficácia e para a melhoria contínua da ferramenta.

Diante dos resultados obtidos, espera-se que a solução proposta neste estudo seja formalizada por meio de uma Norma Técnica ou Instrução Normativa no âmbito da Marinha do Brasil. A adoção oficial do método como ferramenta de apoio à tomada de decisão estratégica fortaleceria os processos de planejamento e aquisição de meios, garantindo maior padronização, rastreabilidade, coerência metodológica e transparência nas escolhas realizadas.

## REFERÊNCIAS

- AIRES, R. F. DE F. **Reversão de ordem no método Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS**. 2017. Natal, Rio Grande do Norte: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.
- AGÊNCIA BRASIL. **Lançamento da 1ª fragata Classe Tamandaré gera 2,3 mil empregos e impulsiona a indústria naval**. Disponível em: <https://agenciagov.etc.com.br/noticias/202408/lancamento-da-1a-fragata-classe-tamandare-gera-23-mil-empregos-e-impulsiona-a-industria-naval>. Acesso em: 26 out. 2024.
- AKYURT, I. Z.; PAMUČAR, D.; DEVECI, M.; KALAN, O. ; KUVVETLI, Y. ; A Flight Base Selection for Flight Academy Using a Rough MACBETH and RAFSI Based Decision-Making Analysis. **IEEE Transactions on Engineering Management**, 2021.
- ALMEIDA, F. E. A. ; CABRAL, R. P. Classificação de Marinhas: uma proposta de metodologia comparativa. **Austral: Revista Brasileira de Estratégia e Relações Internacionais**, Florianópolis, v. 7, n. 14, p. 13-40, jul./dez. 2018
- ALMEIDA', I. D. P. DE; DE COSTA, I. P. A.; SANTOS, M. DOS.; GOMES, C. F. S. Processo seletivo de candidatos para compor a equipe do proantar combinando o Value-Focused Thinking e os métodos CRITIC e GRA. **XXVIII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais**. 2021.
- ALMEIDA, A. T. DE. **O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, v. 25, p. 26–57, 2011.
- ANYSZ, H.; NICAŁ, A.; STEVIĆ, Ž.; GRZEGORZEWSKI, M.; SIKORA, K. **Pareto Optimal Decisions in Multi-Criteria Decision Making Explained with Construction Cost Cases**. *Symmetry*, 13, 46. 2021.
- ARAÚJO, J. V. G. A.; MOREIRA, M. Â. L.; GOMES, C. F. S.; DOS SANTOS, M.; DE ARAÚJO COSTA, I. P.; DE PINA CORRIÇA, J. V; DE MOURA PEREIRA, D. A. **Selection of a vehicle for Brazilian Navy using the multi-criteria method to support decision-making TOPSIS-M**. *Procedia Computer Science*, 2023.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. **Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis**. *Journal of informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.
- ARO, J. L.; PRASETYO, Y. T.; PERSADA, S. F. ; A Novel Approach of Ranking of Alternatives Through Functional Mapping of Criterion Sub-Intervals into a Single Interval (RAFSI) Method Under a Fermatean Environment ICIBE '22: **Proceedings of the 8th**

**International Conference on Industrial and Business Engineering** September, p. 123–132, 2022.

BADI, I. e ALI M. Ranking the Libyan airlines by using Full Consistency Method (FUCOM) and Analytical Hierarchy Process (AHP). **Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications** 2019.

BAHRAMI, S.; RASTEGAR, M. Security-based critical power distribution feeder identification: application of fuzzy BWM-VIKOR and SECA. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 134, 2022.

BARBARA, F, DOS SANTOS, M, SILVA, A. S., MOREIRA, M. Â. L., ... & PORTELLA, A. G. Interactive Internet Framework Proposal of WASPAS Method: A Computational Contribution for Decision-Making Analysis. **Mathematics**, 11(15), 3375, 2023.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa edições, 70, 225. 1977.

BELIAKOV, G., CAO, T. e MAK-HAU, V. Aggregation of interacting criteria in land combat vehicle selection by using fuzzy measures. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, 30(9), 3979-3989. 2022.

BISWAS, S.; SANYAL, A.; BOŽANIĆ, D.; PUŠKA, A e MARINKOVIĆ, D. Critical Success Factors for 5G Technology Adaptation in Supply Chains. **Sustainability**, 15, 5539. 2023

BOJANIC, D.; KOVAC, M.; BOJANIC, M.; RISTIC, V. Multi-criteria decision-making in a defensive operation of the guided anti-tank missile battery: An example of the hybrid model fuzzy ahp-mabac. **Decision Making: Applications in Management and Engineering**, v. 1, n. 1, p. 51–66, 2018.

BORÉ, A.; CUI, J.; HUANG, Z.; HUANG, Q.; FELLNER, J e MA, W.; Monitored air pollutants from waste-to-energy facilities in China: Human health risk, and buffer distance assessment, **Atmospheric Pollution Research**, 13(7), 101484. 2022.

BOŽANIĆ, D. ; MILIĆ, A.; TEŠIĆ, D., SALABUN, W., PAMUČAR, D. **D numbers–FUCOM–fuzzy RAFSI model for selecting the group of construction machines for enabling mobility**. Facta Universitatis. Series: Mechanical Engineering. 19(3), 2021 p. 447-471. 2021 <https://doi.org/10.22190/FUME210318047B>

BRASIL. **POLÍTICA NACIONAL DE DEFESA E ESTRATÉGIA NACIONAL DE DEFESA**. Brasília: Diário Oficial da União - Seção 1, 2017 A.

BRASIL. Estado-Maior da Armada. **EMA-305: Doutrina Militar Naval**. Brasília, 2017 B.

BRASIL. Diretoria-Geral do Material da Marinha. **DGMM 0130: Manual do Apoio Logístico Integrado**. Rio de Janeiro, 2013.

- BRASIL. Estado-Maior da Armada. **EMA-420: Normas para Logística de Material** (Rev 2 Mod 1). Brasília, 2002.
- BRASIL. **Livro Branco de Defesa Nacional**. Brasília: Ministério da Defesa, 2020.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002.
- BROOKS, R.; KOTIADIS, K e VAN DER ZEE, D. J. **Conceptual modeling for discrete-event simulation**. In: ROBINSON, S. (Ed.). Boca Raton, FL, USA: CRC Press, v. 59, 2010.
- CANUTO FILHO, R. **Aparelhamento, reaparelhamento e manutenção de meios navais: o processo de modernização das Fragatas Classe “Niterói” sob a ótica dos fundamentos do Apoio Logístico Integrado**. 2023. Dissertação (Curso de Estado-Maior para Oficiais Superiores) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2023.
- CAPITALIST. *Qual é a força naval mais poderosa da América Latina?* 2024. Disponível em: <https://capitalist.com.br/qual-e-a-forca-naval-mais-poderosa-da-america-latina/>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- CHAKRABORTY, S.; ZAVADSKAS, E.K. ; ANTUCHEVICIENE, J. Applications Of Waspas Method As A Multi-Criteria Decision-Making Tool. **Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research**, 49(1). 2015.
- CHAMBAL, S.; SHOVIK, M.; THAL, A. E. Decision analysis methodology to evaluate integrated solid waste management alternatives. **Environmental Modeling & Assessment**, v. 8, p. 25-34, 2003.
- CHECKLAND, P. B.; SCHOLLES, J. **Soft systems methodology in action**. Chicester, U.K.: John Wiley and Sons, Inc., 1990.
- CINELLI, M.; KADZIŃSKI, M.; GONZALEZ M.; e SŁOWIŃSKI R.,. How to Support the Application of Multiple Criteria Decision Analysis? Let Us Start with a Comprehensive Taxonomy. **Omega**,. 102261, 2020.
- CLOUTIER R.; SAUSER B. ; BONE M.; e TAYLOR A. Transitioning systems thinking to model-based systems engineering: Systemigrams to SysML models. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, v. 45, n. 4, p. 662-674, 2015.
- CRESWELL, J. W.; CRESWELL, J. D. **Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. [s.l.] Sage publications, 2017.
- COYLE, R. G.; ALEXANDER, M. D. W. Two approaches to qualitative modelling of a nation's drugs trade. System Dynamics Review: **The Journal of the System Dynamics Society**, v. 13, n. 3, p. 205-222, 1997.

