

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

**SÉRGIO MITIHIRO DO NASCIMENTO MAÊDA**

**SAPEVO-M-NC: DESENVOLVIMENTO DO MODELO AXIOMÁTICO E  
IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DE UMA FERRAMENTA PARA O  
APOIO À TOMADA DE DECISÃO - UMA APLICAÇÃO NA SELEÇÃO DE  
VEÍCULOS AUTÔNOMOS SUBMARINOS PARA A MARINHA DO BRASIL**

**NITERÓI, RJ  
2022**

SÉRGIO MITIHIRO DO NASCIMENTO MAÊDA

**SAPEVO-M-NC: DESENVOLVIMENTO DO MODELO AXIOMÁTICO E  
IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DE UMA FERRAMENTA PARA O  
APOIO À TOMADA DE DECISÃO - UMA APLICAÇÃO NA SELEÇÃO DE  
VEÍCULOS AUTÔNOMOS SUBMARINOS 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. CARLOS FRANCISCO SIMÕES GOMES

Coorientador:

Prof. Dr. MARCOS DOS SANTOS

Niterói, RJ

2022

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

M184s Maêda, Sérgio Mitihiro do Nascimento  
SAPEVO-M-NC : Desenvolvimento do modelo axiomático e  
implementação computacional de uma ferramenta para o apoio à  
tomada de decisão - uma aplicação na seleção de veículos  
autônomos submarinos para a Marinha do Brasil / Sérgio  
Mitihiro do Nascimento Maêda ; Carlos Francisco Simões Gomes,  
orientador ; Marcos dos Santos, coorientador. Niterói, 2022.  
156 f.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,  
Niterói, 2022.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/TPP.2022.m.11223672794>

1. Método SAPEVO-M-NC. 2. Apoio Multicritério à Decisão.  
3. Métodos não-compensatórios. 4. Marinha do Brasil. 5.  
Produção intelectual. I. Gomes, Carlos Francisco Simões,  
orientador. II. Santos, Marcos dos, coorientador. III.  
Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. IV.  
Título.

CDD -

SÉRGIO MITIHIRO DO NASCIMENTO MAÊDA

SAPEVO-M-NC: DESENVOLVIMENTO DO MODELO AXIOMÁTICO E  
IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DE UMA FERRAMENTA PARA O APOIO À  
TOMADA DE DECISÃO - UMA APLICAÇÃO NA SELEÇÃO DE VEÍCULOS  
AUTÔNOMOS SUBMARINOS PARA A MARINHA DO BRASIL

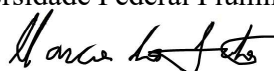
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de  
Produção da Universidade Federal Fluminense  
como requisito parcial para obtenção do Grau de  
Mestre em Engenharia de Produção

Aprovada em 22 de fevereiro de 2022.

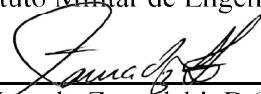
BANCA EXAMINADORA



Professor Orientador: Carlos Francisco Simões Gomes, D.Sc.  
Universidade Federal Fluminense



Professor Coorientador: Marcos dos Santos, D.Sc.  
Instituto Militar de Engenharia



Marcelo Zawadzki, D.Sc.  
Estado-Maior da Aeronáutica



Maria Teresa Ribeiro Pereira, D.Sc.  
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Niterói, RJ  
2022

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais Sérgio e Marly, que sempre me apoiaram de maneira incondicional e buscaram sem mensurar esforços, proporcionar todos os meios necessários para viabilizar uma educação de qualidade aos seus filhos; à minha amada filha, Beatriz Yumi, que sempre soube de forma totalmente especial, me conceder conforto com seu carinho e alegria, nos momentos mais difíceis dessa jornada. Você é meu presente de Deus; e em especial, à minha linda e amada esposa Elisabete, que desde o princípio de nossa união, sempre me apoiou de maneira incondicional e irrestrita. Seu amor me faz mais forte! Te amo!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por minha saúde, minha amada família e por todas as bênçãos recebidas.

À minha amada esposa Elisabete, por todo o amor, carinho, compreensão, incentivo e apoio incondicional em todos os momentos que passamos juntos. Você é o meu porto seguro.

À minha amada e preciosa filha Beatriz, por todo o amor, carinho e compreensão nos momentos em que não pude me fazer presente. Você é o meu presente de Deus! Desde que chegou em minha vida, têm preenchido o meu coração com a sua alegria irradiante!

Aos meus pais, Sérgio e Marly, e a toda nossa família pelo amor, carinho, compreensão e suporte ao longo da minha caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Francisco Simões Gomes por toda atenção, paciência, disponibilidade, confiança e pelos ensinamentos impecáveis transmitidos durante as aulas e no período de orientação. Obrigado por me aceitar em seu seletivo grupo de pesquisa.

Ao meu coorientador, o Prof. Dr. Marcos dos Santos, pela confiança, amizade, disponibilidade e ensinamentos compartilhados. Obrigado por todo o apoio proporcionado, tanto no meio profissional quanto acadêmico.

Aos membros da minha banca examinadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Teresa Pereira e Prof. Dr. Marcelo Zawadzki, que gentilmente disponibilizaram o seu tempo, e aceitaram participar e colaborar com esta dissertação.

Ao grande amigo, colega de turma e de trabalho, Igor Pinheiro de Araújo Costa, pela amizade, companheirismo e disponibilidade para me apoiar nesta caminhada.

Ao grande amigo, Miguel Ângelo Lellis Moreira, exemplo de determinação, simplicidade e companheirismo, não tenho palavras para expressar a minha gratidão por todo o apoio prestado na modelagem e implementação computacional do método SAPEVO-M-NC.

À Marinha do Brasil e ao Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) pelo depósito de confiança e apoio institucional para que eu pudesse me dedicar ao curso.

Ao meu orientador técnico, Capitão de Corveta Luiz Frederico Horácio de Souza de Barros Teixeira, pelas acertadas orientações, paciência, amizade e disponibilidade.

Aos amigos do Laboratório de Estudos de Governança, Gestão e Otimização (LEGGO), pelos ensinamentos e experiências compartilhadas.

## RESUMO

O presente estudo propõe um novo modelo de Apoio Multicritério à Decisão, denominado SAPEVO-M-NC, sendo de natureza ordinal, não-compensatório e com possibilidade de avaliação por múltiplos decisores. Para a ponderação dos pesos dos critérios, utiliza a axiomática do método SAPEVO-M, enquanto, para a avaliação do desempenho das alternativas, propõe uma abordagem totalmente inovadora. Esta é realizada de forma direta, não havendo a necessidade de se realizar comparações paritárias entre as alternativas, a fim de se obter a modelagem de preferências, proporcionando uma redução do esforço cognitivo por parte dos avaliadores. Como resultado, fornece informações sobre a importância relativa dos critérios e conduz a duas avaliações distintas: uma Parcial, que considera os índices de dominância absoluta e as taxas de sobreclassificação entre as alternativas, possibilitando identificar as relações de superação existentes, bem como ordená-las; e uma Global, que considera o desempenho geral das alternativas, fornecendo informações adicionais do sistema em questão, sendo utilizada para possibilitar uma ordenação total, caso ocorram empates na avaliação parcial, proporcionando assim, maior clareza e compreensão da problemática aos decisores envolvidos. Visando tornar a aplicação do método mais versátil e acessível, foi desenvolvida uma plataforma computacional *web* do modelo proposto, que proporciona a saída dos resultados de forma numérica e gráfica, facilitando a compreensão da análise. Para demonstrar uma aplicação prática do método, foi conduzido um estudo de caso baseado na avaliação estratégica da Marinha do Brasil, para a aquisição de Veículos Autônomos Submarinos (AUV), visando sua implementação no teatro de operações navais, com foco nas operações de Contramedidas de Minagem (CMM). O método SAPEVO-M-NC possibilitou realizar uma avaliação simplificada da problemática proposta, sendo possível ordenar com clareza as alternativas consideradas. A fim de se apreciar a estabilidade e positividade dos resultados alcançados, foi conduzida uma avaliação por *rank reversal*, sendo possível perceber a robustez do método, que manteve a ordenação inicial apresentada. Cabe ressaltar que os resultados ficaram alinhados com a atual conjuntura de defesa, onde as alternativas que apresentaram melhor desempenho na ordenação, estão sendo expressivamente exploradas pelas Marinhas mais desenvolvidas do mundo.

**Palavras-chave:** Método SAPEVO-M-NC; Apoio Multicritério à Decisão; Métodos não-compensatórios; Métodos ordinais; Marinha do Brasil

## ABSTRACT

The present study proposes a new model of Multicriteria Decision Support, called SAPEVO-M-NC, being of an ordinal nature, non-compensatory and with the possibility of evaluation by multiple decision-makers. For the weighting of the criteria, it uses the axiomatics of the SAPEVO-M method, while, for the evaluation of the performance of the alternatives, it proposes a totally innovative approach. This is carried out directly, without the need to perform parity comparisons between the alternatives, to obtain the modelling of preferences, which results in a reduction of the cognitive effort on the part of the evaluators. As a result, it provides information on the relative importance of the criteria and leads to two distinct evaluations: one Partial, which considers the absolute dominance indices and the rates of overclassification among the alternatives, making it possible to identify the existing overcoming relationships, as well as order them; and a Global one, which considers the general performance of the alternatives, providing additional information on the system in question, is used to enable a total ranking, in case there are ties in the partial evaluation, thus providing greater clarity and understanding of the problem to the decision-makers involved. Aiming to make the application of the method more versatile and accessible, a web computational platform of the proposed model was developed, which provides the output of the results in numerical and graphical form, facilitating the understanding of the analysis. To demonstrate a practical application of the method, a case study was carried out based on the strategic assessment of the Brazilian Navy, for the acquisition of Autonomous Submarine Vehicles (AUV), aiming at its implementation in the theatre of naval operations, focusing on operations of Countermeasures of Mining (CMM). The SAPEVO-M-NC method made it possible to carry out a simplified assessment of the proposed problem, making it possible to clearly order the considered alternatives. To appreciate the stability and positivity of the results achieved, an evaluation by reverse rank was carried out, making it possible to perceive the robustness of the method, which maintained the initial order presented. It should be noted that the results were in line with the current defence situation, where the alternatives that presented the best performance in ordination are being expressively explored by the most developed navies in the world.

**Keywords:** SAPEVO-M-NC method; Multicriteria Decision Aid; Non-compensatory methods; Ordinal methods; Brazilian Navy



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução temporal das publicações relacionadas com a pesquisa (1972 – 2021) ..	17
Figura 2 – Distribuição das publicações pelas áreas do conhecimento (1972 – 2021) .....	18
Figura 3 – Grafo com as relações de superação entre as alternativas.....	36
Figura 4 – Ciclo de Intransitividade .....	36
Figura 5 - Função de preferência de um critério com variação linear.....	58
Figura 6 - Fluxograma com as etapas da metodologia proposta. ....	60
Figura 7 – Tela de apresentação da plataforma computacional SAPEVO-M-NC <i>Web</i> .....	68
Figura 8 – Tela de estruturação da avaliação .....	69
Figura 9 – Estrutura gerada .....	69
Figura 10 – Planilha com as avaliações do DM1. ....	70
Figura 11 – Inserindo a planilha para avaliação na plataforma.....	70
Figura 12 – Tela da plataforma após carregar a planilha com as avaliações.....	71
Figura 13 – Apresentação da taxa de performance das alternativas e pesos dos critérios .....	71
Figura 14 – Relações de superação entre as alternativas.....	72
Figura 15 – Tabela com o resumo da avaliação .....	72
Figura 16 – Evolução do número de publicações por ano.....	78
Figura 17 – Distribuição das publicações por área.....	78
Figura 18 – Autores relacionados com a área pesquisada .....	79
Figura 19 – Figura rica intitulada: “Desafios operacionais da Marinha do Brasil” .....	81
Figura 20 – AUV em ação de mapeamento do leito marinho .....	83
Figura 21 – AUV em operação de esclarecimento .....	84
Figura 22 – AUV REMUS a missão durante a operação <i>Iraqi Freedom</i> .....	85
Figura 23 – Exemplo de AUV engajado na busca de ameaças subaquáticas.....	85
Figura 24 – AUV Bluefin-21 durante missão de resgate do Boeing 777.....	86
Figura 25 – AUV REMUS 6000 .....	87
Figura 26 – Destroços da turbina do Airbus A330.....	87
Figura 27 – Navio varredor classe “Aratu” .....	89
Figura 28 – Divisão do escopo situacional.....	90
Figura 29 – IVER4 9000 .....	91
Figura 30 – Bluefin 9.....	92
Figura 31 – Bluefin 12.....	92
Figura 32 – Bluefin 21.....	93

Figura 33 – A9-M.....	93
Figura 34 – A18-M.....	93
Figura 35 – LAUV.....	94
Figura 36 – GAVIA.....	94
Figura 37 – REMUS 100M .....	95
Figura 38 – REMUS 300M .....	95
Figura 39 – Gráfico com a intensidade dos pesos dos critérios .....	101

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Metodologia sintética para a abordagem de problemas.....	24
Quadro 2 – Etapas do processo decisório .....	25
Quadro 3 – Metodologia sintética para a abordagem de problemas.....	30
Quadro 4 – Metodologia sintética para a abordagem de problemas.....	31
Quadro 5 – Exemplo de modelagem de preferências entre quatro critérios.....	42
Quadro 6 – Exemplo de matriz de desempenho para um critério qualitativo .....	42
Quadro 7 – Exemplo de Combinação de preferências .....	43
Quadro 8 – Avaliação ordinal da importância dos atributos pelo $DM_1$ .....	61
Quadro 9 – Avaliação ordinal da importância dos atributos pelo $DM_2$ .....	62
Quadro 10 – Avaliação ordinal da importância dos atributos pelo $DM_3$ .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de decisão do exemplo 1 .....	34
Tabela 2 – Alternativas ordenadas conforme desempenho em cada critério .....	34
Tabela 3 – Matriz com a pontuação e ordenação final das alternativas .....	34
Tabela 4– Matriz de decisão do exemplo 1 .....	35
Tabela 5 – Relações de superação entre as alternativas .....	35
Tabela 6 – Relações de superioridade .....	35
Tabela 7 – Relações de superação entre as alternativas .....	37
Tabela 8 – Comparações.....	37
Tabela 9 – Alternativas ordenadas conforme desempenho em cada critério .....	39
Tabela 10 – Índices de concordância para a permutação $P_1$ .....	39
Tabela 11 – Índices de concordância para a permutação $P_3$ .....	40
Tabela 12 – Índice global das permutações.....	41
Tabela 13 - Exemplo de matriz de desempenho para um critério quantitativo .....	42
Tabela 14 - Exemplo de avaliação das combinações nas modelagens de preferências.....	44
Tabela 15 – Exemplo de uma matriz regime .....	45
Tabela 16 – Exemplo de uma matriz regime ponderada .....	46
Tabela 17 – Componentes ordinais e escala numérica associada.....	48
Tabela 18 – Componentes ordinais e escala numérica associada.....	51
Tabela 19 – Componentes ordinais e escala numérica associada.....	56
Tabela 20 – Classificação do desempenho das alternativas em cada critério .....	57
Tabela 21 – Modelagem de preferências dos critérios .....	58
Tabela 22 – Modelagem de preferências dos critérios .....	61
Tabela 23 – Vetor de pesos normalizado.....	61
Tabela 24 – Modelagem de preferências dos critérios .....	62
Tabela 25 – Vetor de pesos normalizado.....	62
Tabela 26 – Modelagem de preferências dos critérios .....	63
Tabela 27 – Vetor de pesos normalizado.....	63
Tabela 28 – Avaliação da importância dos critérios pelos DMs .....	64
Tabela 29 – Avaliação ordinal do desempenho das alternativas pelo $DM_1$ . .....	64
Tabela 30 – Avaliação ordinal do desempenho das alternativas pelo $DM_2$ . .....	64
Tabela 31 – Avaliação ordinal do desempenho das alternativas pelo $DM_3$ . .....	65