- COSTA, I. P. D. A., MAÊDA, S. M. D. N., TEIXEIRA, L. F. H. D. S. D. B., GOMES, C. F. S., e SANTOS, M. D. Choosing a hospital assistance ship to fight the Covid-19 pandemic. **Revista de Saúde Pública**, v. 54, 2020.
- COSTA, I. P. D. A., COSTA, A. P. D. A., SANSEVERINO, A. M., GOMES, C. F. S., e SANTOS, M. D.. Bibliometric studies on multi-criteria decision analysis (MCDA) methods applied in military problems. **Pesquisa Operacional**, 42, e249414., 2022.
- COSTA, H. G. Modelo para webibliomining: proposta e caso de aplicação. **Revista Da FAE**, 13(1), 115–126. 2016.
- COFFEY, L., CLAUDIO, D. **In defense of group fuzzy AHP: A comparison of group fuzzy AHP and group AHP with confidence intervals**. Expert Systems with Applications, 178, 114970. 2021.
- CRARY, M., NOZICK, L. K.,; WHITAKER, L. R. Sizing the US destroyer fleet. **European Journal of Operational Research**, 136(3), 680-695. 2002.
- DA COSTA, L. M. A., GOMES, I. J. A., DE ARAÚJO COSTA, I. P., DA SILVA, R. F., MURADAS, F. M., MOREIRA, M. Â. L., e GOMES, C. F. S. Multi-criteria analysis applied to humanitarian assistance: an approach based on ELECTRE-MOr. **Procedia Computer Science**, 214, 63-70. 2022
- ĐALIĆ, I., STEVIĆ, Ž., ERCEG, Ž., MACURA, P., e TERZIĆ, S. Selection of a distribution channel using the integrated FUCOM-MARCOS model. **International Review**, br. 3-4, str. 80-96, 2020.
- DANSEREAU, M. R., COLOMBI, J. M., MILLER, M. E., ROBBINS, M. J. **A design evaluation framework for helmet mounted displays in fighter aircraft**. In: IIE Annual Conference. **Proceedings. Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE)**, 2015.
- DAS, P. P. ; CHAKRABORTY, S. A comparative assessment of multicriteria parametric optimization methods for plasma arc cutting processes, **Decision Analytics Journal** 6 100190, 2023.
- DE ALMEIDA, I. D. P., CORRIÇA, J. V. D. P., COSTA, A. P. D. A., COSTA, I. P. D. A., MAÊDA, S. M. D. N., GOMES, C. F. S.; e DOS SANTOS, M Study of the Location of a Second Fleet for the Brazilian Navy: Structuring and Mathematical Modeling Using SAPEVO-M and VIKOR Methods. **ICPR-Americas 2020. Communications in Computer and Information Science**, 1408, 113–124. 2021.
- DE ALMEIDA, I. D. P. de; COSTA, I. P. A. de; SANTOS, M. dos; GOMES, C. F. S. Processo seletivo de candidatos para compor a equipe do PROANTAR combinando o Value-Focused Thinking e os métodos CRITIC e GRA. In: **Simpósio de Engenharia de Produção**, 28., 2021.

Anais [...]. 2021

DE SOUZA, R. A. **A questão do método nos estudos literários**. *Letras de Hoje*, v. 49, n. 4, p. 471–476, 2014.

DEVECI ŽIŽOVIĆ, M.; GOKASAR, I.; PAMUČAR D.; KÖPPEN, M.; GUPTA, B.B.; Sustainable E-scooter parking operation in urban areas using fuzzy Dombi based RAFSI model. **Sustain Cities Soc**, 91:104426. 2023 <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104426>.

DEVECI, M.; PAMUČAR D.; GOKASAR, I.; KÖPPEN, M.; GUPTA, B.B.; Personal mobility in metaverse with autonomous vehicles using q-rung orthopair fuzzy sets based opa-rafsi model, **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, 2022.

DEVECI, M.; PAMUČAR, D.; OGUZ E.; Floating photovoltaic site selection using fuzzy rough numbers based LAAW and RAFSI model. **Appl Energy**, 324:119597. 2022 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119597>.

DHALMAHAPATRA, K.; GARG, A.; SINGH, K.; XAVIER, N. F.e MAITI, J. An integrated RFUCOM - RTOPSIS approach for failure modes and effects analysis: A case of manufacturing industry, *Reliability Engineering and System Safety*, **Elsevier**, vol. 221(C). 2022.

DIÁLOGO AMERICAS. *Colômbia e EUA: grandes aliados na luta contra o narcotráfico marítimo*. 2023. Disponível em: <https://dialogo-americas.com/pt-br/articles/colombia-e-eua-grandes-aliados-na-luta-contra-narcotrafico-maritimo/>. Acesso em: 30 mar. 2025.

EDEN, C. L. **Using cognitive mapping for strategic options development and analysis (SODA)**. In: **ROSENHEAD, J. (Ed.)**. *Rational Analysis for a Problematic World: Problem Structuring Methods for Complexity, Uncertainty, and Conflict*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd., 1989.

EDEN, C. Cognitive mapping. **European Journal of Operational Research**, v. 36, p. 1-13, 1988.

EGGHE, L. Theory and practise of the g-index. **Scientometrics** **69**, 131–152. doi: p. 131–152. 2006 doi: <https://doi.org/10.1007/s11192-006-0144-7>

ERCEG, Z. e MULARIFOVIĆ, F. Integrated MCDM model for processes optimization in the supply chain management in the wood company. **Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications**. 2019.

ERCEG, Ž.; STARČEVIĆ, V.; PAMUČAR, D.; MITROVIĆ, G.; STEVIĆ, Ž.e ŽIKIĆ, S. A New Model for Stock Management in Order to Rationalize Costs: ABC-FUCOM-Interval Rough CoCoSo Model. **Symmetry** **11**, 1527. 2019. <https://doi.org/10.3390/sym11121527>.

ESANGBEDO, M.O.; BAI, S.; MIRJALILI, S.; WANG, Z. Evaluation of Human Resource Information Systems Using Grey Ordinal Pairwise Comparison MCDM Methods. **Expert Syst.**

**Appl.**, 182, 115151. 2021.

EVEREST, T.; SAVAŞKAN, G.S.; OR, A.; ÖZCAN H. Suitable site selection by using full consistency method (FUCOM): a case study for maize cultivation in northwest Turkey.

**Environ Dev Sustain.** 2022.

FILHO, A. E. C. Obtenção de meios navais por construção ou por oportunidade? Uma análise do Programa Classe “Tamandaré”. 2021. Dissertação (Curso de Estado-Maior para Oficiais Superiores) – **Escola de Guerra Naval**, Rio de Janeiro, 2021.

FRIEND, J. K. **The strategic choice approach: Rational analysis for a problematic world revisited: Problem structuring methods for complexity, uncertainty and conflict.** 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2001.

FRIEND, J. The strategic choice approach. In: ROSENHEAD, J. (Ed.). **Rational Analysis for a Problematic World: problem structuring methods for complexity, uncertainty, and conflict.** [s.l.] Wiley, 1989.

FRIEND, J.; HICKLING, A. **Planning under pressure: the strategic choice approach.** 3. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2005.

FRIEND, J.; HICKLING, A. **Planning under pressure: The strategic choice process.** **Routledge**, 1987.

FUOCO, T. **Marinha fará licitação de US\$ 1,6 bi em navios de guerra no 1T19.** 2018. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/bloomberg/2018/11/12/marinha-fara-licitacao-de-u-16-bi-em-navios-de-guerra-no-1t19.htm?cmpid=copiaecola>. Acesso em: 6 jun. 2024.

FURCH, J. E ŠVÁSTA, A. Use of Multicriteria Analysis in Unmanned Ground Vehicle Selection. **Challenges to national defence in contemporary geopolitical situation**, 1, 17-25. 2022.

GARFIELD, E. **The history and meaning of the journal impact factor.** **Journal Of the American Medical Association**, Chicago, v. 295, n. 1, p. 90-93, 2006.

GARG, H.; MAJUMDER, P. ; NATH, M. A hybrid trapezoidal fuzzy FUCOM-AHP approach and their application to identification of monkeypox risk factors. **Comp. Appl. Math.** 41, 379 2022.

GIRARDI, R.; GALDINO, J. F.; PELLANDA, P. C.; JUNIOR, .J. A. F.; SANTOS, M. Bibliometric study on multi-criteria decision-making methods applied to life cycle management of defense systems. **Procedia Computer Science** 214, p. 236–247, 2022.

GLOBAL FIREPOWER A. **Navy ships.** Disponível em: <https://www.globalfirepower.com/navy-ships.php>. Acesso em: 4 dez. 2024.

- GLOBAL FIREPOWER. **Country military strength detail: Colombia**. Disponível em: [https://www.globalfirepower.com/country-military-strength-detail.php?country\\_id=colombia](https://www.globalfirepower.com/country-military-strength-detail.php?country_id=colombia). Acesso em: 4 dez. 2024.
- GENC T. Application of ELECTRE III and PROMETHEE II in evaluating the military tanks. **International Journal of Procurement Management**, 8(4): 457–475. . 2015.
- GÖKLER, S. H. Prediction of the Number of COVID-19 confirmed cases using the hybrid FUCOM-Pareto analysis-random forest method. **Pamukkale University Journal of Engineering Sciences** 29.1: 0-0. 2023.
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério**. 6 ed.. São Paulo. Atlas, 2019.
- GOMES, C. F. S.; RODRIGUES, M. V. G.; COSTA, I. P. de A.; SANTOS, M. Ordering of warships for the Brazilian Navy using the new method: AHP-Gaussian with Pearson's Correlation. **Presented at the October 29, 2021**.
- GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos**. 1o ed. São Paulo: CENGAGE Learning, 2011.
- GOMES, C. F. S.; COSTA, H. G. Aplicação de métodos multicritério ao problema de escolha de modelos de pagamento eletrônico por cartão de crédito. **Production**, v. 25, n. 1, p. 54–68, 2015.
- GOOSSENS, A. J.; BASTEN, R. J. Exploring maintenance policy selection using the Analytic Hierarchy Process; an application for naval ships. **Reliability Engineering & System Safety**, 142, 31-41. 2015.
- GRUNNAN, T.; FRIDHEIM, H. Planning and conducting crisis management exercises for decision-making: the do's and don'ts. **EURO Journal on Decision Processes**, v. 5, n. 1-4, p. 79-95, 2017.
- HAMURCU, M e EREN, T. Selection of unmanned aerial vehicles by using multicriteria decision-making for defense. **Journal of Mathematics**, Doi: <https://doi.org/10.1155/2020/4308756>. 2020
- HAQBIN A. Comparing best-worst method and full consistency method in a fuzzy environment - **Decision Science Letters** 11 , 181–192. 2022.
- HIRSCH JE. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proc Natl Acad Sci U S A**. 2005 Nov 15;102(46):16569-72. doi: 10.1073/pnas.0507655102. Epub 2005.
- ILIEVA, G. **Fuzzy Group Full Consistency Method for Weight Determination, Cybernetics and Information Technologies**, vol.20, no.2, , pp.50-58. 2020. <https://doi.org/10.2478/cait-2020-0015>.

- LIMA, T.; MARTINS, C.; VIANNA, D.; VIANNA, M.; COSTA, S. Utilização Do Método De Análise Hierárquica (AHP) Para Definição Dos Pesos De Restrições Fracas. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional XLVII**, 2015.
- KAYA, S. K.; PAMUČAR, D.; AYCIN E.; **A New Hybrid Fuzzy Multi-Criteria Decision Methodology for Prioritizing the Antivirus Mask Over COVID-19 Pandemic**, *Informatica* **33**, no. 3, 2022. p. 545-572. 2022.
- KEENEY, R. L. **Value focused-thinking: A path to creative decision-making**. Cambridge: Harvard University Press, 1992.
- KHOSRAVI, M.; HAQBIN, A.; ZARE, Z.; SHOJAEI, P. Selecting the most suitable organizational structure for hospitals: an integrated fuzzy FUCOM-MARCOS method. **Cost Eff Resour Alloc.** Jun 27;20(1):29. .
- KHAN, A. U.; E ALI, Y. Enhancement of resilience and quality of cold supply chain under the disruptions caused by COVID-19: A case of a developing country. **Australian Journal of Management**, 48(2), 341–365. 2023. <https://doi.org.ez24.periodicos.capes.gov.br/10.1177/03128962221095596>.
- LIMA FILHO, G. M. de; MEDEIROS, F. L. L.; PASSARO, A. Decision support system for unmanned combat air vehicle in beyond visual range air combat based on artificial neural networks. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 13, 2021.
- LIN, K. P.; HUNG, K. C. An efficient fuzzy weighted average algorithm for the military UAV selecting under group decision-making. **Knowledge-Based Systems**, 24(6), 877-889. 2011.
- LOGULLO, Y.; BIGOGNO-COSTA, V.; SILVA, A. C. S. da; BELDERRAIN, M. C. A prioritization approach based on VFT and AHP for group decision making: **A case study in the military operations**. **Production**, v. 32, 2022.
- LOGULLO, Y, MOREIRA, M. Â. L., SILVA, B. T. R. V., BELDERRAIN, M. C. N., CERQUEIRA, C. S., DOS SANTOS, M., GOMES, C. F. S. Multimethodology exploitation based on value-focused thinking: Drones feasibility analysis for national defense. In: International Conference Innovation in Engineering, 2022. Cham: **Springer International Publishing**, 2022.
- MA, J. Training Aircraft Selection of the Vietnam People’s Air Force Using a Hybrid BWM-Fuzzy TOPSIS Method. **Periodica Polytechnica Social and Management Sciences**, v. 30, n. 2, p. 141–157, 2022.
- MARINHA DO BRASIL. EMA-322: **O Posicionamento Da Marinha Do Brasil Nos Principais Assuntos De Interesse Naval Marinha Do Brasil Estado-Maior Da Armada**,

2017. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/ema-322.pdf>>. Acesso em: 13 Jun. 2024.

MARINHA DO BRASIL. Meios navais. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/meios-navais>. Acesso em: 29 mar. 2025.

MARINHA DO BRASIL. **Política Naval**. p. 47, 2019. Disponível em: <<https://www.naval.com.br/blog/wp-content/uploads/2019/04/PoliticaNavalMB.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2024.

MARINHA DO BRASIL. **Indústria e Economia do Mar navegam juntas**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/economia-azul/noticias/industria-e-economia-do-mar-navegam-juntas>>. 2021, Acesso em: 13 Jun. 2024.

MARINHA DO BRASIL. **Amazônia Azul**. 2022a Disponível em: <[https://www.mar.mil.br/hotsites/amazonia\\_azul/index.html](https://www.mar.mil.br/hotsites/amazonia_azul/index.html)> 2022a. Acesso em: 13 abr. 2024.

MARINHA DO BRASIL. **Comando em Chefe da Esquadra** 2022b - Marinha do Brasil. 2022.

MATIĆ, B.; JOVANOVIĆ, S.; DAS, D.K.; ZAVADSKAS, E.K.; STEVIĆ, Ž.; SREMAC, S.; MARINKOVIĆ, M. A New Hybrid MCDM Model: Sustainable Supplier Selection in a Construction Company. **Symmetry** 2019. <https://doi.org/10.3390/sym11030353>.

MILOSAVLJEVIĆ, M.; JEREMIĆ, D.; MILINKOVIĆ, S. Selection of the Best Location for RFID Wagon Monitoring Device on Serbian Railways Based on FUCOM-TOPSIS Method and Fuzzy Set Theory. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1115. **Springer, Cham**. 2020.

MOHRIAK, W. U. Bacias sedimentares da margem continental Brasileira Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil **CPRM Brasília**, , 2003.

MOREIRA, M. Â. L.; GOMES, C. F. S.; DOS SANTOS, M.; DO CARMO SILVA, M.; ARAUJO, J. V. G. A. PROMETHEE-SAPEVO-M1 a Hybrid Modeling Proposal: Multicriteria Evaluation of Drones for Use in Naval Warfare. **International Joint conference on Industrial Engineering and Operations Management**. 2020.

MINGERS, J.; ROSENHEAD, J. Problem structuring methods in action. **European Journal of Operational Research**, v. 152, n. 3, p. 530-554, 2004.

NAVAL. **O retorno do PAEMB – Plano de Articulação e Equipamento da Marinha do Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2022/04/01/o-retorno-do-paemb-plano-de-articulacao-e-equipamento-da-marinha-do-brasil/>. Acesso em: 29 mar. 2025.

NEDELJKOVIĆ, M., PUŠKA, A., MAKSIMOVIĆ, A., & SUZIĆ, R. Selection of the Optimal Apple Variety for Raising Orchards Using the Methods of Multi-criteria Analysis. **Erwerbs-Obstbau**, 65(2), 201-214. 2023.

- NENADIC, D. Ranking Dangerous Sections of the Road Using the Mcdm Model. **Decis. Mak. Appl. Manag. Eng.**, 115–131. <https://doi.org/10.31181/dmame1901115n>. 2019.
- NUNIĆ, Z. Evaluation and selection of the PVC carpentry Manufacturer using the FUCOM-MABAC model, In: **Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications**, 2018, 1, 1, 13–28 2018.
- ONG, M.C.; LEONG, Y.T.; WAN, Y.K.; CHEW I. M. L. Multi-objective Optimization of Integrated Water System by FUCOM-VIKOR Approach. **Process Integr Optim Sustain** 5, 43–62 2021.
- PAJIC, V.; KILIBARDA, M.; ANDREJIC, M. A Novel Hybrid Approach for Evaluation of Resilient 4PL Provider for E-Commerce. **Mathematics** 2023, <https://doi.org/10.3390/math11030511>.
- PAPE, A. **Janes Fighting Ships**, Editora: Jane's Information Group, Londres, Inglaterra, 2021.
- PAMUČAR, D.; BADI, I.; STEVIC, Z.; An Integrated Fucom-Rafsi Model For Assessing The Potential of aNew Gateway Port In Libya For Some African Landlocked Countries. **International Journal for Quality Research** 16(2) 613–624 ISSN 1800-6450, 2021.
- PAMUČAR, D.; ŽIŽOVIĆ, M.; MARINKOVIĆ, D.; DOLJANICA, D.; JOVANOVIĆ, S.V.; BRZAKOVIĆ, P. Development of a Multi-Criteria Model for Sustainable Reorganization of a Healthcare System in an Emergency Situation Caused by the COVID-19 Pandemic. **Sustainability**, 12, 7504. 2020. <https://doi.org/10.3390/su12187504>.
- PAMUČAR, D.; STEVIĆ, Ž.; SREMAC, S. A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM). **Symmetry** 10, 393. 2018.
- PANJAVONGROJ, S.; PHRUKSAPHANRAT, B. Selection of ERP System and the Best Practice by Hybrid Method: A Case Study of Thai Automotive Supply Chain Network. **Journal of Intelligent and Fuzzy Systems** 1 Jan.: 7617 – 7631. 2022.
- PANSARI, A.; KUMAR, V. Customer engagement: the construct, antecedents, and consequences. **Journal of the Academy of Marketing Science**, v. 45, n. 3, p. 294–311, 2017.
- PARNELL, G. S.; CONLEY, H. W.; JACKSON, J. A.; LEHMKUHL, L. J.; ANDREW, J. M. Foundations 2025: A value model for evaluating future air and space forces. **Management Science**, v. 44, n. 10, p. 1336–1350, 1998.
- PIETSCHA, B; CURTIS N. J.; COUTTS, A. Development of Agreeable Models for Army Intelligence, Surveillance and Reconnaissance in Support of Concept Development. 2015.
- PRENTKOVSKIS, O.; ERCEG, Ž.; STEVIĆ, Ž.; TANACKOV, I.; VASILJEVIĆ, M.; GAVRANOVIĆ, M. A New Methodology for Improving Service Quality Measurement:

Delphi-FUCOM-SERVQUAL Model. *Symmetry* 2018, 10, 757. 2018.  
<https://doi.org/10.3390/sym10120757>.