Tabela 32 – Classificação do desempenho das alternativas pelos DMs.....	65
Tabela 33 – Avaliação da distância entre as faixas de desempenho das alternativas $\Delta\mu_{j(ab)}$ ....	65
Tabela 34 – Frações de pesos obtidas ( $\sigma_{j(ab)}$ ) após a modelagem de preferências.....	66
Tabela 35 – Dominância Relativa entre as alternativas.....	66
Tabela 36 – Dominância Relativa entre as alternativas.....	67
Tabela 37 – Diferença entre as relações de dominância das alternativas.....	67
Tabela 38 – Dados técnicos e operacionais dos AUV´s.....	98
Tabela 39 – Avaliação dos critérios pelo DM <sub>1</sub> .....	99
Tabela 40 – Avaliação dos critérios pelo DM <sub>2</sub> .....	99
Tabela 41 – Avaliação dos critérios pelo DM <sub>3</sub> .....	100
Tabela 42 – Avaliação da importância dos critérios pelos DMs.....	100
Tabela 43 – Avaliação do desempenho das alternativas pelo DM <sub>1</sub> .....	101
Tabela 44 – Avaliação do desempenho das alternativas pelo DM <sub>2</sub> .....	102
Tabela 45 – Avaliação do desempenho das alternativas pelo DM <sub>3</sub> .....	102
Tabela 46 – Taxas de sobreclassificação ( $\eta_{ab}$ ) entre as alternativas.....	103
Tabela 47 – Diferença entre as relações de dominância das alternativas.....	103
Tabela 48 – Taxas de Performance das alternativas.....	104
Tabela 49 – Posição parcial das alternativas.....	104
Tabela 50 – Nova posição parcial das alternativas.....	105
Tabela 51 – Ordenação final das alternativas.....	105
Tabela 52 – Taxas de sobreclassificação entre as alternativas.....	106
Tabela 53 – Taxas de performance entre as alternativas.....	106
Tabela 54 – Ordenação parcial das alternativas.....	107
Tabela 55 – Ordenação final das alternativas.....	107
Tabela 56 – Matrizes com as avaliações das importâncias dos critérios pelos três DM.....	119
Tabela 57 – Valores parciais e finais dos pesos dos critérios após avaliação pelos DM.....	120
Tabela 58 – Avaliação dos desempenhos das alternativas pelos três Decisores.....	120
Tabela 59 – Soma dos desempenhos das alternativas em cada critério.....	120
Tabela 60 – Matriz com as médias dos desempenhos das alternativas em cada critério.....	121
Tabela 61 – Avaliação das distâncias relativas dos desempenhos das alternativas.....	121
Tabela 62 – Valores ponderados das frações pelos pesos em cada critério.....	123
Tabela 63 – Valores de dominância relativa e taxas de performance das alternativas.....	125
Tabela 64 – Avaliação das taxas de dominância absoluta entre as alternativas.....	125

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

AMD - Apoio Multicritério à Decisão

AML - Sonda de velocidade do som (AML)

ANP - *Analytic Network Process*

ARGUS - *Achieving Respect for Grades by Using ordinal Scales Only*

AUV - Veículo Autônomo Submarino

CASNAV - Centro de Análise de Sistemas Navais

ComForMinVar - Comando da Força de Minagem e Varredura

Covid-19 - *Coronavirus Disease 2019*

CMM - Contramedidas de Minagem

CPW - Combinação das estruturas de desempenho das alternativas com as de importância dos critérios

CRITIC - *Criteria Importance Through Intercriteria Correlation*

DM - *Decision Maker*

DVL - *Doppler Velocity Log*

ELECTRE - *Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*

END - Estratégia Nacional de Defesa

EOD - Descarte de Artilharia Explosiva

GRA - *Grey Relational Analysis*

HWV - Veículo de elevado peso

IME - Instituto Militar de Engenharia

INPI - Instituto Nacional de Propriedade Industrial

INS - *Inertial Navigation System*

ISR - Inteligência, Vigilância e reconhecimento

LBL - Linha de base longa

LWV - Veículo de baixo peso

MACBETH - Medindo a atratividade por técnica de avaliação baseada em categorias

MADM - Tomada de Decisão Multiatributo

MAUT - Teoria da Utilidade Multiatributo

MB - Marinha do Brasil

MBES - Ecosondas Multifeixe

MCDA - Análise de Decisão Multicritério  
MODM - Tomada de Decisão Multiobjetivo  
NAsH - Navio de assistência hospitalar  
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico  
OM - Organização Militar  
PC - Plataforma Continental  
PIB - Produto Interno Bruto  
PINGER - Localizador de Pacotes na Rede de Internet  
PND - Política Nacional de Defesa  
PO - Pesquisa Operacional  
PROANTAR - Programa Antártico Brasileiro  
QUALIFLEX - *Qualitative Flexible method*  
REA - Monitoramento Ambiental Rápido  
RF - Rádio Frequência  
SAPEVO - *Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors*  
SAPEVO-M - *Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors-Multi Decision Makers*  
SAPEVO - M - NC - *Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors - Multi Decision Makers - Non Compensatory*  
SARP - Sistemas de Aeronave Remotamente Pilotadas  
SMART - *Simple Multi Criteria Attribute Rating Technique*  
SOBRAPO - Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional  
SRFP – Sistema Fundamental de Relações de Preferências  
TODIM - Tomada de Decisão Interativa Multicritério  
TOPSIS - *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*  
UFF - Universidade Federal Fluminense  
USBL - linha de base ultracurta  
UUVs - *Unmanned Underwater Vehicle*  
UXO - Artilharia não detonada  
VFT - *Value-Focused Thinking*  
ZEE - Zona Econômica Exclusiva

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	A Pesquisa Operacional .....	16
1.2	Motivação .....	17
1.3	Caracterização do problema .....	18
1.4	Objetivos.....	19
1.4.1	Objetivo Geral .....	19
1.4.2	Objetivos Específicos .....	20
1.5	Contribuições esperadas .....	20
1.5.1	Contribuição para a sociedade .....	20
1.5.2	Contribuição para comunidade científica .....	21
1.6	Estrutura do trabalho.....	21
<b>2</b>	<b>CONCEITOS BÁSICOS E ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>23</b>
2.1	Processos decisórios .....	23
2.1.1	Modelagem do processo decisório .....	24
2.2	O Auxílio Multicritério à Decisão .....	26
2.2.1	Métodos de critério único de síntese (Escola Americana).....	28
2.2.2	Métodos de sobreclassificação (Escola Francesa).....	29
2.2.3	Modelagem das preferências .....	29
2.2.4	Informação intracritério .....	30
2.3	Métodos Ordinais.....	31
2.3.1	O método de BORDA.....	33
2.3.2	O método de Condorcet .....	34
2.3.3	O método de Copeland .....	36
2.3.4	O método QUALIFLEX .....	37
2.3.5	O método ARGUS .....	41



2.3.6	O método REGIME .....	44
2.4	A família de métodos SAPEVO .....	47
2.4.1	O método SAPEVO .....	47
2.4.2	O método SAPEVO-M .....	50
<b>3</b>	<b>O MÉTODO SAPEVO-M-NC.....</b>	<b>55</b>
3.1	Exemplo numérico.....	60
3.2	Plataforma computacional .....	68
3.3	Contribuições do método SAPEVO-M-NC.....	73
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>75</b>
4.1	Aplicação do apoio multicritério à decisão no planejamento, estruturação e na otimização de processos nas organizações militares .....	76
4.2	Atribuições constitucionais da Marinha do Brasil na Política Nacional de Defesa	79
4.3	Os Veículos Autônomos Submarinos (AUV) .....	82
4.3.1	Classificação dos AUV`s .....	82
4.3.2	Aplicações dos AUV`s .....	83
4.4	Operações de Contramedida de Minagem (CMM) .....	88
4.5	Avaliação estratégica da aquisição de Veículos Autônomos Submarinos pela Marinha do Brasil, para implementação em suas operações de Contramedidas de minagem.	88
4.5.1	Compreensão do problema .....	90
4.5.2	Definição das alternativas.....	91
4.5.3	Definição dos critérios de avaliação .....	95
4.5.4	Aplicação do SAPEVO-M-NC.....	97
4.5.4.1	<i>Avaliação dos critérios</i> .....	99
4.5.4.2	<i>Avaliação das Alternativas</i> .....	101
4.5.5	Análise dos Resultados .....	104
4.5.6	Análise por <i>Rank Reversal</i> .....	106
4.5.7	Considerações sobre o processo de análise .....	107
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>109</b>

<b>6</b>	<b>PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>111</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>112</b>
	<b>APÊNDICE A – Memorial de cálculo do estudo de caso.....</b>	<b>119</b>
	<b>APÊNDICE B – Contribuições para a Pesquisa.....</b>	<b>126</b>
	<b>ANEXO A – Folhas de Dados dos AUV's.....</b>	<b>131</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As constantes mudanças no cenário global e a crescente competição por mercados consumidores, exigem tomadas de decisões assertivas para problemas cada vez mais complexos, geralmente limitadas a um curto espaço de tempo, aumentando assim, o valor da própria decisão (MOSHKOVICH *et al.*, 2002). Com isso, as empresas necessitam apresentar constante evolução e capacidade de adaptação às novas condições impostas (SANTOS *et al.*, 2018). A habilidade de avaliar um cenário, para assim, definir uma linha de ação, é um aspecto inerente à natureza humana (GOMES; GOMES, 2019). Segundo os autores, o termo “decidir”, apresenta entre outros, os significados de: resolver, deliberar, sentenciar, enfim, trazer solução para um determinado problema, e que este ocorre, sempre que nos confrontamos com mais de uma alternativa possível para a sua solução. Os autores ratificam que, mesmo quando o cenário oferece apenas uma ação a ser adotada, o processo decisório está formado, uma vez que se observa as alternativas de realizar ou não a ação em questão.

Gomes e Gomes (2019), esclarecem que o processo decisório é diretamente influenciado pelos juízos de valor dos decisores, os quais, possuem poder de ratificar decisões, bem como o dever moral de assumir as suas consequências. Mencionam ainda que suas avaliações devem ser dinâmicas, uma vez que podem sofrer alterações durante o processo em virtude do enriquecimento do cenário com maiores informações.

Segundo Saaty (2008), fundamentalmente, somos todos tomadores de decisões. Tudo o que fazemos, de forma consciente ou não, é resultado de um processo decisório, envolvendo diversas informações que devem ser avaliadas, a fim de proporcionar maior transparência ao processo e compreensão do sistema pelo(s) decisor(es). Ainda segundo o autor, a tomada de decisão tornou-se em essência, uma ciência matemática, sendo fundamental termos um entendimento desta valiosa habilidade que a natureza nos possibilitou, para com isso, fazermos as melhores escolhas. Assim, para tomar uma decisão eficiente, faz-se necessário compreender o problema de forma transparente, o propósito da decisão em si, os critérios envolvidos, as possíveis alternativas que atendam as partes interessadas, os grupos afetados, bem como as ações a serem adotadas.

Tomar decisões assertivas é a base de uma planificação estratégica eficiente, mitigando riscos e perdas no processo, no entanto, pode ser uma tarefa complexa, especialmente quando estas devem ser adotadas por um grupo específico (CANDIA-VÉJAR; GONZÁLEZ, 2011).

Segundo Cinelli *et al.* (2020), a tomada de decisão é uma tarefa complexa, envolvendo uma infinidade de perspectivas, restrições e variáveis.

## 1.1 A PESQUISA OPERACIONAL

A Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO), define a Pesquisa Operacional (PO) como: “a área do conhecimento que estuda, desenvolve e aplica métodos analíticos avançados, para auxiliar as tomadas de decisão nas mais diversas áreas de atuação humana”. Sua origem remete a interesses na gestão eficiente de processos e recursos tipicamente de logística militar, entretanto, com o avanço de novas metodologias, a PO se expandiu para outras áreas do conhecimento e atualmente, pode auxiliar o(s) decisor(es) na análise dos mais variados tipos de problemas, permitindo a tomada de decisões efetivas, com isso, a construção de sistemas mais eficientes (SOBRAPO, 2020).

Segundo Arenales *et al.* (2011), a partir de 1950, a PO começou a ganhar maior notoriedade na Inglaterra, sendo aplicada em diversos problemas oriundos dos setores públicos e privados. Ainda de acordo com o autor, recentemente a PO também tem sido referida como ciência e tecnologia de decisão, onde o componente científico está relacionado a ideias e processos, objetivando articular e modelar problemas de decisão, determinando os objetivos dos decisores e as restrições sob as quais se deve operar.

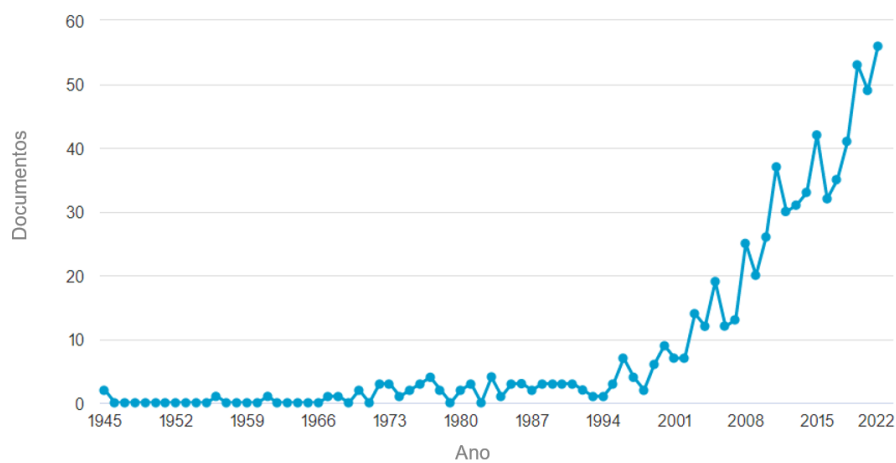
De acordo com Santos *et al.* (2015) a PO é uma ciência composta por inúmeras técnicas e modelos intrinsecamente relacionados com a otimização de sistemas produtivos, sendo uma ferramenta utilizada no apoio à decisões em cenários complexos, evitando que elas ocorram de forma pouco criteriosa, dotando-as de maior racionalidade e objetividade. Para Tenório *et al.* (2020), a PO é um campo abrangente e multidisciplinar que emprega modelos matemáticos e analíticos para a solução de problemas reais e complexos do cotidiano.