R CORE TEAM A . **fucom: A package for implementing FUCOM (Full Consistency Method) in R**. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/fucom/index.html>. Acesso em: 26 out. 2024.

R CORE TEAM B. **rafsi: A package for RAFSI (Ranking Alternatives by the Full and Simplified Ideal Solutions) Method in R**. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/rafsi/index.html>. Acesso em: 26 out. 2024.

REHMAN, O.; ALI, Y.; SABIR, M. Risk assessment and mitigation for electric power sectors: A developing country's perspective, *International Journal of Critical Infrastructure Protection, Elsevier*, vol. 36(C). 2022.

ROSENHEAD, J. Past, present and future of problem structuring methods. *Journal of the Operational Research Society*, v. 57, n. 7, p. 759-765, 2006.

ROSE-PEHRSSON, S. L.; SHAFFER, R. E.; HART, S. J.; WILLIAMS, F. W.; GOTTUK, D. T., STREHLEN, B. D.; HILL, S. A.. Multi-criteria fire detection systems using a probabilistic neural network. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 69(3), 325-335. 2000.

SÁNCHEZ-LOZANO, J.M. CORREA-RUBIO J.C., AND M. FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ M . **A double fuzzy multi-criteria analysis to evaluate international high-performance for defense purposes. Eng. Appl.** 2022.

SÁNCHEZ-LOZANO, J. M., SALMERÓN-VERA, F. J., E ROS-CASAJÚS, C. Prioritization of cartagena coastal military batteries to transform them into scientific, tourist and cultural places of interest: A **gis-mcdm approach. Sustainability (Switzerland)**, 12(23), 1–16. 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/su12239908>

SANTOS DOS M. V. P., QUINTAL R. S., PAIXÃO A. C. D., GOMES C. A.. Simulation of Operation of an Integrated Information for Emergency Pre-Hospital Care in Rio de Janeiro Municipality. *Procedia Computer Science*, v. 55, p. 931–938, 2015.

SANTOS M.; I. P. D. A. COSTA AND C. F. S. GOMES. Multicriteria decision-making in the selection of warships: a new approach to the AHP method. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 2021.

SANTOS F. B. e SANTOS, M. **Choice of armored vehicles on wheels for the Brazilian Marine Corps using PrOPPAGA**. *Procedia Computer Science*, 199, 301–308. 2022.

SEAFORCES A. **Type 124 Sachsen class Guided Missile Frigate 2024**. Disponível em: <https://www.seaforces.org/marint/German-Navy/Frigate/Type-124-Sachsen-class.htm>. 2024. Acesso em: 20 mar.2024A.

SEAFORCES B. **Alvaro de Bazan (F100) class Guided Missile Frigate**. Disponível em: <https://www.seaforces.org/marint/Spanish-Navy/Frigate/Alvaro-de-Bazan-class.htm> 2024. Acesso em: 20 mar.2024B.

SEAFORCES C. **Forbin class Guided Missile Frigate**. Disponível em: <https://www.seaforces.org/marint/French-Navy/Destroyer-Frigate/Forbin-HORIZON-class.htm> 2024. Acesso em: 20 mar.2024C.

SEAFORCES D. **Aquitaine class Multipurpose Frigate**. Disponível em: <https://www.seaforces.org/marint/French-Navy/Destroyer-Frigate/Aquitaine-FREMM-class.htm> 2024 Acesso em: 20 mar.2024D.

SEAFORCES E. **Andrea Doria class Guided Missile Destroyer (DDG)**. Disponível em: <https://www.seaforces.org/marint/Italian-Navy/Destroyer/Andrea-Doria-class.htm> 2024 Acesso em: 20 mar.2024E.

SEAFORCES F **Bergamini class Guided Missile Frigate**. Disponível em: <https://www.seaforces.org/marint/Italian-Navy/Frigate/Bergamini-FREMM-class.htm> 2024class.htm Acesso em em: 20 mar.2024F.

SEAFORCES G **Paolo Thaon di Revel class Offshore Patrol Vessel (OPV)** Web page: <https://www.seaforces.org/marint/Italian-Navy/Patrol-Vessel/Thaon-di-Revel-class.htm> 2024 Acesso em: 20 mar.2024G.

SEA FORCES H. **De Zeven Provinciën class frigate - Netherlands Navy**. Disponível em: <https://www.seaforces.org/marint/Netherlands-Navy/Frigate/De-Zeven-Provincien-class.htm>. 2024Acesso em em: 20 mar.2024H.

SILVA, C. A. DA; RANGEL, L. A. D.; NEVES, T. A.; GOMES, L. F. A. M. UTILIZAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO TODIM-FSE PARA CLASSIFICAÇÃO DE BASE LOGÍSTICA DE BRIGADA. *Anais do XVII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha. Anais...* . v. 3, p.419–430, 2014.

SILVA, D. D., GRÁCIO, M. C. C. **Índice h de Hirsch: análise comparativa entre as bases de dados Scopus, Web of Science e Google Acadêmico**. Em *Questão*, Porto Alegre, v. 23, p. 196-212, Edição Especial 5 EBBC, 2017.doi: <http://dx.doi.org/10.19132/1808-5245230.196-212>.

SIMIĆ, J.M.; STEVIĆ, Ž.; ZAVADSKAS, E.K.; BOGDANOVIĆ, V.; SUBOTIĆ, M.; MARDANI, A. **A Novel CRITIC-Fuzzy FUCOM-DEA-Fuzzy MARCOS Model for Safety Evaluation of Road Sections Based on Geometric Parameters of Road**. *Symmetry*, 12, 2006. 2020 <https://doi.org/10.3390/sym12122006>.

- SOFUOĞLU, M. A.. Fuzzy Applications of FUCOM Method in Manufacturing Environment . **Politeknik Dergisi** , 23 (1) , 189-195 . 2020.
- STARČEVIĆ, S.; BOJOVIĆ, N.; JUNEVIČIUS, R.; SKRICKIJ, V. Analytical hierarchy process method and data envelopment analysis application in terrain vehicle selection. **Transport**, 34(5), 600-616. 2019. <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11710>.
- STEVIC, Ž.; DURMIĆ, E.; GAJIĆ, M.; PAMUČAR, D.; PUŠKA, A. A Novel Multi-Criteria Decision-Making Model: Interval Rough SAW Method for Sustainable Supplier Selection. **Information**, 10, 292. 2019 <https://doi.org/10.3390/info10100292>.
- TANG, C.; XU, D. ; CHEN, N. Sustainability prioritization of sewage sludge to energy scenarios with hybrid-data consideration: a fuzzy decision-making framework based on full consistency method and fusion ranking model. **Environ Sci Pollut Res** **28**, 5548–5565, 2021.
- TENÓRIO, F. M.; DOS SANTOS, M.; GOMES, C. F. S. ; ARAUJO, J. D. C Navy warship selection and multicriteria analysis: The THOR method supporting decision making. **International Conference on Industrial Engineering and Operations**, 2020.
- ULUTAŞ, A.; KARAKUŞ, C.B. Location selection for a textile manufacturing facility with GIS based on hybrid MCDM approach, **Journal of Theoretical and Applied Information Technology** 2021.
- ULUTAŞ, A.; TOPAL, A.; PAMUČAR, D.; STEVIĆ, Ž.; KARABAŠEVIĆ, D.; POPOVIĆ, G. A New Integrated Multi-Criteria Decision-Making Model for Sustainable Supplier Selection Based on a Novel Grey WISP and Grey BWM Methods. **Sustainability** 2022, 14, 16921. <https://doi.org/10.3390/su142416921>
- ÜSKÜDAR, A., TÜRKAN, Y. S., ÖZDEMİR, Y. S., & ÖZ, A. H. Fuzzy AHP-Center of Gravity Method Helicopter Selection and Application. **Proceedings of 2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management**, ICITM 2019.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **Manual for VOSviewer version 1.6. 8**. CWTS Meaningful Metrics. Universiteit Leiden, 2018.
- VAN HOAN, P. ; HA, Y. ARAS-FUCOM approach for VPAF fighter aircraft selection. **Decision Science Letters** , 10(1), 53-62. 2021.
- VANZETTA, M.; GOMES, C. F. S.; SANTOS M.; MORREIRA M. Â. L., Bibliometric Studies of Ranking of Alternatives Through Functional Mapping of Criterion Sub-Intervals Into a Single Interval (RAFSI) Method, **Procedia Computer Science**, Volume 221, 2023a
- VANZETTA, M.; GOMES, C. F. S.; SANTOS M.; Revisão Bibliográfica do Método Full Consistency Method (FUCOM) Encontro Nacional De Engenharia De Produção - **ENEGEP. Anais** 2023b

VANZETTA, M., GOMES, C. F. S., SANTOS, M., ALVES, A. DE O., KOJIMA, E. H., LIMA DA SILVA, M. P. R., & PIRES, T. Bibliometric study on multicriteria decision analysis (MCDA) applied to the selection of operational means in a military environment. **Procedia Computer Science**, 242, 821-828. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.08.205>. (2024a).