Em virtude da complexidade envolvida com a adoção de novas práticas e métodos, visando a otimização de processos, podem ocorrer decisões equivocadas pelo avaliador, acabando por comprometer todo o sistema, com isso, surge a necessidade de se realizar uma abordagem minuciosa do problema. Nesse contexto, a utilização de ferramentas de apoio multicritério à decisão (AMD), possuem relevância ímpar, proporcionando um embasamento técnico e científico ao(s) decisor(es), visando suprir suas necessidades e anseios de forma mais eficiente.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

Os AMD de natureza ordinal, apesar de possuírem vasto campo de aplicação, ainda não são largamente explorados no meio acadêmico. Isto torna-se visível, quando avaliamos o número de publicações relacionadas com esses métodos. Ampliando a abordagem, em consulta à base SCOPUS, para todos os tipos de publicação, com a estrutura de pesquisa nos campos: título do artigo, *abstract* e utilizando a lógica “OR” para as palavras-chave: “*Borda method*”, “*Borda’s method*”, “*Method of Borda*”, “*Condorcet method*”, “*Condorcet’s method*”, “*Method of Condorcet*”, “*Copeland method*”, “*Copeland’s method*”, “*Method of Copeland*”, “*ARGUS method*”, “*QUALIFLEX method*”, “*REGIME method*”, “*SAPEVO method*” e “*SAPEVO-M method*”, “*SAPEVO-M-NC method*” foram encontrados apenas 687 (seiscentos e oitenta e sete) artigos relacionados entre os anos de 1972 e 2021. A figura 1 representa graficamente a distribuição temporal da consulta realizada.

Figura 1 – Evolução temporal das publicações relacionadas com a pesquisa (1972 – 2021)

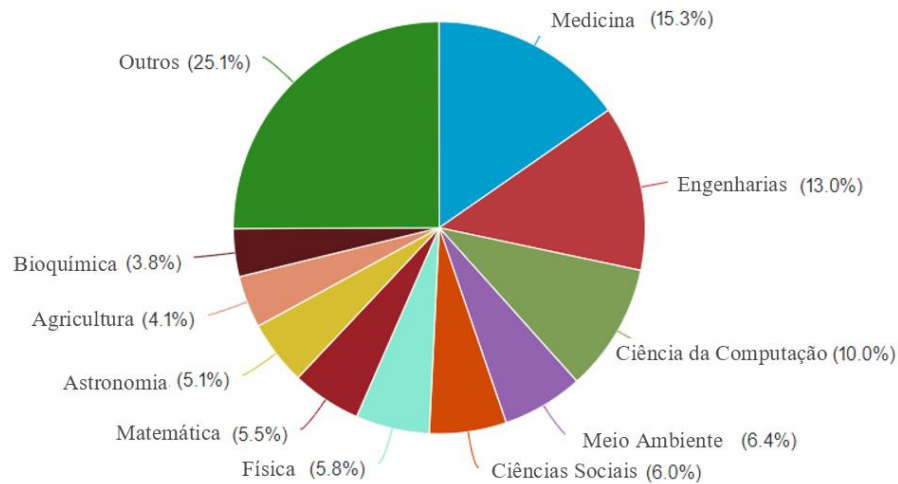


Fonte: SCOPUS (2021)

Verifica-se um aumento de aplicações dos métodos ordinais após 2001.

Já a figura 2, apresenta a distribuição das publicações entre as áreas do conhecimento.

Figura 2 – Distribuição das publicações pelas áreas do conhecimento (1972 – 2021)



Fonte: SCOPUS (2021)

Verifica-se que o uso dos métodos ordinais não se concentra em uma área específica, estando distribuído por várias áreas do conhecimento.

Como forma de comparação, na mesma plataforma foi realizada uma nova pesquisa abordando o método AHP, o mais utilizado do mundo (GRECO *et al.*, 2016), com a palavra-chave: “*AHP method*”, onde foram listados 5.117 (cinco mil, cento e dezessete) documentos. Esta enorme discrepância faz refletir que os métodos ordinais possuem um vasto campo de aplicações a ser explorado, pelas mais diversas áreas do conhecimento. Dado o exposto, um novo método AMD ordinal, não-compensatório, com possibilidade de atuação por múltiplos decisores, apresentando grandes inovações na avaliação do desempenho das alternativas, juntamente com uma plataforma computacional gratuita, disponibilizada para otimizar o processo de análise, poderia vir a contribuir de forma significativa para a expansão da aplicação dos métodos de natureza ordinal perante a sociedade como um todo.

### 1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Dentre os métodos de apoio multicritério à decisão, o método SAPEVO (um acrônimo para: *Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors*), proposto inicialmente por Gomes *et al.* (1997), surgiu como uma ferramenta de natureza compensatória, de abordagem monodecisor e destinada a resolução de problemas do tipo (P $\gamma$ ), onde o resultado pretendido é um procedimento de ordenação ou ranking, entretanto, manteve-se restrito a um número limitado de pesquisadores Gomes *et al.* (2020).

O método SAPEVO-M (um acrônimo para: *Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors - Multi Decision Makers*) proposto por Gomes *et al.* (2020), apresenta-se como uma evolução do método original SAPEVO, possibilitando a avaliação do problema por múltiplos decisores, ao passo que a versão original, possibilitava apenas a abordagem monodecisor, introduzindo também um incremento em sua consistência, mediante o aperfeiçoamento axiomático do modelo original. Conforme abordado por Gomes *et al.* (2020), a principal característica do método está ligado ao processo de transformação ordinal das preferências, sendo este utilizado para obtenção dos graus nas relações de preferência entre as alternativas, bem como para mensurar os graus de importância dos critérios, gerando assim seus respectivos pesos.

Em 2019 foi realizada a implementação computacional do método SAPEVO-M. O sistema SapevoWeb foi desenvolvido a partir de uma parceria entre o corpo técnico do Centro de Análise de Sistemas Navais (CASNAV), um grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense (UFF) e um grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia (IME). A ferramenta pode ser acessada em [www.sapevoweb.com](http://www.sapevoweb.com) (TEIXEIRA *et al.*, 2020).

Desde sua criação, o método SAPEVO-M vem sendo largamente explorado, demonstrando que a sua natureza ordinal, compensatória e com possibilidade de atuação por múltiplos decisores, tem sido bem aceita perante a comunidade científica, sendo aplicado nos mais variados campos de estudo, tanto de forma pura, quanto híbrida com outras ferramentas de AMD. Tal fato induz a um questionamento: o desenvolvimento de uma nova versão do método, entretanto, de natureza não-compensatória, com grande inovação e robustez no processo de análise das alternativas, em conjunto com uma plataforma computacional web, viria a contribuir para expandir a abrangência dos métodos ordinais da família SAPEVO?

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Propor um novo método AMD ordinal, com elevado potencial de exploração e contribuição para a academia, denominado SAPEVO-M-NC (um acrônimo para: *Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors - Multi Decision Makers - Non Compensatory*), consistindo em um método de natureza não-compensatória, com possibilidade

de atuação por múltiplos decisores, com notada robustez e baixa complexidade nos cálculos envolvidos. Para a ponderação dos pesos dos critérios, será utilizada a axiomática do método SAPEVO-M, já consagrado na literatura, enquanto, para a avaliação do desempenho das alternativas, o método propõe uma abordagem totalmente inovadora, fornecendo duas avaliações distintas. Uma Parcial, que considera os índices de dominância absoluta e as taxas de sobreclassificação entre as alternativas, possibilitando identificar as relações de superação existentes, bem como ordená-las; e uma Global, que considera o desempenho geral das alternativas, fornecendo informações adicionais do sistema em questão, sendo utilizada para possibilitar uma ordenação total das alternativas, caso ocorram empates na avaliação parcial, proporcionando assim, maior clareza e compreensão da problemática aos decisores envolvidos.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Realizar uma abordagem dos métodos ordinais de apoio multicritério à decisão: Borda, Condorcet, Copeland, ARGUS, Regime, QualiFlex, SAPEVO e SAPEVO-M, identificando suas principais propriedades e características.

Desenvolver o modelo axiomático do método SAPEVO-M-NC.

Desenvolver uma ferramenta computacional com versão web do modelo proposto, gratuita, intuitiva e de fácil utilização, visando tornar mais versátil e acessível a aplicação do método.

Apresentar mediante estudo de caso, uma aplicação prática do método, baseada na avaliação estratégica da Marinha do Brasil, para a aquisição de Veículos Autônomos Submarinos (AUV), para implementação no teatro de operações navais, com foco em suas operações de Contramedidas de Minagem (CMM).

### **1.5 CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS**

#### **1.5.1 Contribuição para a Sociedade**

A nova modelagem proposta, em conjunto com a plataforma computacional desenvolvida, atuará no sentido de proporcionar uma nova ferramenta de apoio multicritério à decisão, de alto nível e gratuita, possibilitando ao(s) avaliador(es), uma estruturação mais transparente e assertiva em seus processos decisórios.



### 1.5.2 Contribuição para comunidade científica

Oferta de um novo método de apoio multicritério à decisão no estado da arte, moderno, com notada robustez e inovação no 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. Pretende-se ainda, realizar a publicação de artigos em simpósios e periódicos de notada relevância acadêmica.

O apêndice B apresenta as contribuições para a pesquisa científica, realizadas durante o desenvolvimento desta dissertação.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo está dividido em seis capítulos, sendo este destinado a introdução do trabalho.

O segundo capítulo aborda conceitos principais, referentes à teoria de decisão. Em sua primeira seção, explora a temática dos processos decisórios. A segunda seção, apresenta os elementos presentes em uma modelagem de processos decisórios, identificando as etapas presentes em sua estrutura. Na terceira seção, são abordados os métodos de natureza ordinal: Borda, Condorcet, Copeland, Argus, Regime e QualiFlex, explorando suas estruturas axiomáticas e principais características. Na quarta e última seção deste capítulo, é apresentada a revisão de literatura dos métodos SAPEVO e SAPEVO-M.

O capítulo três é destinado a apresentação do método SAPEVO-M-NC proposto, bem como da plataforma computacional SAPEVO-M-NC *Web* desenvolvida. São apresentados os conceitos para a fundamentação do método, sua estrutura axiomática, possibilidades e as contribuições acadêmicas relacionadas. Ainda neste capítulo, um exemplo numérico é conduzido, a fim de esclarecer a metodologia proposta.

O quarto capítulo apresenta um estudo de caso sobre a aquisição de Veículos Autônomos Submarinos (AUV) para a Marinha do Brasil, abordando a aplicação do apoio multicritério à decisão no planejamento, estruturação e na otimização de processos nas organizações militares, bem como nas atribuições constitucionais da Marinha do Brasil na Política Nacional de Defesa (PND). A análise, fundamenta-se na identificação dos AUV mais favoráveis para emprego no teatro de operações navais, com foco nas ações de Contramedidas

de Minagem (CMM), minimizando os custos operacionais e salvaguardando recursos materiais e humanos.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões do estudo.

O sexto e último capítulo, apresenta as propostas para pesquisas futuras.

## 2 CONCEITOS BÁSICOS E ESTADO DA ARTE

Neste capítulo serão abordados os principais conceitos e estado da arte que compõem a dissertação, os quais são pertinentes para o entendimento do tema e do modelo proposto no estudo.

### 2.1 PROCESSOS DECISÓRIOS

Para Amorim (2015), quando estamos diante de um problema que possui mais do que uma alternativa de solução, é suficiente para configurar um problema de decisão. Mesmo que haja apenas uma ação a ser adotada, o processo decisório está formado, uma vez que se observa as alternativas de realizar ou não a ação em questão (GOMES; GOMES, 2019).

Segundo Gomes e Gomes (2019), a teoria da decisão pode ser definida como o conjunto de processos e métodos analíticos que atuam no sentido de garantir a coerência, eficácia e eficiência das decisões tomadas, mediante as informações disponíveis e considerando os possíveis cenários futuros. De acordo com os autores, esta teoria não pode ser considerada explicativa, uma vez que não tem a presunção de descrever ou determinar a forma como as pessoas ou instituições tomam suas decisões. Pelo contrário, possui característica, ora prescritiva ora normativa, auxiliando os agentes decisores a adotarem as melhores práticas e soluções, considerando as suas preferências. Parte do pressuposto de que os agentes decisores são dotados de capacidade intelectual suficiente para expressar suas preferências básicas ou primárias, sendo racionais e coerentes quando em face a um cenário de decisão simples. Neste ponto, a metodologia desenvolvida pela teoria da decisão permite a análise de problemas de tomada de decisão mais complexos.

Para Hillier e Lieberman (2010), o objetivo da análise no processo decisório é realizar um estudo cuidadoso das características e autores envolvidos na problemática em questão, de forma a adotar métodos racionais para a tomada da melhor decisão no ambiente de incerteza. Segundo os autores, à medida que a abordagem se apresenta mais complexa, tanto mais meticulosa e estruturada deverá ser a análise, visando mitigar erros no processo.

De acordo com Junior *et al.* (2013), a modelagem do processo decisório pode contar com a ação de múltiplos decisores, avaliando alternativas à luz de um ou mais critérios. Cada um desses agentes presentes no processo é responsável por realizar julgamentos sobre os atributos considerados, como por exemplo, o grau de desempenho das alternativas em cada um

dos critérios, bem como o nível de importância desses últimos. Assim sendo, a subjetividade é inerente ao processo, estando os valores das variáveis intimamente ligados à intuição e a experiência do agente decisor.

### 2.1.1 Modelagem do processo decisório

Diariamente, inúmeras decisões são tomadas em uma organização. Devido à importância dos impactos futuros que elas trarão, grande atenção é voltada para a construção de modelos e na escolha de métodos, sendo o modelo, uma representação formal e simplificada do problema enfrentado (Almeida, 2013).

Junior *et al.* (2013), afirmam que a modelagem de problemas decisórios envolve a participação de um ou mais agentes, os quais, atuam avaliando o grau de desempenho das alternativas, mediante atributos previamente considerados, que são os critérios, dessa forma, os pesos desses elementos são subjetivos, diretamente dependentes da intuição e experiência do decisor.

Para Chiavenato (2014), em uma determinada situação problema, o tomador de decisão pretende, por meio de determinada estratégia, alcançar seu objetivo, considerando para tanto suas preferências, as quais são adotadas com base em suas experiências e convicções, sendo assim, sua decisão é racional.

Na busca pela resolução de um problema, Gomes e Gomes (2019), apresentam a denominada “metodologia sintética para abordagem de problemas”, sendo composta pelas: premissas, dificuldades, cuidados e elementos presentes no processo decisório. Um maior esclarecimento dessas premissas é apresentado no quadro 1.

Quadro 1 – Metodologia sintética para a abordagem de problemas

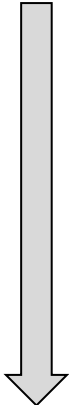
<b>Premissas</b>	Para configurar um problema, se faz necessária a existência de pelo menos duas alternativas, que serão avaliadas à luz de pelo menos dois critérios; O processo de decisão se apresenta de forma dinâmica, onde, à medida que novas informações são imputadas, preferências e objetivos podem ser alterados, bem como alternativas serem degradadas ou valorizadas.
<b>Dificuldades</b>	Os juízos de valores dos atores de decisão podem ser conflitantes; Avaliação do desempenho das alternativas nos critérios.
<b>Cuidados</b>	Verificar se os recursos existentes são suficientes para resolver o problema; Só tomar como verdadeiras, as informações de fontes confiáveis; Escolher corretamente as escalas utilizadas; Avaliar cuidadosamente o problema em questão.

<b>Elementos</b>	Atores da decisão; Problema; Objetivo; Preferências; Processos, subsistemas, modelos, metodologia e transformações; O ambiente analisado, com suas restrições e relaxações; Entradas e insumos; Alternativas possíveis para atender ao objetivo proposto; Critérios e atributos definidos pelo decisor; Saídas, resultados, benefícios e beneficiários; e Controle e realimentação do processo.
------------------	---

Fonte: Adaptado de Gomes e Gomes (2019)

Na literatura, o processo decisório é abordado por diferentes autores, por meio de estruturas variadas, compostas por fases diversas. Em síntese, para Chiavenato (2014) e Almeida (2013), o processo decisório exige uma visão sistêmica do ambiente, apresentando uma estrutura flexível e interdependente, podendo ser dividido nas seguintes etapas (quadro 2):

Quadro 2 – Etapas do processo decisório

	Estruturação do problema	com a análise e percepção da situação que envolve o problema, bem como a definição dos objetivos a serem alcançados
	Construção do modelo de decisão	com a procura de alternativas de solução ou de cursos de ação;
	Avaliação, comparação e seleção da(s) alternativa(s) mais adequada(s) ao alcance dos objetivos	conforme a problemática em questão (seleção, ordenação, classificação etc.);
	Revisão das etapas anteriores	implicando em um processo de aprendizagem para a organização; e
	Implementação da(s) alternativa(s) escolhida(s).	para a solução do problema da organização.

Fonte: Autor (2021)

Por um prisma mais abrangente, Gomes e Gomes (2019) apresentam a estrutura do processo decisório descrita, mediante a observação de treze etapas:

1. Identificação, formulação e análise do problema, apresentando-o em um contexto amplo, incluindo fatores de influência, fontes de informação e considerando os cenários onde a decisão ocorrerá, realizando um estudo prospectivo desses últimos.

2. Definição dos objetivos e das preferências, ampliando a descrição do problema;

3. Identificação das restrições/relaxações, observando fatores que influenciem na solução do problema;
4. Identificação de critérios e/ou atributos de decisão, ordenando-os em níveis hierárquicos, estabelecendo prioridades e verificando interdependências;
5. Construção e teste de modelos para estudo, identificando o que possa representar o sistema, métodos de auxílio à solução e estabelecimento de parâmetros de avaliação;
6. Realimentação do modelo de estudo, realizando comparações dele com a realidade;
7. Estabelecimento de medidas de eficácia, definindo indicadores que mostrarão que o resultado desejado foi atingido;
8. Identificação de alternativas que solucionem o problema, identificando as consequências e riscos associados;
9. Mensuração das consequências das alternativas e do grau que permita alcançar o objetivo, fazendo uma previsão dos resultados possíveis;
10. Comparação entre as alternativas
11. Escolha(s) da(s) alternativa(s), obtendo de forma singela ou combinada após a avaliação de suas consequências, aquela(s) que apresentem a melhor solução para o problema identificado;
12. Implementação da alternativa, avaliando os ganhos gerados no sistema; e
13. Realimentação, avaliando o desempenho da alternativa implementada.

## 2.2 O AUXÍLIO 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, recomendando-a, ou simplesmente, favorecendo-a. Para Pansari e Kumar (2017), trata-se de um ramo da PO que busca otimizar os resultados, considerando cenários complexos, auxiliando os tomadores de decisão quando várias alternativas são avaliadas por múltiplos critérios, indicadores e objetivos, que muitas vezes são conflitantes entre si.

Para Moreira; Costa; *et al.* (2021), AMD é a área da PO que permite a estruturação e compreensão de um problema em ambientes complexos, considerando risco e incerteza, de

forma transparente, auxiliando o(s) DM na obtenção de respostas a problemas de natureza diversa.

Gomes *et al.* (2011), define o AMD, como a atividade, que baseada em modelos claramente apresentados, auxilia na obtenção de elementos de resposta aos questionamentos levantados em meio a um processo pelo agente decisor. Afirmam que os AMD, possuem um carácter científico e ao mesmo tempo, subjetivo, agregando de maneira ampla, todas as características consideradas importantes em um processo decisório, possibilitando maior clareza e sistematização nos problemas de tomada de decisão. Ainda de acordo com os autores, a metodologia procura fazer com que o processo seja o mais neutro, objetivo e transparente possível, sem ter a pretensão de indicar uma solução única como verdadeira.

Dada que a ação de tomada de decisões constitui-se em uma difícil tarefa tanto para indivíduos, quanto para grupos em organizações, seja pela existência de situações muitas das vezes conflitantes entre si, e/ou devido à dificuldade de se identificar as consequências advindas das decisões adotadas, a utilização das técnicas disponibilizadas pelo AMD, atuam no sentido de auxiliar na clarificação e na obtenção de respostas para os questionamentos levantados no processo decisório, para tanto, utilizam procedimentos da psicologia e da matemática, realizando uma avaliação sistêmica da situação, analisando várias alternativas sob diferentes critérios ou pontos de vista (GOMES; GOMES, 2019). Em geral, a metodologia AMD é empregada em problemas com múltiplos objetivos, com dados imprecisos e quando envolvem grupos com interesses distintos. Neste tipo de problemática, critérios selecionados, são utilizados para medir a conveniência, ou a atratividade das alternativas (PEREIRA, 2012). Diferente de uma análise da PO tradicional, não se busca apenas maximizar ou minimizar um único parâmetro. Com o estabelecimento de critérios de forma a identificar adequadamente as diversas facetas do problema, os AMD possibilitam uma caracterização muito mais ampla da situação avaliada (GOMES; GOMES, 2019).

Ainda, segundo Gomes e Gomes (2019), no contexto de apoio à decisão, o resultado pretendido em determinado problema pode ser identificado em uma das seguintes problemáticas de referência que não são independentes entre si:

Problemática tipo P.α: visa esclarecer a decisão pela escolha de um subconjunto de alternativas mais restrito possível. Portanto, o resultado pretendido é uma escolha ou um processo de seleção, onde este subconjunto conterà as “melhores ações, ou as ações mais satisfatórias”;

Problemática tipo P.β: visa esclarecer a decisão por uma triagem resultante da alocação de cada alternativa a uma classe (ou categoria). Portanto, o resultado pretendido é uma triagem ou um procedimento de classificação;

Problemática tipo P.γ: visa esclarecer a decisão por uma organização obtida pelo reagrupamento de parte ou de todas as ações em classes de equivalência, que são ordenadas de modo parcial ou completo, conforme as preferências do(s) decisor(es). Portanto, o resultado pretendido é um procedimento de ordenação ou ranking;

Problemática tipo P.δ: visa esclarecer a decisão por uma descrição minuciosa das ações do conjunto e de suas possíveis consequências, assim sendo, a priori, o decisor escolhe as consequências que deseja obter, em função disso, busca a alternativa que lhe ofereça a consequência mais desejável (GOMES; COSTA, 2015).

Segundo Kahraman (2008); Pansari e Kumar (2017), de acordo com a natureza do conjunto de alternativas, os AMD podem ser subdivididos em duas abordagens, sendo: Tomada de Decisão Multiatributo, *Multi-Attribute Decision Making* (MADM) e Tomada de Decisão Multiobjetivo, *Multi-Objective Decision Making* (MODM). Os Métodos de decisão de múltiplos atributos são projetados para selecionar alternativas em um espaço de decisão discreto, sob múltiplos critérios, apresentando um número limitado (finito) de alternativas, enquanto que nos métodos de tomada de decisão multiobjetivo, busca-se otimizar um conjunto de funções objetivo associadas ao espaço de decisão contínuo, composto por um número teoricamente infinito de alternativas, delimitadas por um conjunto de restrições, onde procura-se a solução mais satisfatória

Na literatura, os métodos AMD discretos, classificam-se de diferentes maneiras. A classificação de maior relevância subdivide-os em: método de critério único de síntese/compensatório (Escola Americana), onde destacam-se aqueles baseados no modelo aditivo determinístico e os métodos de sobreclassificação ou superação, não-compensatórios (Escola Francesa), também denominada Escola Europeia ((RANGEL *et al.*, 2011); (Almeida (2013)).

### **2.2.1 Métodos de critério único de síntese (Escola Americana)**

Dentro da escola americana, destaca-se a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT), que se baseia na hipótese de que em qualquer problema de decisão, haverá uma função real sobre o conjunto de alternativas discretas, onde o decisor será capaz de estruturar os critérios pelos quais elas serão avaliadas de maneira hierárquica. Essa classificação é conhecida como



critério único de síntese, a qual exclui a incomparabilidade entre as alternativas e assume a transitividade entre as preferências. As funções de preferência desenvolvidas durante a estruturação do problema têm por objetivo agrupar os múltiplos critérios, auxiliando o decisor na escolha da(s) alternativa(s) (GOMES; GOMES, 2019). Dentre os métodos desta escola, podemos citar o: AHP - *Analytic Hierarchy Process*, ANP - *Analytic Network Process*, MAUT - *Multiple Attribute Utility Theory*, MACBETH - *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*, SMART - *Simple Multi Criteria Attribute Rating Technique*, TODIM - Tomada de Decisão Interativa Multicritério e TOPSIS - *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*, dentre os quais, destacam-se o MAUT e o AHP, sendo este último, o mais utilizado do mundo (GOMES *et al.*, 2011; TENÓRIO *et al.*, 2020).

### 2.2.2 Métodos de sobreclassificação (Escola Francesa)

Diferente dos métodos da escola americana, a filosofia da escola francesa se baseia na comparação paritária entre as alternativas, explorando as relações de sobreclassificação existentes entre elas. Outra diferença está no fato desses métodos se apoiarem em avaliações não-compensatórias, onde, nos métodos de agregação por meio de critério único de síntese, são de natureza compensatória (ALMEIDA, 2013).

Dentre os métodos que fazem parte da escola Francesa, podemos citar: Condorcet, Copeland, a família de métodos ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality for Enrichment Evaluation*) e a família de métodos PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*) são considerados os mais importantes entre os métodos que compõe esta classe (GOMES; GOMES, 2019).

### 2.2.3 Modelagem das Preferências

Apesar da teoria da decisão clássica se apoiar basicamente em duas situações de preferência: estrita (P) e indiferença (I), os métodos pertencentes a esta filosofia, incrementam o sistema de preferências com mais duas situações: incomparabilidade (R) e preferência fraca (Q), dando origem ao chamado Sistema Fundamental de Relações de Preferências (SFRP). Dentre as razões para esta inclusão, os pesquisadores afirmam que o agente decisor pode não ser capaz de simplesmente optar por uma das alternativas, seja pelo fato de não possuir informações completas que o permita emitir um juízo de indiferença ou preferência estrita, ou pelo fato de haver elevada discrepância entre elas, não identificando razões claras e objetivas

que o permita qualificar uma alternativa em relação à outra (GOMES; GOMES, 2019). O quadro 3 apresenta em resumo as relações de preferência do SFRP.

Quadro 3 – Metodologia sintética para a abordagem de problemas

Situação	Definição	Relação Binária
Indiferença	Existência de razões claras e positivas que justificam a equivalência entre duas opções. Dadas duas alternativas a e b, dizemos que: $a I b$	I: Simétrica (reflexiva)
Preferência Estrita	Existência de razões claras e positivas que justificam uma preferência significativa a favor de uma das duas alternativas. Dadas duas alternativas a e b, dizemos que: $(a P b)$ ou $(b P a)$	P: Assimétrica (irreflexiva)
Preferência fraca	Existem razões claras e objetivas que não implicam uma preferência estrita favor de uma (bem definida) das duas alternativas. No entanto, essas razões são insuficientes para que seja assumida uma preferência estrita a favor da outra ou uma indiferença entre as alternativas. Dadas duas alternativas a e b, dizemos que: $(a Q b)$ ou $(b Q a)$	Q: Assimétrica (irreflexiva)
Incomparabilidade	Não existem razões claras e positivas que justifiquem uma das três situações acima. Dadas duas alternativas a e b, dizemos que: $(a R b)$	R: Simétrica

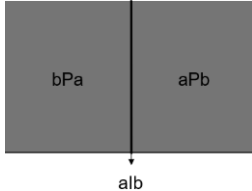
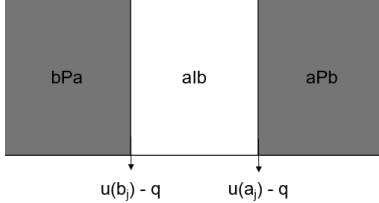
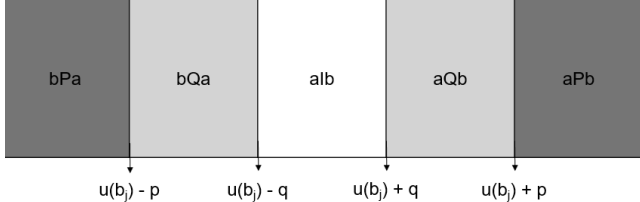
Fonte: Adaptado de GOMES; GOMES (2019)

#### 2.2.4 Informação Intracritério

De acordo com Gomes e Gomes (2019), o poder discriminante de um critério, refere-se aos modelos possíveis que podem ser adotados em sua construção, onde, dentro das relações intracritérios, são chamados de: verdadeiro critério, quase critério e pseudocritério.