VANZETTA, M.; OLIVEIRA, L.; MENDONÇA, A. A.; PEREIRA, D. A. M.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. Seleção de um Caminhão Elétrico para Transporte em Área Urbana por Meio do Método Simultaneous Evaluation Of Criteria And Alternatives (Seca) **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO Anais 2024b**.

VANZETTA, M.; GOMES, C. F. S.; SANTOS M Inovação Na Indústria Naval Militar: Revisão Bibliométrica Sob a Perspectiva de Manutenção, Construção, Modernização e Aquisição de Navios, no IX **Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP 2024c**.

VANZETTA, M.; GOMES, C. F. S.; SANTOS M Utilização do Método Simultaneous Evaluation Of Criteria And Alternatives (Seca) para Escolha de Embarcações Blindadas para o Exército Brasileiro **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO Anais 2024d**.

VANZETTA, M.; GOMES, C. F. S.; SANTOS M Utilização do Método Híbrido Fucom-Rafsi para Escolha de Navio Escolta para a Marinha do Brasil **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO Anais 2024e**.

VANZETTA, M.; GOMES, C. F. S.; SANTOS M Revisão Bibliográfica do Método Ranking of Alternatives Through Functional Mapping of Criterion Sub-Intervals Into a Single Interval (RAFSI) **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO Anais 2023c**.

VANZETTA, M.; GOMES, C. F. S.; SANTOS M Revisão Bibliográfica do Método Ranking of Alternatives Through Functional Mapping of Criterion Sub-Intervals Into a Single Interval (RAFSI) **Encontro Nacional De Engenharia De Produção - ENEGEP. Anais 2023d**.

VANZETTA, M.; GOMES, C. F. S.; SANTOS M Uma Plataforma Web de Suporte ao Método Híbrido Fucom-Rafsi (RAFSI) **Congresso Nacional de Excelência em Gestão (CNEG). Anais 2024f**.

VANZETTA, M., GOMES, C. F. S., SANTOS, M. DOS, PEREIRA, D. A. DE M., & OLIVEIRA, S. B. Análise de obtenção de um navio escolta para a Marinha do Brasil utilizando o Strategic Choice Approach (SCA) no **Congresso Nacional de Excelência em Gestão VIII Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção da EEL-USP (SAEPRO), 2024. Anais 2024g**.

VANZETTA, M.; GOMES, C. F. S.; SANTOS M Utilização da Metodologia Program Evaluation And Review Technique (PERT) e Critical Path Method (CPM): Estudo de Caso na

- Manutenção de um Motor a Diesel . **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, SEGET. Anais** 2023e.
- VELDHUIS, G. A., VAN SCHEEPSTAL, P., ROUWETTE, E., LOGTENS, T. Collaborative problem structuring using MARVEL. **EURO Journal on Decision Processes**, 2015.
- VOGT, R. Novo estudo de uma escolta para a marinha do brasil. **Revista Marítima Brasileira**, v. 138, n. 01/03, p. 47–74, 2018. 20, 53.
- .ZAVADSKAS, E.K.; NUNIĆ, Z.; STJEPANOVIĆ, Ž.; PRENTKOVSKIS, O. A Novel Rough Range of Value Method (R-ROV) for Selecting Automatically Guided Vehicles (AGVs). **Stud. Inform. Control**, 27, 385–394. 2018
- ZHOU, Z., DOU, Y., TAN, Y., e JIANG, J.. A review of value-focused thinking (VFT) application. **In 2018 IEEE 4th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE)**, 2018.
- Zavadskas, E.K.; Govindan, K.; Antucheviciene, J.; Turskis, Z. Hybrid multiple criteria decision-making methods: A review of applications for sustainability issues. **Econ. Res.-Ekonomiska Istraživanja** 2016.
- ŽIŽOVIĆ, M.; PAMUČAR, D. ; ALBIJANIĆ, M. ; CHATTERJEE, P. ; PRIBIĆEVIĆ, I; Rank Reversal Problem Using a New Multi-attribute Model - The RAFSI method, **Mathematics** 8, 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/math8061015>
- YIN, R. **Case study research and applications**. 6th. ed. London: Sage, 2018.
- YUDIATMAJA, W. E., e T. SAMNUZULSARI. Transforming institutional design in addressing sludge oil in Bintan seawater, Kepulauan Riau, Indonesia. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. Vol. 423. No. 1. IOP Publishing, 2020
- WIEJAK, G.; GRZELAK, M.; MROCZEK, R.. **Rating of the mobility of Military Logistic Vehicles Used in the Polish Armed Forces**. *Advances in Military Technology*, 181, 79–86. doi: 10.3849/aimt.01788. 2023.

## APÊNDICE A – CONTRIBUIÇÕES PARA A PESQUISA

Artigos publicados indexados na Base SCOPUS:

- Publicação do artigo “Bibliometric Studies of Ranking Of Alternatives Through Functional Mapping of Criterion Sub-Intervals Into a Single Interval (Rafsi) Method”, no periódico *Procedia Computer Science*, 2023;
- Publicação do artigo “Proposal of a Python Streamlit APP for the MPSI-MARA Multicriteria Method”, no 5th International Conference on Mobile Computing and Sustainable Informatics (ICMCSI), 2023;
- Publicação do artigo “Bibliometric Study on Support Methods Multicriteria Decision (AMD) applied to the selection of operational means in a military environment”, no periódico *Procedia Computer Science*, 2024;
- Publicação do artigo “Selection of Naval Bases and Stations for submarines: a multimethodological approach”, no periódico *Procedia Computer Science*, 2024;

Artigos aprovados em congressos nacionais:

- Publicação do artigo "Inovação Na Indústria Naval Militar: Revisão Bibliométrica Sob a Perspectiva de Manutenção, Construção, Modernização e Aquisição de Navios", no IX Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP 2024;
- Publicação do artigo "Revisão Bibliográfica do Método Ranking of Alternatives Through Functional Mapping of Criterion Sub-Intervals Into a Single Interval (RAFSI)", no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2023.
- Artigo " Utilização do Método Híbrido Fucom-Rafsi para Escolha de Navio Escolta para a Marinha do Brasil", aceito para publicação no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2024.
- Artigo " Utilização do Método Simultaneous Evaluation Of Criteria And Alternatives (SECA) para Escolha de Embarcações Blindadas para o Exército Brasileiro", aceito para publicação no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2024.
- Artigo "Seleção de um Caminhão Elétrico para Transporte em Área Urbana por Meio do Método Simultaneous Evaluation Of Criteria And Alternatives (SECA)", aceito para publicação no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2024.

- Publicação do artigo " Utilização da Metodologia Program Evaluation and Review Technique (PERT) e Critical Path Method (CPM): Estudo De Caso Na Manutenção de um Motor a Diesel", no Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, SEGET, 2023.
- Publicação do artigo " Prospecção de cenários futuros no mercado de criptomoedas: uma análise do preço futuro do Bitcoin", no Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, SEGET, 2023.
- Publicação do artigo "Revisão Bibliográfica do Método Full Consistency Method (FUCOM) ", no Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2023.
- Publicação do artigo " Revisão Bibliográfica do Método Ranking of Alternatives Through Functional Mapping of Criterion Sub-Intervals Into a Single Interval (RAFSI) ", no Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2023.
- Publicação do artigo " Estudo Bibliométrico sobre Métodos de Apoio Multicritério À Decisão (AMD) Aplicados para Seleção de Meios Operativos em Ambiente Militar ", no Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2024.
- Publicação do artigo " Uma Plataforma Web de Suporte ao Método Híbrido Fucom-Rafsi ", no Congresso Nacional de Excelência em Gestão (CNEG), 2024.
- Publicação do artigo " Análise de obtenção de um navio escolta para a Marinha do Brasil utilizando o Strategic Choice Approach (SCA)", no Congresso Nacional de Excelência em Gestão VIII Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção da EEL-USP (SAEPRO), 2024.