Sejam: a e b, duas alternativas em um conjunto possível de alternativas;  $u(a_j)$  e  $u(b_j)$  seus desempenhos em um critério “j”. O quadro 4 apresenta os modelos de critérios possíveis:

Quadro 4 – Metodologia sintética para a abordagem de problemas

Modelo	Definição
Verdadeiro Critério	<p>Utiliza apenas as relações binárias de preferências: I e P  <math>a P_j b</math>, se e somente se, <math>u(a_j) &gt; u(b_j)</math>  <math>a I_j b</math>, se e somente se, <math>u(a_j) = u(b_j)</math></p> 
Quase Critério	<p>Utiliza as relações binárias de preferências: I, P e incorpora no sistema o parâmetro “q”, designado por limite de indiferença (maior desvio que configura uma situação de indiferença entre as alternativas).</p> <p><math>a P_j b</math>, se e somente se, <math>u(a_j) - u(b_j) &gt; q</math>  <math>a I_j b</math>, se e somente se, <math>-q \leq u(a_j) - u(b_j) \leq q</math></p> 
Pseudocritério	<p>Utiliza as relações binárias de preferências: I, P e incorpora no sistema os parâmetros “q” e “p”, onde “p” é designado como o limite de preferência estrita (maior desvio que configura uma situação de preferência fraca entre as alternativas).</p> <p><math>a P_j b</math>, se e somente se, <math>u(a_j) - u(b_j) &gt; p</math>  <math>a Q_j b</math>, se e somente se, <math>q &lt; u(a_j) - u(b_j) \leq p</math>  <math>a I_j b</math>, se e somente se, <math>-q \leq u(a_j) - u(b_j) \leq q</math></p> 

Fonte: Autor (2021)

### 2.3 MÉTODOS ORDINAIS

Segundo Gomes *et al.* (2020), os métodos ordinais foram os primeiros métodos de auxílio ao processo decisório, desenvolvidos após meados do século XVIII, por estudos de Jean-Charles de Borda. Esses métodos oferecem vantagens devido à relativa facilidade de compreensão e administração, além de maior confiabilidade em termos de redução das

inconsistências geradas no processo de elicitación das preferências. Devido à necessidade de requererem um menor esforço cognitivo do decisor, espera-se que, reflitam com maior precisão as suas preferências.

Como os pesos dos atributos são geralmente parâmetros difíceis de serem definidos em problemas de AMD, vários trabalhos na literatura centraram-se principalmente no caso em que as informações sobre eles são imprecisas, o que muitas vezes é representado por informações ordinais (AGUAYO *et al.*, 2014).

De acordo com Moshkovich *et al.* (2002), em um ambiente multicritério, as informações de preferência dos tomadores de decisão coletadas na forma ordinal, como por exemplo: “melhor”, “pior”, “muito importante”, “ pouco importante”, são consideradas mais estáveis e confiáveis do que as entradas cardinais para a mesma natureza de critério.

Segundo Keyser e Peeters (1994), a maioria dos métodos AMD utilizam valores numéricos para avaliar as preferências dos tomadores de decisão (DM), e que esta ação só pode ser justificada sob a suposição de que a importância que o DM atribui a determinado critério, possa ser medida em uma escala de razão específica.

Estudos recentes demonstram que os métodos ordinais têm sido bastante empregados na literatura, seja de forma única, ou associados a outros métodos. De Almeida *et al.* (2021) utilizaram os métodos VIKOR e SAPEVO-M para avaliar o melhor local para a instalação da segunda esquadra da Marinha Brasileira; ARSLAN; Bircan (2020) utilizaram uma abordagem mista do método de Copeland, associado aos métodos: TOPSIS, GIA, VIKOR e MOORA para avaliar o nível da confiabilidade econômica de vinte e três países membros da Convenção sobre a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) sob a perspectiva do Banco Mundial; Junior *et al.* (2007), realizaram um estudo com os métodos de Borda, Condorcet e Copeland, para avaliar a influência do tamanho dos pólos do CEDERJ nos diferentes municípios onde estão instalados; De Oliveira *et al.* (2015), utilizaram os métodos de Borda e Condorcet para ordenar, agricultores agroecológicos do município de Miguel Couto - RJ, de acordo com os desempenhos de produtividade apresentados, utilizando critérios de caráter econômico, social e ambiental. Mostram que os métodos propostos, podem auxiliar na tomada de decisão, e na definição de estratégias para uma gestão sustentável da agricultura familiar; Barros *et al.* (2019), utilizaram os métodos de Borda, Condorcet e Copeland para ordenar os melhores drones para utilização na agricultura, visando a redução de custos, economia do tempo e maior precisão e eficiência na força de trabalho aplicada nas lavouras; Valladares *et al.* (2008), utilizaram os métodos de Borda, Condorcet e Copeland para ordenar,

de acordo com o potencial de degradação, mais especificamente, segundo o risco de subsidência, dezenove perfis de organossolos de diferentes regiões do Brasil. Os resultados mostram uma correlação entre os métodos, indicando a eficácia para ordenar os tipos de solos estudados quanto ao risco de subsidência; Costa; Maêda; De Barro; *et al.* (2020) aplicaram o método SAPEVO-M para a escolha de navio da Marinha do Brasil para atuação como hospital de campanha no apoio humanitário ao combate à pandemia de covid-19; Silva Júnior *et al.* (2021) utilizaram os métodos SAPEVO-M e VIKOR na escolha de um algoritmo para modelagem preditiva de Churn em uma startup brasileira; Maêda *et al.* (2020) utilizou os métodos AHP e SAPEVO-M a fim de avaliar o melhor sistema de propulsão para o transporte de passageiros em embarcações da Marinha do Brasil; Costa, I. P. de A.; Maêda; *et al.* (2021), no contexto da pandemia gerada pelo novo coronavírus, utilizou o método SAPEVO-M, a fim de obter a distribuição de recursos em um portfólio composto por investimentos de renda fixa e variável presentes no mercado brasileiro; Moreira *et al.* (2020), utilizou uma abordagem híbrida dos métodos SAPEVO-M e PROMETHEE, em um estudo que avaliou o desempenho de agências bancárias, a fim de sugerir aquela que deveria ser encerrada, devido ao baixo desempenho observado.

### 2.3.1 O método de BORDA

Proposto por Jean Charles de Borda para ser aplicado em comitês compostos por mais de um decisor, este método que visa a problemática de ordenação ( $P\gamma$ ), possui como grande vantagem a simplicidade (JUNIOR *et al.*, 2007). Para cada critério, o tomador de decisão deve ordenar as alternativas conforme as suas preferências, onde àquela com melhor desempenho é atribuído um ponto; à segunda mais preferível, dois pontos e assim sucessivamente até que todas tenham sido pontuadas. Ao final, soma-se os pontos obtidos pelas alternativas nos critérios avaliados e então, elas são dispostas em ordem crescente, onde a que tiver obtido a menor pontuação será escolhida como a preferível (GOMES *et al.*, 2009).

Para elucidar a sua abordagem, considere o exemplo abaixo, composto por um processo decisório genérico, onde três alternativas ( $A_1, A_2, A_3$ ) são avaliadas por um decisor à luz de quatro critérios ( $C_1, C_2, C_3, C_4$ ). A tabela 1 apresenta a matriz de decisão com os desempenhos das alternativas em cada critério, avaliados em uma escala discreta variando de 0 a 100, onde, quanto maior o valor, melhor o desempenho relacionado.

Tabela 1 – Matriz de decisão do exemplo 1

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	92	74	40	60
A <sub>2</sub>	55	85	45	65
A <sub>3</sub>	28	65	38	85

Fonte: Autor (2021)

As alternativas são então ordenadas em cada coluna da tabela 2.

Tabela 2 – Alternativas ordenadas conforme desempenho em cada critério

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	1º	2º	2º	3º
A <sub>2</sub>	2º	1º	1º	2º
A <sub>3</sub>	3º	3º	3º	1º

Fonte: Autor (2021)

A tabela 3 apresenta o somatório dos pontos, e a ordenação final das alternativas.

Tabela 3 – Matriz com a pontuação e ordenação final das alternativas

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	Pontuação	Ordenação
A <sub>1</sub>	1	2	2	3	8	2º
A <sub>2</sub>	2	1	1	2	6	1º
A <sub>3</sub>	3	3	3	1	10	3º

Fonte: Autor (2021)

O método apresenta grande facilidade de aplicação, com reduzido esforço cognitivo por parte do decisor, entretanto, há perda de informações, em virtude de se considerar apenas as ordenações das alternativas conforme os desempenhos observados em cada critério (VALLADARES *et al.*, 2008). O método também não atende ao axioma da independência das alternativas irrelevantes de Arrow, onde, dado um conjunto de alternativas finitas, a função que representa a escolha, deve ser independente da existência de outras alternativas de um subconjunto deste (ARROW; RAYNAUD, 1986).

### 2.3.2 O método de Condorcet

Proposto por Jean-Marie Antoine Nicolas de Caritat (O Marquês de Condorcet), o método, considerado como o precursor da atual escola francesa de multicritério, avalia as relações de superação entre as alternativas, visando sua ordenação (problemática P<sub>γ</sub>) (POMEROL; BARBA-ROMERO, 2000) (KLAMLER, 2005). Nele, as alternativas são

comparadas paritariamente, e ao final, constrói-se uma matriz e um grafo, expressando as relações de superioridade. Esta representação em grafo, possibilita uma avaliação facilitada das relações de dominância.

Para elucidar a sua abordagem, considere o mesmo exemplo apresentado no item anterior e a tabela 4 com a matriz de decisão estruturada.

Tabela 4– Matriz de decisão do exemplo 1

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	92	74	40	60
A <sub>2</sub>	55	85	45	65
A <sub>3</sub>	28	65	38	85

Fonte: Autor (2021)

A tabela 5, apresenta respectivamente as comparações paritárias (linha x coluna) entre as alternativas em cada critério considerado, onde, atribui-se os valores: “+1”, “0” e “-1”, caso a primeira supere, possua o mesmo desempenho, ou seja superada pela segunda, respectivamente.

Tabela 5 – Relações de superação entre as alternativas

Critério C <sub>1</sub>				Critério C <sub>2</sub>				Critério C <sub>3</sub>				Critério C <sub>4</sub>			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
A <sub>1</sub>	0	+1	+1	A <sub>1</sub>	0	-1	+1	A <sub>1</sub>	0	-1	+1	A <sub>1</sub>	0	-1	-1
A <sub>2</sub>		0	+1	A <sub>2</sub>		0	+1	A <sub>2</sub>		0	+1	A <sub>2</sub>		0	-1
A <sub>3</sub>			0	A <sub>3</sub>			0	A <sub>3</sub>			0	A <sub>3</sub>			0

Fonte: Autor (2021)

A tabela 6, apresenta as relações observadas entre as alternativas.

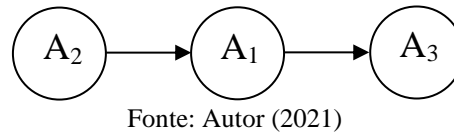
Tabela 6 – Relações de superioridade

Compilação das relações de dominância				Relações finais			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
A <sub>1</sub>	0	+1 -1 -1 -1	+1 +1 +1 -1	A <sub>1</sub>	0	-1	+1
A <sub>2</sub>		0	+1 +1 +1 -1	A <sub>2</sub>		0	+1
A <sub>3</sub>			0	A <sub>3</sub>			0

Fonte: Autor (2021)

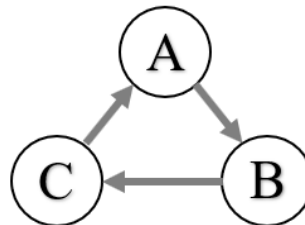
A figura 3 apresenta o grafo com as relações de superação observadas.

Figura 3 – Grafo com as relações de superação entre as alternativas



O método de Condorcet, considerado mais robusto que o de Borda, apresenta como desvantagem, a possibilidade de conduzir a situações de intransitividade, levando ao célebre “paradoxo de Condorcet” (DIAS *et al.*,1996). Isto significa que o método nem sempre induz a uma pré-ordem completa no conjunto das alternativas . De acordo com Pomerol; Barba-Romero (2000), o método retorna uma relação que satisfaz o axioma da independência das alternativas irrelevantes, mas, não é necessariamente transitivo. Por exemplo, considerando um conjunto com três alternativas (A, B e C), o paradoxo ocorre caso a alternativa “A” supere a alternativa “B”, e esta supere “C”, que por sua vez, supera a primeira, formando o chamado ciclo de intransitividade, ou Tripletta de Condorcet. A figura 4, ilustra esta situação.

Figura 4 – Ciclo de Intransitividade



Fonte: Adaptado de Pomerol; Barba-Romero (2000)

Segundo Mello *et al.* (2005), esta situação de intransitividade pode ser aproveitada em certos problemas, como por exemplo, quando o objetivo é agrupar alternativas em classes, sem necessariamente haver a necessidade de ordenação entre elas.

### 2.3.3 O método de Copeland

Proposto por Arthur Herbert Copeland, este método pode ser considerado como uma derivação do método de Condorcet (VALLADARES *et al.*, 2008). Utiliza uma metodologia semelhante, contudo, leva em consideração a diferença entre o número de vitórias e derrotas



obtidas por uma alternativa em relação às demais da matriz de decisão, onde ao final, estas são ordenadas de acordo com o resultado obtido na soma (POMEROL; BARBA-ROMERO, 2000).

Para ilustrar com maior clareza, consideremos novamente o exemplo 1 e as relações de superação entre as alternativas envolvidas observadas na tabela 7.

Tabela 7 – Relações de superação entre as alternativas

Critério C <sub>1</sub>				Critério C <sub>2</sub>				Critério C <sub>3</sub>				Critério C <sub>4</sub>			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
A <sub>1</sub>	0	+1	+1	A <sub>1</sub>	0	-1	+1	A <sub>1</sub>	0	-1	+1	A <sub>1</sub>	0	-1	-1
A <sub>2</sub>		0	+1	A <sub>2</sub>		0	+1	A <sub>2</sub>		0	+1	A <sub>2</sub>		0	-1
A <sub>3</sub>			0	A <sub>3</sub>			0	A <sub>3</sub>			0	A <sub>3</sub>			0

Fonte: Autor (2021)

Tomando as relações observadas na tabela 7, a tabela 8 apresenta paritariamente o cálculo da diferença entre o número de vitórias e de derrotas das alternativas.

Tabela 8 – Comparações

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	Soma	Diferença entre as vitórias e derrotas
A <sub>1</sub>	0	-1	+1	= (-1 + 1)	0
A <sub>2</sub>	+1	0	+1	= (+1 + 1)	+2
A <sub>3</sub>	-1	-1	0	= (-1 - 1)	-2

Fonte: Autor (2021)

E as alternativas podem ser então ordenadas conforme: A<sub>2</sub>, A<sub>1</sub> e A<sub>3</sub>.

Este método, apresenta como vantagem, a não ocorrência dos ciclos de intransitividade. Para Klamler (2005), o método atende a idéia de uma tomada de decisão democrática, podendo ser considerado como uma abordagem mista entre as filosofias de Borda e Condorcet, reunindo dentro do possível, as vantagens presentes nos dois.

### 2.3.4 O método QUALIFLEX

O Método QUALIFLEX, é um método ordinal, que visa a problemática de ordenação. Segundo Paelinck (1978), seu nome advém da capacidade de lidar simultaneamente com dados qualitativos e quantitativos (Flexibilidade). No método, não se realizam comparações paritárias

para se verificar a diferença relativa de desempenho das alternativas em relação a cada critério, bastando apenas o decisor identificar a ordenação entre elas, considerando para isso, o desempenho de cada uma nos critérios envolvidos (PAELINCK, 1978). Baseia-se na avaliação de todas as permutações possíveis sobre a ordenação das alternativas. Em cada permutação, verifica-se o índice de concordância de sua real avaliação em relação à ordenação na matriz de decisão. Após realizar as avaliações de todas as permutações possíveis ( $n!$ ), procede-se com a soma ponderada, multiplicando-se os índices de concordância pelas constantes de escala de cada critério, obtendo-se assim, os índices globais de concordância. Aquela que apresentar o melhor resultado, define a ordenação das alternativas (PAELINCK, 1977). A aplicação do método pode ser resumida em 5 etapas.