#### Apresentações

- Apresentação sobre o método “FUCOM-RAFSI”, na Casa da Pesquisa Operacional. Setembro de 2024.
- Apresentação sobre o método “SECA”, ao grupo de pesquisa. Setembro de 2023.

#### Produção de software:

- Desenvolvimento de uma Biblioteca no CRAN método FUCOM. Package “FUCOM”;
- Desenvolvimento de uma Biblioteca no CRAN método RAFSI. Package “RAFSI”
- Desenvolvimento de ferramenta computacional implementando o método híbrido “RAFSI-RAFSI”;

## APÊNDICE B– CÓDIGOS EM R STUDIO DA AXIOMÁTICA DO METODO

### FUCOM

```

FUCOM_METHOD <- FUNCTION(CRITERIA_RANK, CRITERIA_PRIORITY, DFC_THRESHOLD = 0.025) {
  # INPUT VALIDATION FOR CRITERIA_RANK AND CRITERIA_PRIORITY
  IF (!IS.CHARACTER(CRITERIA_RANK) || !IS.NUMERIC(CRITERIA_PRIORITY)) {
    STOP("`CRITERIA_RANK` MUST BE A CHARACTER VECTOR AND `CRITERIA_PRIORITY` MUST BE A NUMERIC VECTOR.")
  }

  IF (LENGTH(CRITERIA_RANK) != LENGTH(CRITERIA_PRIORITY)) {
    STOP("`CRITERIA_RANK` AND `CRITERIA_PRIORITY` MUST HAVE THE SAME LENGTH.")
  }
  # VALIDATION FOR DFC_THRESHOLD
  IF (DFC_THRESHOLD <= 0 || DFC_THRESHOLD > 0.025) {
    STOP("`DFC_THRESHOLD` MUST BE A POSITIVE NUMBER AND LESS THAN OR EQUAL TO 0.025.")
  }
  # CALCULATING PHI BASED ON CRITERIA_PRIORITY
  # PHI REPRESENTS THE COMPARATIVE PRIORITY BETWEEN CONSECUTIVE CRITERIA
  PHI <- CRITERIA_PRIORITY[-1] / CRITERIA_PRIORITY[-LENGTH(CRITERIA_PRIORITY)]
  # CALCULATING W BASED ON CRITERIA_PRIORITY
  # W REPRESENTS THE CONDITION OF MATHEMATICAL TRANSITIVITY FOR THESE PRIORITIES
  W <- CRITERIA_PRIORITY[-C(1, 2)] / CRITERIA_PRIORITY[-C(LENGTH(CRITERIA_PRIORITY), LENGTH(CRITERIA_PRIORITY) - 1)]
  # OBJECTIVE FUNCTION FOR OPTIMIZATION
  # THIS FUNCTION CALCULATES THE MAXIMUM DEVIATION FROM FULL CONSISTENCY (DFC)
  OBJECTIVE_FUNCTION <- FUNCTION(WEIGHT) {
    # CALCULATING TARGET PHI AND W BASED ON THE CURRENT WEIGHT VECTOR
    TARGET_PHI <- WEIGHT[-LENGTH(WEIGHT)] / WEIGHT[-1]
    TARGET_W <- WEIGHT[-C(LENGTH(WEIGHT), LENGTH(WEIGHT) - 1)] / WEIGHT[-C(1, 2)]
    # CALCULATING DEVIATIONS (DFC) FROM TARGET PHI AND W
    DFC_1 <- ABS(TARGET_PHI - PHI)
    DFC_2 <- ABS(TARGET_W - W)
    # RETURNING THE MAXIMUM DEVIATION FROM FULL CONSISTENCY (DFC)
    RETURN(MAX(C(DFC_1, DFC_2)))
  }
  # GRADIENT OF THE OBJECTIVE FUNCTION FOR OPTIMIZATION
  GRAD_OBJECTIVE_FUNCTION <- FUNCTION(WEIGHT) {
    EPSILON <- .MACHINE$DOUBLE.EPS^0.5 # SMALL VALUE FOR NUMERICAL DIFFERENTIATION
    GRAD <- NUMERIC(LENGTH(WEIGHT))
    FOR (I IN SEQ_ALONG(WEIGHT)) {
      WEIGHT_PLUS <- WEIGHT
      WEIGHT_MINUS <- WEIGHT
      WEIGHT_PLUS[I] <- WEIGHT_PLUS[I] + EPSILON
      WEIGHT_MINUS[I] <- WEIGHT_MINUS[I] - EPSILON
      # NUMERICAL GRADIENT CALCULATION
      GRAD[I] <- (OBJECTIVE_FUNCTION(WEIGHT_PLUS) - OBJECTIVE_FUNCTION(WEIGHT_MINUS)) / (2 * EPSILON)
    }
  }

  RETURN(GRAD)
}
# PERFORMING OPTIMIZATION TO MINIMIZE DFC
# INITIALIZE WEIGHT WITH RANDOM VALUES BETWEEN 0.001 AND 1
WEIGHT <- RUNIF(LENGTH(CRITERIA_PRIORITY), MIN = 0.001, MAX = 1)
# USING SEQUENTIAL QUADRATIC PROGRAMMING (SQP) FOR OPTIMIZATION
RESULTS <- NLOPTR::NLOPTR(
  X0 = WEIGHT,
  EVAL_F = OBJECTIVE_FUNCTION,

```

```

EVAL_GRAD_F = GRAD_OBJECTIVE_FUNCTION,
LB = REP(0.0001, LENGTH(CRITERIA_PRIORITY)), # LOWER BOUNDS FOR WEIGHTS
UB = REP(1.0, LENGTH(CRITERIA_PRIORITY)), # UPPER BOUNDS FOR WEIGHTS
OPTS = LIST(
  ALGORITHM = "NLOPT_LD_SLSQP", # SQP ALGORITHM FOR CONSTRAINED OPTIMIZATION
  XTOL_REL = 1E-9, # RELATIVE TOLERANCE FOR CONVERGENCE
  MAXEVAL = 10000, # MAXIMUM NUMBER OF FUNCTION EVALUATIONS
  PRINT_LEVEL = 0 # SUPPRESS OUTPUT FROM THE OPTIMIZER
)
)
# EXTRACTING THE OPTIMIZED WEIGHT VECTOR
WEIGHT <- RESULTS$SOLUTION
# CALCULATING FINAL WEIGHTS AND ENSURING THE SUM OF WEIGHTS EQUALS 1
WEIGHTS <- WEIGHT / SUM(WEIGHT)
# RETURNING THE RESULTS AS A LIST
RETURN(LIST(WEIGHTS = WEIGHTS, PHI = PHI, W = W, DFC = OBJECTIVE_FUNCTION(WEIGHT)))
}

```

## APÊNDICE C—CÓDIGOS EM *R STUDIO* DA AXIOMÁTICA DO METODO RAFSI

```

rafsi_method <- function(dataset, weights, criterion_type, ideal = numeric(), anti_ideal = numeric(), n_i, n_k) {
  # Check the sum of the weights
  if (abs(sum(weights) - 1) > .Machine$double.eps^0.5) {
    stop("The sum of the weights must be equal to 1.")
  }

  # Check the criterion types
  if (!all(criterion_type %in% c('max', 'min'))) {
    stop("Only 'min' or 'max' are valid for criterion_type.")
  }

  # Data normalization
  X <- dataset
  coef <- matrix(0, nrow = 2, ncol = ncol(X))
  best <- numeric(ncol(X))
  worst <- numeric(ncol(X))

  # Standardized decision matrix
  Standardized_matrix <- matrix(0, nrow = nrow(X), ncol = ncol(X))
  rownames(Standardized_matrix) <- rownames(dataset)
  for (j in seq_len(ncol(X))) {
    if (criterion_type[j] == 'max') {
      best[j] <- if (length(ideal) == 0) max(X[, j]) else ideal[j]
      worst[j] <- if (length(anti_ideal) == 0) min(X[, j]) else anti_ideal[j]
    } else {
      best[j] <- if (length(anti_ideal) == 0) min(X[, j]) else anti_ideal[j]
      worst[j] <- if (length(ideal) == 0) max(X[, j]) else ideal[j]
    }
    coef[1, j] <- (n_k - n_i) / (best[j] - worst[j])
    coef[2, j] <- (best[j] * n_i - worst[j] * n_k) / (best[j] - worst[j])
    for (i in seq_len(nrow(X))) {
      Standardized_matrix[i, j] <- X[i, j] * coef[1, j] + coef[2, j]
    }
  }

  # Normalize the decision matrix
  A <- mean(c(n_i, n_k))
  H <- 2 / (1 / n_i + 1 / n_k)
  Normalized_matrix <- Standardized_matrix
  for (j in seq_len(ncol(X))) {
    if (criterion_type[j] == 'max') {
      Normalized_matrix[, j] <- Standardized_matrix[, j] / (2 * A)
    } else {
      Normalized_matrix[, j] <- H / (2 * Standardized_matrix[, j])
    }
  }

  # Apply the weights
  Normalized_matrix_weighted <- sweep(Normalized_matrix, 2, weights, "**")
  rownames(Normalized_matrix_weighted) <- rownames(dataset)

  # Ranking as a dataframe with row names
  Ranking <- rowSums(Normalized_matrix_weighted)
  Ranking_df <- data.frame(
    Alternative = rownames(Normalized_matrix_weighted),
    Ranking = Ranking
  )
}

```

```
rownames(Ranking_df) <- Ranking_df$Alternative
# Sort the results
sorted_indices <- order(Ranking, decreasing = TRUE)
Ranking_df <- Ranking_df[sorted_indices, ]
# Return the results as a list
return(list(
  Standardized_matrix = Standardized_matrix,
  Normalized_matrix = Normalized_matrix,
  Ranking = Ranking_df
))
}
```

## APÊNDICE D– QUESTIONÁRIO PARA VALIDAR DADOS TÉCNICOS PARA APLICAÇÃO DO SCA.

### Questionário de Validação de Dados Técnicos para Obtenção de Navios Escolta para a Marinha do Brasil

Objetivo: Este questionário tem como objetivo coletar informações e validar dados técnicos levantados em documentos, relacionados à obtenção de navios escolta para a Marinha do Brasil (MB). Sua contribuição ajudará a avaliar e refinar as opções de obtenção, garantindo que atendam às necessidades funcionais e estratégicas da MB.

Instruções: Por favor, responda às perguntas com base em seu conhecimento e experiência. Suas respostas serão anônimas e confidenciais. Agradecemos sua colaboração.

#### Pergunta 1:

**Para a obtenção de um navio escolta para a MB, considere as seguintes opções:**

1. **Modernização de um meio existente:** Envolve a atualização e aprimoramento das capacidades técnicas, operacionais e tecnológicas de uma classe de navio durante um período de manutenção previsto para a meia-vida dele. Isso pode incluir a instalação de sistemas mais avançados de armamento, comunicação e sensoriamento, melhorias na propulsão e eficiência energética, podendo enfrentar restrições de espaço e incompatibilidade de sistemas antigos com novos.
2. **Compra de navios existentes por oportunidade planejada:** Refere-se à aquisição de embarcações já construídas e disponíveis no mercado global que atendam às funções e especificações da MB. Esta opção permite a obtenção de navios testados e prontos para uso imediato, com base em critérios como capacidade operacional, custo-benefício, e alinhamento com requisitos estratégicos. A aquisição é limitada a navios de países membros da OTAN ou países que já venderam navios militares para o Brasil e restrita a navios com no máximo 24 anos de operação.
3. **Aquisição de novos navios por construção:** Envolve o desenvolvimento de um projeto nacional pela MB para criar embarcações sob medida que atendam a todos os requisitos operacionais e estratégicos. Apesar do maior investimento inicial e tempo de entrega, oferece maior controle sobre design, desempenho e características operacionais, além de estimular a indústria naval nacional. No entanto, há riscos devido à falta de experiência da MB na construção de navios de escolta de primeira classe e o risco de falta de recursos financeiros pelo alto valor envolvido.
4. **Revitalização de um meio existente:** Inclui um processo abrangente para estender a vida útil e melhorar as capacidades operacionais dos navios existentes, com a instalação de novos sistemas de armas, sensores, equipamentos de comunicação e atualizações em sistemas de propulsão e combate. O objetivo é alinhar os navios com os padrões tecnológicos mais recentes, prolongar sua vida útil e manter a eficácia operacional. No entanto, há riscos associados à complexidade da integração de sistemas obsoletos com novos e à disponibilidade de peças de reposição para sistemas não substituídos.

**Essas opções cobrem todas as formas de obtenção de navios escolta para a MB? Existe alguma outra forma de obtenção que deveria ser considerada?**

- Sim, essas quatro opções cobrem todas as formas relevantes.
- Não, há outra forma de obtenção que deveria ser considerada (especifique): \_\_\_\_\_
- Não, retirar uma destas formas de obtenção (especifique): \_\_\_\_\_

**Pergunta 2:**

**Para atender às funções de um navio escolta para a MB, considere as seguintes opções:**

1. **Função 1 – Realizar apoio de Fogo Naval:** O navio deve possuir canhão principal de calibre superior a 3 polegadas (76 mm).
2. **Função 2 – Realizar operações de ataque:** O navio deve ter armamentos como canhão (maximizar alcance), míssil superfície-superfície (MSS) (maximizar distância), míssil superfície-ar (MSA) (maximizar distância), torpedo (maximizar velocidade) e metralhadoras (maximizar metralhadoras).
3. **Função 3 – Realizar Comunicações:** O navio deve possuir equipamentos padrões para realização de comunicação.
4. **Função 4 – Realizar reabastecimento no mar:** O navio deve ser capaz de realizar reabastecimento no mar.
5. **Função 5 – Realizar apoio a Operações Especiais:** O navio deve ter embarcação e pelo menos uma aeronave orgânica.
6. **Função 6 – Realizar abordagens em navios mercantes:** O navio deve possuir embarcação orgânica para enviar Grupo de Vigilância e Grupo de Presa (GVI/GP).
7. **Função 7 – Realizar ações de Operação de Interdição Marítima:** O navio deve ter embarcação orgânica para enviar GVI/GP, procurar evidências de itens proibidos, redirecionar navios que não cumprirem as normas e apreender embarcações.
8. **Função 8 – Realizar ações antissubmarino:** O navio deve possuir sonar, operar com aeronaves dotadas de armamento antissubmarino e ter torpedos como um de seus armamentos.
9. **Função 9 – Realizar autoproteção contra mísseis:** O navio deve ter canhões de calibre igual ou superior a 30mm e mísseis superfície-ar com alcance superior a 20 MN, além de despistadores como CHAFF.
10. **Função 10 – Prover mobilidade:** O navio deve ter velocidade máxima acima de 25 nós, com máxima autonomia, e máximo raio de ação e pelo menos dois eixos.
11. **Função 11 – Realizar operação com aeronave de asa rotativa:** O navio deve possuir convoo (a capacidade de hangarar aeronaves será aprofundada na Análise Qualitativa).
12. **Função 12 – Realizar operação com SARP:** O navio deve ter Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas para uso de drones ou aeronaves não tripuladas a bordo de embarcações para realizar diversas atividades.
13. **Função 13 – Realizar vigilância:** O navio deve possuir, no mínimo, um radar de busca combinada, IFF, MAGE e sensor óptico.
14. **Função 14 – Aumentar o ciclo de vida do navio:** O navio deve buscar otimização da tripulação, redução de deslocamento e desgaste.

**Essas funções cobrem todas as necessidades operacionais de um navio escolta para a MB? Existe alguma outra função que deveria ser considerada?**

- Sim, essas funções cobrem todas as necessidades operacionais.
- Não, há outra função que deveria ser considerada (especifique): \_\_\_\_\_

- Não, retirar uma destas funções consideradas (especifique):.

**Pergunta:**

**Para a aquisição e instalação de sistemas, armas ou navios para atender as funções esperadas, considere as seguintes linhas de ação:**

1. **Optar por uma abordagem com menor dificuldade para aquisição e instalação, o que pode interferir no atendimento dos requisitos e no valor de obtenção dos sistemas, armas ou navios.** Isso envolve a opção de utilizar sistemas e equipamentos que exigem menores intervenções, facilitando a integração de novos componentes em navios já em operação ou em novas construções, ou ainda adquirir navios de nações parceiras com maior facilidade. Essa abordagem prioriza a facilidade de aquisição de sistemas e navios, facilidade de instalação, menor dificuldade de negociação, menor valor, mas pode resultar em um nível menor de atendimento, mais próximos dos requisitos mínimos para o navio atender as funções, devido à dificuldade de adaptação de sistemas mais complexos aos navios existentes e às restrições de espaço e estruturais para instalação.
2. **Optar por uma abordagem com maior dificuldade para aquisição e instalação, o que pode melhorar o atendimento dos requisitos e alterar o valor de obtenção dos sistemas, armas ou navios.** Esta abordagem busca atender melhor requisitos funcionais, mesmo que isso envolva maior complexidade na aquisição e integração de sistemas mais avançados e customizados ou buscar aquisições de maior desempenho de nações que não forneceram para o Brasil. Embora essa segunda opção seja mais desafiadora em termos de tempo, custo e burocráticos, pode oferecer um desempenho operacional superior e uma vantagem estratégica mais significativa.

**Essas linhas de ação abrangem todas as opções relevantes? Existem outras abordagens ou linhas de ação que deveriam ser consideradas para otimizar a aquisição e instalação, levando em conta o atendimento dos requisitos e o valor de obtenção?**

- Sim, essas duas linhas de ação cobrem todas as opções relevantes.
- Não, há outras abordagens ou linhas de ação a serem consideradas (especifique):
- Não, retirar uma das abordagens ou linhas de ação consideradas (especifique):

**Pergunta 3:**

**Para garantir a manutenção eficaz dos sistemas e armas a bordo dos navios escolta, considere as seguintes linhas de ação:**

1. **Optar por sistemas e armas com apoio logístico disponível na MB, mesmo que isso possa resultar em um menor nível de atendimento das funções.** Priorizar a aquisição e instalação de sistemas e armas com capacidade logística de logístico disponível na MB, enfatizando a facilidade de apoio logístico (manutenção) disponível na MB. Essa abordagem busca simplificar os procedimentos de manutenção, minimizando os custos operacionais, de treinamento e reduzindo o tempo de inatividade dos navios. No entanto, é importante ressaltar que essa escolha pode resultar em uma capacidade operacional limitada.