Considerando uma matriz de decisão ( $i \times j$ ), onde “i” refere-se as alternativas e “j”, os atributos:

$$X = [x_{ij}] = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & \dots & x_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad \text{onde: } (i = 1, 2, \dots, m), (j = 1, 2, \dots, n) \text{ e} \\ x_{ij} = \text{o desempenho da alternativa } i, \text{ no critério } j.$$

Etapa 1 - Realizar a classificação ordinal das alternativas em cada critério, onde a melhor alternativa ficará posicionada na 1ª colocação, a segunda melhor na 2ª colocação e assim por diante, até que todas as “n” alternativas tenham sido ordenadas;

Etapa 2 - Listar todas as permutações para a ordenação das “n” alternativas ( $n!$ );

Etapa 3 - Para cada par de alternativas ( $A_i, A_i'$ ) presente na permutação, deve-se avaliar para cada critério (j), o índice de concordância e discordância  $I_j(A_i, A_i')$  em relação à ordenação observada na matriz de decisão, onde:

$$I_j(A_i, A_i') = \begin{cases} +1, & \text{se há concordância} \\ 0, & \text{se o } (A_i, A_i') \text{ possuem o mesmo desempenho na matriz de decisão} \\ -1, & \text{se não há concordância} \end{cases}$$

Etapa 4 - Caso os critérios não possuam o mesmo nível de importância, o decisor deve multiplicar os índices obtidos na etapa anterior pelos respectivos pesos dos critérios, os quais são obtidos com apoio de outros métodos, ou elicitados de forma direta pelo decisor;

Etapa 5 – Para cada permutação  $I_j(A_i, A_i')$  avaliada, deve-se realizar o somatório dos índices ponderados, resultando no índice global de permutação. O maior valor obtido define a ordenação final das alternativas.

Para ilustrar essas etapas, considere o mesmo exemplo 1. Como são avaliadas três alternativas, o número total de ordenações diferentes seria igual a  $3!$ , ou seja, seis possibilidades, as quais são listadas abaixo:

$$\begin{aligned} P_1 &= (A_1, A_2, A_3) \\ P_2 &= (A_1, A_3, A_2) \\ P_3 &= (A_2, A_1, A_3) \\ P_4 &= (A_2, A_3, A_1) \\ P_5 &= (A_3, A_1, A_2) \\ P_6 &= (A_3, A_2, A_1) \end{aligned}$$

Considere novamente a tabela 9, onde as alternativas estão previamente ordenadas conforme desempenho observado na matriz de decisão.

Tabela 9 – Alternativas ordenadas conforme desempenho em cada critério

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	1°	2°	2°	3°
A <sub>2</sub>	2°	1°	1°	2°
A <sub>3</sub>	3°	3°	3°	1°

Fonte: Autor (2021)

A tabela 10 apresenta a análise dos índices de concordância da permutação P<sub>1</sub>.

Tabela 10 – Índices de concordância para a permutação P<sub>1</sub>

Critério – C <sub>1</sub>			
Pares	Combinação na permutação P <sub>1</sub>	Avaliação na matriz de Decisão	Índice de Concordância
A <sub>1</sub> ; A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>2</sub>	+1
A <sub>1</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	+1
A <sub>2</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	+1
Total			+3
Critério – C <sub>2</sub>			
Pares	Combinação na permutação P <sub>1</sub>	Avaliação na matriz de Decisão	Índice de Concordância
A <sub>1</sub> ; A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>1</sub>	-1
A <sub>1</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	+1
A <sub>2</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	+1
Total			+1
Critério – C <sub>3</sub>			
Pares	Combinação na permutação P <sub>1</sub>	Avaliação na matriz de Decisão	Índice de Concordância
A <sub>1</sub> ; A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>1</sub>	-1
A <sub>1</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	+1
A <sub>2</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	+1
Total			+1

Critério – C <sub>4</sub>			
Pares	Combinação na permutação P <sub>1</sub>	Avaliação na matriz de Decisão	Índice de Concordância
A <sub>1</sub> ; A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>1</sub>	-1
A <sub>1</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> supera A <sub>1</sub>	-1
A <sub>2</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> supera A <sub>2</sub>	-1
Total			-3

Fonte: Autor (2021)

Considerando hipoteticamente, os seguintes pesos ( $P_{C_j}$ ) para os critérios:  $P_{C_1} = 0,4$ ,  $P_{C_2} = 0,3$ ,  $P_{C_3} = 0,2$  e  $P_{C_4} = 0,1$ , o índice de concordância global de P<sub>1</sub> é dado por:  $(3 \times 0,4) + (1 \times 0,3) + (1 \times 0,2) - (3 \times 0,1) = 1,4$ . A tabela 11 apresenta a análise do índice de concordância da permutação P<sub>3</sub>.

Tabela 11 – Índices de concordância para a permutação P<sub>3</sub>

Critério – C <sub>1</sub>			
Pares	Combinação na permutação P <sub>3</sub>	Avaliação na matriz de Decisão	Índice de Concordância
A <sub>1</sub> ; A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>2</sub>	-1
A <sub>1</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	+1
A <sub>2</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	+1
Total			+1
Critério – C <sub>2</sub>			
Pares	Combinação na permutação P <sub>3</sub>	Avaliação na matriz de Decisão	Índice de Concordância
A <sub>1</sub> ; A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>1</sub>	+1
A <sub>1</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	+1
A <sub>2</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	+1
Total			+3
Critério – C <sub>3</sub>			
Pares	Combinação na permutação P <sub>3</sub>	Avaliação na matriz de Decisão	Índice de Concordância
A <sub>1</sub> ; A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>1</sub>	+1
A <sub>1</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	+1
A <sub>2</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	+1
Total			+3
Critério – C <sub>4</sub>			
Pares	Combinação na permutação P <sub>3</sub>	Avaliação na matriz de Decisão	Índice de Concordância
A <sub>1</sub> ; A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>1</sub>	+1
A <sub>1</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> supera A <sub>1</sub>	-1
A <sub>2</sub> ; A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> supera A <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> supera A <sub>2</sub>	-1
Total			-1

Fonte: Autor (2021)

O índice de concordância global de  $P_3$  é dado por:  $(1 \times 0,4) + (3 \times 0,3) + (3 \times 0,2) - (1 \times 0,1) = 1,8$ .

A tabela 12 apresenta os índices globais de todas as seis permutações.

Tabela 12 – Índice global das permutações

Permutação	Índice global
$P_1$	+1,4
$P_2$	-0,2
$P_3$	+1,8
$P_4$	+0,2
$P_5$	-1,7
$P_6$	-1,6

Fonte: Autor (2021)

Como  $P_3$  possui o maior índice global, a ordenação das alternativas segue a definida nesta permutação.

Conforme apresentado, o método, apesar de possuir uma axiomática simples, torna-se inviável ao lidar com um número elevado de alternativas, necessitando de suporte computacional.

### 2.3.5 O método ARGUS

O Método ARGUS, um acrônimo para (*Achieving Respect for Grades by Using ordinal Scales Only*), é um método ordinal, baseado na ideia geral de sobreclassificação e que visa a problemática de escolha. Nele, as modelagens das preferências dependem da natureza de cada critério (quantitativo ou qualitativo) (DE KEYSER, W.; PEETERS, 1994; MARTEL; MATARAZZO, 2016). Após a montagem da matriz de decisão, o desenvolvimento do método pode ser dividido em cinco etapas distintas:

Etapa 1 - Inicialmente, o DM deve proceder com a modelagem de preferências entre os critérios, classificando-os de acordo com o grau de importância, que é definido de forma direta, mediante a escala ordinal: “Sem importância”, “Pequena importância”, “Moderadamente importante”, “Muito Importante” e “Extremamente importante”.

O quadro 5 apresenta como exemplo a modelagem de preferências entre cinco critérios ( $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ ):

Quadro 5 – Exemplo de modelagem de preferências entre quatro critérios

Classificação	Critério
Sem Importância	
Pequena Importância	C <sub>1</sub> , C <sub>5</sub>
Moderadamente Importante	C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub>
Muito Importante	C <sub>4</sub>
Extremamente Importante	

Fonte: Autor (2021)

Etapa 2 - Consiste na modelagem de preferências do desempenho das alternativas.

Para cada critério qualitativo, o DM (*Decision Maker* – tomador de decisão) deve estruturar uma matriz de preferências de acordo com a escala de gradação específica do critério avaliado, ordenando-a sempre do pior, para o melhor índice (de cima para baixo na coluna, e da esquerda para a direita, na linha de avaliação). Os índices são então comparados paritariamente, mediante as classificações ordinais: “Indiferença”, “preferência pequena”, “preferência moderada”, “preferência forte” e “preferência muito forte”, dando origem a uma matriz de desempenho daquele critério. O quadro 6 apresenta um modelo de matriz de desempenho para um critério qualitativo:

Quadro 6 – Exemplo de matriz de desempenho para um critério qualitativo

	Ruim	Médio	Bom
Ruim	Indiferente	-	-
Médio	Preferência Pequena	Indiferente	-
Bom	Preferência Forte	Preferência Muito Forte	Indiferente

Fonte: Autor (2021)

Para os critérios quantitativos, o decisor deve realizar a modelagem de preferências, distribuindo os valores em escalas de intervalo ou de razão. A tabela 13, apresenta um exemplo de matriz de desempenho para um critério quantitativo:

Tabela 13 - Exemplo de matriz de desempenho para um critério quantitativo

$f_j(a) \geq f_i(b)$	$d = f_j(a) \geq f_i(b)$	$\partial = (f_i(a) - f_i(b)) / f_i(b) (\%)$
Indiferente	$0 \leq d < d_1$	$0\% \leq \partial < \partial_1$
Preferência Pequena	$d_1 \leq d < d_2$	$\partial_1\% \leq \partial < \partial_2\%$

Preferência Moderada	$d_2 \leq d < d_3$	$\partial_2\% \leq \partial < \partial_3\%$
Preferência Forte	$d_3 \leq d < d_4$	$\partial_3\% \leq \partial < \partial_4\%$
Preferência Muito Forte	$d_4 \leq d$	$\partial_4\% \leq \partial$

Fonte: Autor (2021)

Etapa 3 - Verifica-se a classificação ordinal do desempenho de cada alternativa nos critérios considerados;

Etapa 4 - Combinar as estruturas de desempenho das alternativas, com as de importância dos critérios (CPW), as quais estarão associadas a uma classe de desempenho específica: O DM deve construir, de acordo com sua concepção, a preferência combinada do desempenho das alternativas com as importâncias dos critérios. O quadro 7, apresenta um exemplo de CPW:

Quadro 7 – Exemplo de Combinação de preferências

Classe	Combinação de Preferências
1	Preferência Muito Forte – Extremamente Importante
2	Preferência Muito Forte – Muito Importante Preferência Forte – Extremamente Importante
3	Preferência Muito Forte – Moderadamente Importante Preferência Forte – Muito Importante Preferência Moderada – Extremamente Importante
4	Preferência Muito Forte – Pequena Importância Preferência Forte – Moderadamente Importante Preferência Moderada – Muito Importante Preferência Pequena – Extremamente Importante
5	Preferência Muito Forte – Sem Importância Preferência Forte – Pequena Importância Preferência Moderada – Moderadamente Importante Preferência Pequena – Muito Importante
6	Preferência Forte – Sem Importância Preferência Moderada – Pequena Importância Preferência Pequena – Moderadamente Importante
7	Preferência Moderada – Sem Importância Preferência Pequena – Pequena Importância
8	Preferência Pequena – Sem Importância

Fonte: Autor (2021)

Etapa 5 – Realizar comparações paritárias entre as alternativas, avaliando as classes obtidas por cada uma, identificando as relações de sobreclassificação existentes, possibilitando

ao final, a montagem de um grafo com as relações de dominância. A tabela 14 apresenta como exemplo as combinações dos desempenhos ( $f_j(i)$ ) de duas alternativas ( $A_1$  e  $A_2$ ) nos cinco critérios considerados.

Tabela 14 - Exemplo de avaliação das combinações nas modelagens de preferências

	Critério	Sem Importância	Pequena Importância	Moderadamente Importante	Muito Importante	Extremamente Importante
	Preferência					
$f_j(1) > f_j(2)$	P. Muito Forte		$C_1$			
	P. Forte					
	P. Moderada				$C_4$	
	P. Pequena					
$f_j(1) = f_j(2)$	Indiferente			$C_3$		
$f_j(1) < f_j(2)$	P. Pequena		$C_5$			
	P. Moderada					
	P. Forte			$C_2$		
	P. Muito Forte					

Fonte: Autor (2021)

Como demonstrado, o método demanda elevado esforço cognitivo por parte dos avaliadores, os quais, deverão realizar diferentes modelagens de preferências, dependendo da natureza de cada critério, bem como dos desempenhos das alternativas, e no fim, as classificações das combinações dessas modelagens.

### 2.3.6 O método REGIME

O método REGIME, foi inicialmente proposto para tratar dados qualitativos, visando a problemática de ordenação, podendo lidar com dados ordinais, cardinais, ou mistos, sendo empregado com informação parcial ou incompleta sobre o desempenho das alternativas ( $i$ ) em relação a cada critério ( $j$ ), fornecendo ao final, uma classificação e informações sobre as diferenças relativas dos desempenhos entre as alternativas. Baseia-se no pressuposto de que as preferências humanas não podem ser mensuradas, mas sim ordenadas (HINLOOPEN; NIJKAMP, 1986).

A partir da diferença entre os desempenhos das alternativas, comparadas aos pares ( $A_i - A_k$ ), gera-se os chamados “Vetores Regime”, compostos pelos sinais “+”, “-“ ou “0”, caso uma alternativa “ $A_i$ ” domine, seja dominada ou possua o mesmo desempenho de uma alternativa “ $A_k$ ”, respectivamente. Esses vetores darão origem à matriz regime. A medida de dominância entre as alternativas é percebida mediante a soma ponderada dos valores obtidos, pela multiplicação do vetor das constantes de escala, pela matriz regime, ou matriz de sinais.



Após a montagem da matriz de decisão, o método pode ser dividido em 5 etapas:

Etapa 1 - Definição das constantes de escala. Devido ao fato de o método não possuir axiomática própria para a definição dos pesos dos critérios, esta entrada deverá ser realizada de forma direta pelo DM, ou com apoio de outros métodos;

Etapa 2 - Comparação entre as alternativas (i) na matriz de impacto, classificando-as em relação a cada critério (j). Se duas alternativas possuem o mesmo desempenho para determinado critério, elas receberão a mesma numeração de classificação. Quanto melhor o desempenho observado, maior será a pontuação atribuída.

Etapa 3 - Comparação paritária entre as alternativas e construção do Vetor Regime  $(r_{ik})_j = (\sigma_{ij} \dots \sigma_{kj})$ . Mediante avaliação das classificações dos desempenhos das alternativas em cada critério  $(e_{ik})_j$ , procede-se com a identificação das relações de dominância parcial entre elas  $(\sigma_{ik})_j$ , onde:

$A_i$  possui classificação melhor que  $A_k$ , então:  $e_{ij} > e_{kj}$ , e  $(\sigma_{ik})_j = +$

$A_i$  possui a mesma classificação que  $A_k$ , então:  $e_{ij} = e_{kj}$ , e  $(\sigma_{ik})_j = 0$

$A_i$  possui classificação pior que  $A_k$ , então:  $e_{ij} < e_{kj}$ , e  $(\sigma_{ik})_j = -$

Etapa 4: Montagem da matriz regime (R) com todos os sinais obtidos nas avaliações paritárias das alternativas em cada critério considerado.

A tabela 15 apresenta como exemplo, uma matriz regime hipotética com a avaliação de quatro alternativas (A, B, C e D), à luz de cinco critérios (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> e C<sub>5</sub>).

Tabela 15 – Exemplo de uma matriz regime

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
A - B	-	+	+	+	-
A - C	-	+	+	+	-
A - D	-	+	+	+	-
B - A	+	-	-	-	+
B - C	-	+	+	+	<b>0</b>
B - D	-	-	+	+	-
C - A	+	-	-	-	+
C - B	+	-	-	-	<b>0</b>
C - D	-	-	+	+	-
D - A	+	-	-	-	+

D - B	+	+	-	-	+
D - C	+	+	-	-	+

Fonte: Autor (2021)

Etapa - 5: Avaliação do produto escalar entre o vetor de pesos e a Matriz Regime, obtendo as relações de dominância entre as alternativas. A tabela 16 apresenta como exemplo, a matriz regime do item anterior, ponderada.

Considerando  $C_1 = 0,133$ ;  $C_2 = 0,333$ ;  $C_3 = 0,266$ ;  $C_4 = 0,666$  e  $C_5 = 0,200$ , temos:

Tabela 16 – Exemplo de uma matriz regime ponderada

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	SOMA
A - B	-0,133	+0,333	+0,266	+0,066	-0,200	0,332
A - C	-0,133	+0,333	+0,266	+0,066	-0,200	0,332
A - D	-0,133	+0,333	+0,266	+0,066	-0,200	0,332
B - A	+0,133	-0,333	-0,266	-0,066	+0,200	-0,332
B - C	-0,133	+0,333	+0,266	+0,066	0	0,532
B - D	-0,133	-0,333	+0,266	+0,066	-0,200	-0,334
C - A	+0,133	-0,333	-0,266	-0,066	+0,200	-0,332
C - B	+0,133	-0,333	-0,266	-0,066	0	-0,532
C - D	-0,133	-0,333	+0,266	+0,066	-0,200	-0,334
D - A	+0,133	-0,333	-0,266	-0,066	-0,200	-0,332
D - B	+0,133	+0,333	-0,266	-0,066	+0,200	0,334
D - C	+0,133	+0,333	-0,266	-0,066	+0,200	0,334

Fonte: Autor (2021)

No exemplo em questão, temos que a alternativa “A”, supera (B, C e D). A alternativa “D”, supera (B e C) e, por fim, a alternativa “B”, supera “C”. Então elas podem ser ordenadas conforme: A, D, B e C.

## 2.4 A FAMÍLIA DE MÉTODOS SAPEVO

Composta por três métodos de natureza ordinal e que visam a problemática de ordenação ( $P\gamma$ ).

O primeiro método desta família é o SAPEVO (*Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors*), proposto por Gomes (1997), apresentou uma abordagem de avaliação multicritério, entretanto, possibilitava a atuação de apenas um decisor.

O método SAPEVO-M (*Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors – Multi Decision Makers*), proposto por Gomes *et al.* (2020), constitui-se como uma evolução do método SAPEVO original, trazendo maior robustez axiomática na abordagem. Trata-se de um método ordinal, compensatório e com capacidade de atuação por múltiplos decisores. Este método também disponibilizou uma ferramenta computacional com implementação *web*, denominada SapevoWeb (TEIXEIRA *et al.*, 2018), que contribuiu de forma significativa para difundir a metodologia proposta.

O último método desta família, consiste no SAPEVO-M-NC. Proposto por (MAÊDA *et al.*, 2021), fruto da pesquisa da dissertação de mestrado, utiliza a metodologia do SAPEVO-M para realizar a ponderação da importância dos atributos envolvidos, entretanto, propõem uma nova base axiomática na avaliação do desempenho das alternativas, dando origem a sua natureza não-compensatória, e mantendo a possibilidade de atuação por múltiplos decisores.

### 2.4.1 O Método SAPEVO (*Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors*)

Proposto por Gomes (1997), este método visa uma abordagem multicritério para realizar a ordenação das alternativas, conforme as preferências do decisor. De acordo com os autores, o método é baseado em três etapas principais:

- (1) Transformar as preferências ordinais dos atributos em um vetor de pesos de critérios;
- (2) Transformar as preferências ordinais das alternativas de um determinado conjunto de critérios, em valores parciais das alternativas; e
- (3) Determinar os valores globais das alternativas.

As etapas são apresentadas nos seis passos abaixo:

Sejam  $c_i$  e  $c_j$  dois critérios dentro de um conjunto  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_j\}$

Etapa (1): Dado um conjunto de critérios, eles são comparados paritariamente, dando origem a matriz D. O grau de preferência entre eles é expresso por  $\delta_{c_i c_j}$ .

$$\delta_{c_i c_j} = 1 \leftrightarrow i \approx j, \text{ isto é, } c_i \text{ é tão importante quanto } c_j;$$

$$\delta_{c_i c_j} > 1 \leftrightarrow i > j, \text{ isto é, } c_i \text{ é mais importante que } c_j;$$

$$\delta_{c_i c_j} \gg 1 \leftrightarrow i < j, \text{ isto é, } c_i \text{ é muito mais importante que } c_j;$$

$$\delta_{c_i c_j} < 1 \leftrightarrow i \gg j, \text{ isto é, } c_i \text{ é menos importante que } c_j; \text{ e}$$

$$\delta_{c_i c_j} \ll 1 \leftrightarrow i \ll j, \text{ isto é, } c_i \text{ é muito menos importante que } c_j.$$

Converter a matriz de preferências em uma matriz discreta, utilizando uma escala numérica de cinco pontos tabela 17:

Tabela 17 – Componentes ordinais e escala numérica associada

Componente Ordinal	Escala 1	Escala 2
muito menos importante que	$\ll 1$	-2
menos importante que	$< 1$	-1
tão importante quanto	1	0
mais importante que	$> 1$	1
muito mais importante que	$\gg 1$	2

Fonte: Adaptado de Gomes (1997)

A relação entre as duas escalas, permite transformar a matriz  $D = [\delta_{c_i c_j}]$  em um vetor coluna  $[V_i]$ . Equação (1).

$$V_i = \sum_{j=1}^m (\text{medidas da escala 2}), \text{ para } i = 1, \dots, n, \text{ e } j = 1, \dots, m \quad (1)$$

Etapa (2): Realizar os mesmos passos descritos na etapa 1, avaliando paritariamente as alternativas à luz dos critérios envolvidos. Este processo dará origem a matriz  $E_i$ , de elementos gerais  $e_{i,k,l}$ , referindo-se ao desempenho observado de uma alternativa “k”, em relação a alternativa “l”, à luz do critério “i”.

$$e_{i,k,l} = 1 \leftrightarrow k \approx l, \text{ isto é, } e_{i,k} \text{ é tão importante quanto } e_{i,l};$$

$$e_{i,k,l} > 1 \leftrightarrow k > l, \text{ isto é, } e_{i,k} \text{ é mais importante que } e_{i,l};$$

$$e_{i,k,l} \gg 1 \leftrightarrow k \gg l, \text{ isto é, } e_{i,k} \text{ é muito mais importante que } e_{i,l};$$

$$e_{i,k,l} < 1 \leftrightarrow k < l, \text{ isto é, } e_{i,k} \text{ é menos importante que } e_{i,l};$$

$$e_{i,k,l} \ll 1 \leftrightarrow k \ll l, \text{ isto é, } e_{i,k} \text{ é muito menos importante que } e_{i,l}.$$

A relação entre as duas escalas, permite transformar a matriz  $E = [e_{i,k,l}]$  em um vetor coluna  $[A_i]$ . Equação (2).

$$A_i = \sum_1^n \text{(medidas da escala 2), para } k = 1, \dots, n \text{ e } l = 1, \dots, m \quad (2)$$

Onde:  $m$  = número de critérios e  $n$  = número de alternativas.

Etapa (3): Com os vetores obtidos na etapa (2), monta-se a matriz  $M_{A \times C}$ , onde o elemento “C” refere-se ao número de critérios considerados, e o “A”, ao número de alternativas avaliadas; Multiplicando-se o vetor  $V_i$  pela matriz  $M_{A \times C}$ , obtém-se o valor global das alternativas, possibilitando assim, a sua ordenação.

Para elucidar os passos apresentados, considere um exemplo onde duas alternativas (k, l) são comparadas à luz de três critérios ( $c_1$ ,  $c_2$  e  $c_3$ ).

$$D_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} \delta_{c_1 c_1} & \delta_{c_1 c_2} & \delta_{c_1 c_3} \\ \delta_{c_2 c_1} & \delta_{c_2 c_2} & \delta_{c_2 c_3} \\ \delta_{c_3 c_1} & \delta_{c_3 c_2} & \delta_{c_3 c_3} \end{bmatrix}$$

$$D_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & > 1 & \ll 1 \\ < 1 & 1 & \ll 1 \\ \gg 1 & \gg 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 1 & -2 \\ -1 & 0 & -2 \\ 2 & 2 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow V_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} -1 \\ -3 \\ 4 \end{bmatrix}$$

$$E_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} e_{i,k,k} & e_{i,k,l} \\ e_{i,l,k} & e_{i,l,l} \end{bmatrix}$$

$$E_{c_1} = \begin{bmatrix} 1 & < 1 \\ > 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow A_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$E_{c_2} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow A_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$E_{c_3} = \begin{bmatrix} 1 & \gg 1 \\ \ll 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ -2 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow A_3 = \begin{bmatrix} 2 \\ -2 \end{bmatrix}$$

$$M_{2 \times 3} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & -2 \end{bmatrix} \rightarrow M_{2 \times 3} \times V_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} 9 \\ -9 \end{bmatrix}$$

Esse resultado indica que o valor global da alternativa “k” é superior ao da alternativa “l”, portanto, a alternativa “k” é preferível a “l”.

#### 2.4.2 O método SAPEVO-M (*Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors – Multi Decision Makers*)

O método SAPEVO-M (GOMES *et al.*, 2020), constitui-se como uma nova versão do método ordinal SAPEVO, que possibilitava a atuação de apenas um decisor. Além disso, incorporou um processo de normalização das matrizes de avaliação, incrementando a consistência do modelo. Esta modificação se deve ao fato, de que no modelo SAPEVO original, poderia haver a geração de constantes de escala negativas, caso não houvesse uma pré-ordenação dos critérios a serem comparados. Este pré-requisito de ordenar os critérios em ordem de preferência, impedia o uso de vários decisores, uma vez que se verificava a necessidade de haver um consenso entre eles.

Basicamente, o método consiste em nove passos.

Passo 1: Após a construção da matriz de decisão pelos DMs, eles irão definir a preferência entre os critérios;

Passo 2: Realizar a transformação das preferências ordinais entre os critérios utilizando seus respectivos correspondentes cardinais;

Passo 3: Agregar as preferências dos critérios dos diferentes DM;

Passo 4: Cada um dos decisores envolvidos, deve avaliar as preferências das alternativas em relação a cada critério;

Passo 5: Transformar as preferências ordinais dos desempenhos das alternativas, para um determinado conjunto de critérios, em seus correspondentes valores cardinais;

Passo 6: Agregar as preferências dos DMs;

Passos 7, 8 e 9: Determinar as preferências globais entre as alternativas.

Esses passos são apresentados abaixo:

Sejam  $c_i$  e  $c_j$  dois critérios dentro de um conjunto  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_j\}$ .

Passo 1: Dado um conjunto de critérios, eles são comparados paritariamente, dando origem a matriz  $DM_k = [\delta_{c_i c_j}]$ , onde  $k$  refere-se ao número de decisores. O grau de preferência entre eles é expresso por  $\delta_{c_i c_j}$ .

$\delta_{c_i c_j} = 1 \leftrightarrow i \approx j$ , isto é,  $c_i$  é tão importante quanto  $c_j$ ;

$\delta_{c_i c_j} > 1 \leftrightarrow i > j$ , isto é,  $c_i$  é mais importante que  $c_j$ ;

- $\delta_{c_i c_j} < 1 \leftrightarrow i < j$ , isto é,  $c_i$  é menos importante que  $c_j$ ;
- $\delta_{c_i c_j} \gg 1 \leftrightarrow i \gg j$ , isto é,  $c_i$  é muito mais importante que  $c_j$ ;
- $\delta_{c_i c_j} \ll 1 \leftrightarrow i \ll j$ , isto é,  $c_i$  é muito menos importante que  $c_j$ ;
- $\delta_{c_i c_j} \gg \gg 1 \leftrightarrow i \gg \gg j$ , isto é,  $c_i$  é absolutamente mais importante que  $c_j$ ; e
- $\delta_{c_i c_j} \ll \ll 1 \leftrightarrow i \ll \ll j$ , isto é,  $c_i$  é absolutamente menos importante que  $c_j$ .

Passo 2: Converter a escala de preferências em uma matriz discreta, utilizando uma escala numérica de sete pontos (tabela 18):

Tabela 18 – Componentes ordinais e escala numérica associada

Componente Ordinal	Escala 1	Escala 2
Absolutamente menos importante que	$\ll \ll 1$	-3
Muito menos importante que	$\ll 1$	-2
Menos importante que	$< 1$	-1
Tão importante quanto	1	0
Mais importante que	$> 1$	1
Muito mais importante que	$\gg 1$	2
Absolutamente mais importante que	$\gg \gg 1$	3

Fonte: Adaptado de Gomes *et al.* (2020)

Passo 3: Agregar as preferências sobre os critérios, dos “k” DM, o que permite transformar a matriz  $DM_k = [\delta_{c_i c_j}]$  em um vetor coluna  $[V_i]$  de acordo com a equação:

$$V_i = \sum_{j=1}^m (\text{medidas da escala 2}), \text{ para } i = 1, \dots, m \text{ e } k = 1, \dots, n \quad (3)$$

Após, cada um dos elementos do vetor  $v_i$  são normalizados de acordo com (4).

$$v_i = (a_{ij} - \min a_{ij}) / (\max a_{ij} - \min a_{ij}) \quad (4)$$

Nesta etapa, os valores ( $v_i$ ) nulos obtidos são substituídos por 1% do menor valor do elemento subsequente.

Passo 4: Comparar paritariamente as alternativas ( $k, l, \dots, j$ ), à luz de cada critério “i”, transformando as preferências ordinais das alternativas para um dado conjunto de critérios, em pesos parciais das alternativas. Este procedimento dará origem a matriz ( $E_i$ );

Passo 5: Similar ao passo 2. Representar as preferências de cada DM, de acordo com a escala discreta de 7 pontos.