2. **Optar por sistemas e armas com apoio logístico ainda não disponível na MB, com a possibilidade de alcançar um maior nível de atendimento das funções.** Priorizar a aquisição e instalação de sistemas e armas com capacidade de apoio logístico não disponível na MB, no maior nível de atendimento das funções.

**Estas linhas de ação cobrem todas as opções relevantes? Há outras abordagens ou linhas de ação que deveriam ser consideradas para otimizar a manutenção e o desempenho dos navios escolta?**

- Sim, estas duas linhas de ação cobrem todas as opções relevantes.
- Não, há outras abordagens ou linhas de ação a serem consideradas (especifique): \_\_\_\_\_
- Não, retirar umas das abordagens ou linhas de ação consideradas (especifique): \_\_\_\_\_

**Pergunta 4:**

**Qual a forma mais adequada para importar ou exportar sistemas ou navios escolta? Considere as seguintes opções:**

1. **Acordo complexo para aquisição de navios e sistemas:** Há relevância e viabilidade em estabelecer acordos mais complexos para garantir a compra de navios e sistemas estrangeiros, incluindo customizações e especificações adequadas para as necessidades da MB?
2. **Aquisição de navios em operação de outras Marinhas:** A compra de navios já em operação por outras marinhas é uma alternativa viável, considerando o estado dos navios e sua adequação aos requisitos brasileiros?
3. **Aquisição de meios com todos os sistemas disponíveis:** É importante que o navio seja adquirido já com todos os sistemas de armamentos e sensoriamento necessários aceitável?
4. **Aquisição de navios de países membros da OTAN:** A compra de navios de países membros da OTAN tem relevância estratégica, levando em conta possíveis benefícios operacionais, de compatibilidade de sistemas e parcerias internacionais?

**Estas opções cobrem todas as considerações necessárias para a importação ou exportação de sistemas/navios escolta? Há mais algum aspecto que deveria ser observado?**

- Sim, estas opções cobrem todas as considerações necessárias.
- Não, há mais aspectos a serem observados (especifique): \_\_\_\_\_
- Não, retirar um dos aspectos observados (especifique): \_\_\_\_\_

**Pergunta 4:**

**Qual é a forma mais eficaz de reduzir o impacto ambiental na aquisição e operação de navios escolta? Considere as seguintes opções:**

1. **Tecnologias que minimizem o impacto ambiental:** Adotar tecnologias avançadas que reduzam o impacto ambiental dos navios, como sistemas de propulsão mais eficientes e

materiais sustentáveis, pode ser uma abordagem eficaz para minimizar os efeitos negativos ao meio ambiente.

2. **Reduzir emissões de poluentes:** Implementar tecnologias e práticas que visem a redução das emissões de poluentes, como sistemas de tratamento de gases de escape e combustíveis mais limpos, pode ajudar a diminuir a poluição gerada pelas operações dos navios.
3. **Medidas de proteção ambiental:** Adotar medidas de proteção ambiental específicas, como sistemas de gerenciamento de resíduos e programas de monitoramento ambiental, pode ser essencial para garantir que as operações dos navios escoltam minimizem o impacto ambiental.

**Estas opções cobrem todas as considerações necessárias para reduzir o impacto ambiental na aquisição e operação de navios escolta? Há mais algum aspecto que deveria ser observado?**

- Sim, estas opções cobrem todas as considerações necessárias.
- Não, há mais aspectos a serem observados (especifique): \_\_\_\_\_
- Não, retirar um dos aspectos observados observados (especifique): \_\_\_\_\_

## APÊNDICE E– QUESTIONÁRIO PARA VALIDAR CRITÉRIOS E ALTERNATIVAS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO FUCOM-RAFSI.

### Questionário de Validação de Critérios e Alternativas para Aquisição por Oportunidade de Navios Escolta para a Marinha do Brasil

Objetivo: Este questionário visa validar critérios técnicos e alternativas para a aquisição de navios escolta para a Marinha do Brasil (MB), com foco na avaliação de critérios funcionais e operacionais, assim como na seleção de navios utilizados por outras nações como possíveis alternativas de aquisição por oportunidade.

Instruções: Por favor, responda às perguntas com base em seu conhecimento e experiência. Suas respostas serão anônimas e confidenciais. Agradecemos sua colaboração. e operacionais da MB. Todas as respostas serão mantidas em sigilo, garantindo o anonimato.

#### Pergunta

1:

Dentro das funções previstas para um navio escolta, e considerando o questionário aplicado em 6 de junho de 2024, os seguintes critérios são sugeridos para a escolha de navios para aquisição por oportunidade planejada. Avalie se esses critérios são adequados:

1. **Alcance Canhão (MN):** Alcance, em milhas náuticas, do canhão, armamento principal do navio.
2. **Velocidade do Torpedo (ASW):** Velocidade do torpedo em nós para combater submarinos inimigos.
3. **Alcance MSS (Míssil Superfície-Superfície):** Alcance do míssil para combater navios de superfície.
4. **Alcance MSA (Míssil Superfície-Ar) (AAeW):** Alcance do míssil para combater ameaças aéreas.
5. **Artilharia Secundária:** Quantidade de metralhadoras que complementam a artilharia principal.
6. **Autonomia:** Tempo máximo (em dias) que o navio pode operar sem reabastecimento.
7. **Raio de Ação (MN):** Distância máxima que o navio pode percorrer sem reabastecimento.
8. **Tripulação:** Número de pessoas necessárias para operar o navio, o que influencia o custo de ciclo de vida.
9. **Deslocamento:** Peso do navio, que interfere no custo de ciclo de vida.
10. **Operação com Helicóptero:** Capacidade de operar aeronaves de asa rotativa, importante para operações diversas.
11. **Velocidade:** Velocidade máxima do navio em nós.

Esses critérios cobrem todas as possibilidades para a escolha de navios escolta para a MB? Existe algum outro critério relevante a ser considerado?

- Sim, esses critérios cobrem todas as formas relevantes.
- Não, há outro critério que deveria ser considerado (especifique): \_\_\_\_\_
- Não, retirar um destes critérios (especifique): \_\_\_\_\_

#### Pergunta 2:

Para avaliação da significância destes critérios, compare cada critério com o mais relevante dos critérios, atribuindo um valor de **1** ao critério mais importante (maior prioridade). Critérios com a mesma relevância podem receber o mesmo valor. Continue a comparação com os demais critérios e indique suas significâncias relativas, inserindo o valor correspondente no espaço ao lado de cada critério. Caso inseriu um critério a mais na pergunta 1 atribuir a significância desse novo critério, assim como foi retirado algum critério, não atribuir nenhum valor a ele.

- |   |     |
|---|-----|
| 1. Alcance Canhão (MN) .....                        | [ ] |
| 2. Velocidade do Torpedo (ASW) .....                | [ ] |
| 3. Alcance MSS (Míssil Superfície-Superfície) ..... | [ ] |
| 4. Alcance MSA (Míssil Superfície-Ar) (AAeW) .....  | [ ] |
| 5. Artilharia Secundária .....                      | [ ] |
| 6. Autonomia .....                                  | [ ] |
| 7. Raio de Ação (MN) .....                          | [ ] |
| 8. Tripulação .....                                 | [ ] |
| 9. Deslocamento .....                               | [ ] |
| 10. Operação com Helicóptero .....                  | [ ] |
| 11. Velocidade .....                                | [ ] |
| 12. Novo critério _____ .....                       | [ ] |

### Pergunta 3:

Considerando a aquisição de navios escolta de nações que já forneceram ao Brasil, com a restrição de serem navios de países da OTAN e com no máximo 24 anos de operação, as seguintes opções de navios escolta são sugeridas:

- **Sachsen (Type 124)** – Alemanha (entrou em operação em 2005)
- **Alvaro de Bazán** – Espanha (entrou em operação em 2012)
- **Forbin (Horizon)** – França (entrou em operação em 2011)
- **Aquitaine** – França (entrou em operação em 2020)
- **Andrea Doria** – Itália (entrou em operação em 2009)
- **Bergamini** – Itália (entrou em operação em 2021)
- **Thaon di Revel** – Itália (entrou em operação em 2021)

Essas alternativas cobrem todas as opções para a escolha de navios escolta para a MB, levando em consideração as restrições? Existe algum outro navio relevante a ser considerado?

- ( ) Sim, essas alternativas cobrem todas as opções relevantes.
- ( ) Não, há outra alternativa que deveria ser considerada (especifique): \_\_\_\_\_
- ( ) Não, retirar uma dessas alternativas (especifique): \_\_\_\_\_