Passo 6: Similar ao passo 3. Agregar as preferências sobre as alternativas, dos k DM;

Passo 7: Calcular as preferências globais. O Vetor  $V_i$ , representa as preferências das alternativas para cada DM. Isto permite transformar a matriz  $E_i = [e_{i, k, l}]$  em um vetor coluna  $A_i$ , onde  $e_{i, k, l}$ , é o valor da comparação paritária da alternativa “ $a_k$ ” com a alternativa “ $a_l$ ”, para o critério “ $i$ ” para cada DM;

Passo 8: Agregar os vetores colunas  $A = \Sigma A_{DM}$  da matriz  $M_{n \times m}$ ; e

Passo 9: Alterar o critério “ $i$ ” e realizar as etapas do passo 4 ao 8, até que a matriz M fique completa.

Para elucidar os passos apresentados, considere por exemplo três alternativas (k, l, m) que são comparadas à luz de três critérios ( $c_1, c_2$  e  $c_3$ ), por dois DM = (DM<sub>1</sub> e DM<sub>2</sub>):

Matriz de avaliação dos critérios:

$$D_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} \delta_{c_1 c_1} & \delta_{c_1 c_2} & \delta_{c_1 c_3} \\ \delta_{c_2 c_1} & \delta_{c_2 c_2} & \delta_{c_2 c_3} \\ \delta_{c_3 c_1} & \delta_{c_3 c_2} & \delta_{c_3 c_3} \end{bmatrix}$$

Avaliação dos critérios pelo DM<sub>1</sub>

$$DM_1 = \begin{bmatrix} 1 & > 1 & \ll 1 \\ < 1 & 1 & \ll 1 \\ \gg 1 & \gg 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 1 & -2 \\ -1 & 0 & -2 \\ 2 & 2 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow V_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} -1 \\ -3 \\ 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,29 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,29 \\ 0,0029 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Avaliação dos critérios pelo DM<sub>2</sub>

$$DM_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & < 1 \\ 1 & 1 & \ll 1 \\ > 1 & \gg 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -2 \\ 1 & 2 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow V_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} -1 \\ -2 \\ 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,002 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{E o peso final dos critérios: } \begin{bmatrix} 0,27 \\ 0,0027 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,002 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,47 \\ 0,0047 \\ 2 \end{bmatrix}$$



Matriz de avaliação do desempenho das alternativas em cada critério

$$E_{3 \times 3} = \begin{pmatrix} e_{i,k,k} & e_{i,k,l} & e_{i,k,m} \\ e_{i,l,k} & e_{i,l,l} & e_{i,l,m} \\ e_{i,m,k} & e_{i,m,l} & e_{i,m,m} \end{pmatrix}$$

Avaliação das alternativas pelo DM<sub>1</sub>

$$Ec_1 = \begin{bmatrix} 1 & > 1 & \ll 1 \\ < 1 & 1 & \ll 1 \\ \gg 1 & \gg 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 1 & -2 \\ -1 & 0 & -2 \\ 2 & 2 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow V_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} -1 \\ -3 \\ 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,29 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$Ec_2 = \begin{bmatrix} 1 & > 1 & \ll 1 \\ < 1 & 1 & \ll 1 \\ \gg 1 & \gg 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -2 \\ 2 & 2 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow V_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} -3 \\ -1 \\ 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,29 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$Ec_3 = \begin{bmatrix} 1 & > 1 & < 1 \\ < 1 & 1 & \ll 1 \\ > 1 & \gg 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & -2 \\ 1 & 2 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow V_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} 0 \\ -3 \\ 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Avaliação das alternativas pelo DM<sub>2</sub>

$$Ec_1 = \begin{bmatrix} 1 & > 1 & < 1 \\ < 1 & 1 & \ll 1 \\ > 1 & \gg 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & -2 \\ 1 & 2 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow V_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} 0 \\ -3 \\ 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$Ec_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \ll 1 \\ 1 & 1 & \ll 1 \\ \gg 1 & \gg 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & -2 \\ 2 & 2 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow V_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} -2 \\ -2 \\ 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$Ec_3 = \begin{bmatrix} 1 & > 1 & < 1 \\ < 1 & 1 & < 1 \\ > 1 & > 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow V_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} 0 \\ -2 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

E o desempenho final das alternativas nos critérios c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub> e c<sub>3</sub>:

$$Ec_1 = \begin{bmatrix} 0,29 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,79 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix}$$

$$Ec_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,29 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,29 \\ 2 \end{bmatrix}$$

$$Ec_3 = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,79 & 0 & 1 \\ 0 & 0,29 & 0 \\ 2 & 2 & 2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,47 \\ 0,0047 \\ 2 \end{bmatrix} \rightarrow M_{3 \times 3} \times V_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} 2,3713 \\ 0,001363 \\ 4,9494 \end{bmatrix}$$

Esse resultado indica que o valor global da alternativa “m” é superior ao da alternativa “k”, que é superior a alternativa “l”, portanto a ordenação final das alternativas seria: m, k e l.

### 3 O MÉTODO SAPEVO-M-NC

Derivado do método ordinal SAPEVO-M (*Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors – Multi Decision Makers*) (Gomes *et al.* (2020)). O método SAPEVO-M-NC (*Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors – Non Compensatory – Multi Decision Makers*) (MAÊDA *et al.*, 2021a), consiste em um método de natureza ordinal, não-compensatório, que visa a problemática de ordenação ( $P\gamma$ ) e com possibilidade de avaliação por múltiplos decisores.

Para a ponderação da importância relativa dos critérios considerados, utiliza-se a axiomática do método SAPEVO-M, fornecendo os pesos dos critérios tanto de forma individual, em relação a cada um dos decisores, bem como os totais, ao final da avaliação.

No método, a avaliação do desempenho das alternativas é feita de forma direta, não havendo a necessidade de se realizar comparações paritárias a fim de se obter a modelagem de preferências entre elas, resultando assim, em uma redução substancial do esforço cognitivo por parte do(s) decisor(es). Para esta, foi desenvolvida uma abordagem totalmente inovadora, na qual realiza-se duas avaliações distintas:

**Avaliação Parcial:** visa identificar as relações de superação ou de sobreclassificação existentes entre as alternativas, mediante a observação dos chamados: índices de dominância absoluta e das taxas de sobreclassificação. A partir desses, o decisor contabiliza a diferença entre o número de alternativas que cada uma domina (vitórias), e é dominada (derrotas). Podendo assim, ordená-las conforme os desempenhos observados.

**Avaliação Global:** diferente da primeira, considera o desempenho geral das alternativas dentre o conjunto avaliado, sendo utilizada para fornecer subsídios adicionais do processo de análise, a fim de possibilitar uma diferenciação das alternativas, que porventura, apresentaram o mesmo desempenho na avaliação parcial, proporcionando, caso seja de interesse dos decisores, realizar uma ordenação completa (MAEDA *et al.*, 2021c).

O método é dividido em seis etapas:

Etapa 1 – Estruturação da matriz de decisão:

$$X = [X_{ij}] = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ X_{31} & X_{32} & \dots & X_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, m \\ \text{onde: } j = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} = \text{desempenho da alternativa } i, \text{ no critério } j \end{array}$$

Etapa 2 - Transformação ordinal das preferências de cada DM, em cada critério, as quais são agregadas ao fim desta etapa, dando origem a um vetor coluna ( $V_i$ ), representando os pesos dos critérios, consistindo nos passos 1, 2 e 3 do método SAPEVO-M (GOMES *et al.*, 2020).

Sejam  $c_i$  e  $c_j$ , dois critérios dentro de um conjunto de critérios  $C = \{c_1, c_2, c_3 \dots c_i, c_j\}$ . O grau de preferência entre eles é dado por:  $\delta(c_i;c_j)$ , onde:

$\delta_{c_i;c_j} = 1 \leftrightarrow i \approx j$ , isto é,  $c_i$  é tão importante quanto  $c_j$ ;

$\delta_{c_i;c_j} > 1 \leftrightarrow i > j$ , isto é,  $c_i$  é mais importante que  $c_j$ ;

$\delta_{c_i;c_j} < 1 \leftrightarrow i < j$ , isto é,  $c_i$  é menos importante que  $c_j$ ;

$\delta_{c_i;c_j} \gg 1 \leftrightarrow i \gg j$ , isto é,  $c_i$  é muito mais importante que  $c_j$ ;

$\delta_{c_i;c_j} \ll 1 \leftrightarrow i \ll j$ , isto é,  $c_i$  é muito menos importante que  $c_j$ ;

$\delta_{c_i;c_j} \gg\gg 1 \leftrightarrow i \gg\gg j$ , isto é,  $c_i$  é absolutamente mais importante que  $c_j$ ; e

$\delta_{c_i;c_j} \ll\ll 1 \leftrightarrow i \ll\ll j$ , isto é,  $c_i$  é absolutamente menos importante que  $c_j$ .

Tabela 19 – Componentes ordinais e escala numérica associada

Componente Ordinal	Escala 1	Escala 2
Absolutamente menos importante que	$\ll\ll 1$	-3
Muito menos importante que	$\ll 1$	-2
Menos importante que	$< 1$	-1
Tão importante quanto	1	0
Mais importante que	$> 1$	1
Muito mais importante que	$\gg 1$	2
Absolutamente mais importante que	$\gg\gg 1$	3

Fonte: Adaptado de Gomes *et al.* (2020)

Seja  $DM_k$  um conjunto de agentes decisores,  $DM_k = \{DM_1, DM_2, \dots, DM_k\}$ , onde “k” refere-se ao número de decisores que expressam suas opiniões sobre a importância relativa dos critérios envolvidos. Essas preferências dão origem a matriz de preferências  $MDM_k$ . A relação entre as duas escalas da tabela permite a transformação da matriz (5) em (6):

$$MDM_k = [\delta(c_i;c_j)], \text{ em um vetor coluna } [V_i], \text{ onde:} \quad (5)$$

$$V_i = \sum_{j=1}^m (\text{medidas da escala 2}), \text{ para } i = 1, \dots, m \text{ e } k = 1, \dots, n \quad (6)$$

Após gerar o vetor  $V_i$ , os seus elementos  $a_{ij}$  são normalizados de acordo com (7):

$$v_i = (a_{ij} - \min a_{ij}) / (\max a_{ij} - \min a_{ij}) \quad (7)$$

Dando origem ao vetor de preferências do  $DM_k$ . Os elementos de valores nulos obtidos nesta etapa, são substituídos por 1% do menor valor subsequente. Após todos os  $DM$ 's realizarem suas avaliações, os vetores normalizados são somados, dando origem ao vetor de pesos que expressa a importância dos critérios (GOMES *et al.*, 2020).

Etapa 3 - Classificação ordinal ( $\Theta_{ij}$ ) do desempenho das alternativas:

Nesta etapa, cada  $DM$  atribui as classificações relativas aos desempenhos das alternativas em cada critério (tabela 20), as quais, são relacionadas às suas faixas de classificação  $g_{(ij)}$ . Após todos os “n”  $DM$ 's realizarem suas avaliações, é obtida a média aritmética  $\mu_{(ij)}$  das faixas de classificação dos desempenhos das alternativas em cada critério

Tabela 20 – Classificação do desempenho das alternativas em cada critério

Classificação ordinal ( $\Theta_{ij}$ ) do desempenho da alternativa $i$ no critério $j$	Faixa de Classificação $g_{(ij)}$
Excelente (E)	1
Muito Bom (MB)	2
Bom (B)	3
Médio (M)	4
Ruim (R)	5
Muito Ruim (MR)	6
Péssimo (P)	7

Fonte: Autor (2021)

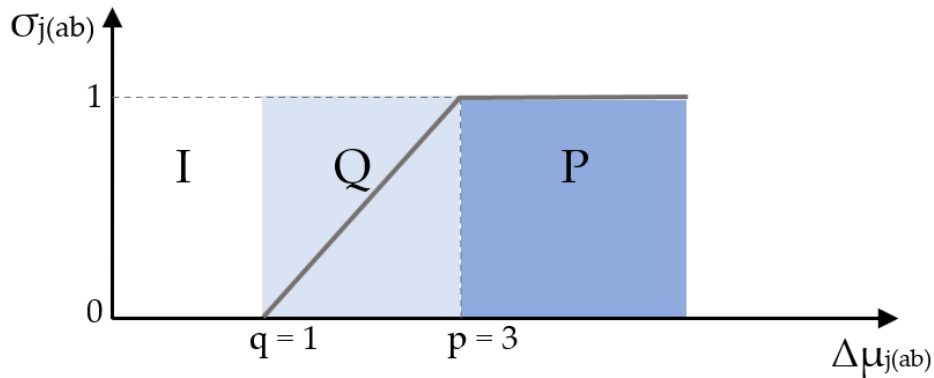
Etapa 4 – Obtenção das frações dos pesos dos critérios ( $\sigma_{j(ab)}$ ).

Para cada critério “j”, realiza-se a comparação paritária entre as alternativas a fim de se verificar a distância relativa ( $\Delta\mu_j$ ) entre os valores médios das faixas de classificação (8):

$$\Delta\mu_{j(ab)} = \mu_{j(a)} - \mu_{j(b)} \quad (8)$$

Este valor permite identificar na modelagem de preferências (figura 5 e tabela 21) a fração de peso ( $\sigma_{j(ab)}$ ) do critério “j”, obtida pela alternativa “a” em relação à alternativa “b”.

Figura 5 - Função de preferência de um critério com variação linear.



Fonte: Autor (2021)

Tabela 21 – Modelagem de preferências dos critérios

Indiferença (I)	$\mu_{j(a)} - \mu_{j(b)} \leq 1 : \sigma_{j(ab)} \rightarrow 0$
Preferência Fraca (Q)	$1 < \mu_{j(a)} - \mu_{j(b)} \leq 3 : \sigma_{j(ab)} \rightarrow \frac{(a_{ij} - \min a_{ij})}{(\max a_{ij} - \min a_{ij})}$
Preferência Forte (P)	$3 < \mu_{j(a)} - \mu_{j(b)} : \sigma_{j(ab)} \rightarrow 1$

Fonte: Autor (2021)

Etapa 5 – Cálculo da dominância relativa ( $d_{ab}$ ).

Obtida pela soma ponderada dos pesos dos critérios ( $w_j$ ), com a fração correspondente ( $\sigma_{j(ab)}$ ) verificada na modelagem de preferências (9):

$$d_{ab} = \sum (w_j \times \sigma_{j(ab)}) \quad (9)$$

Esta informação permite ao DMs avaliar paritariamente o desempenho observado de uma alternativa sobre a outra, onde valores muito elevados, indicam uma maior discrepância de desempenho entre elas.

Etapa 6 – Condução das Avaliações

Esta etapa divide-se em duas avaliações, sendo uma parcial e a outra global.

6.1 – Avaliação Parcial: Cálculo da dominância absoluta ( $D_{ab}$ ) e Taxa de sobreclassificação ( $\eta_{ab}$ ):

A diferença das dominâncias relativas entre as alternativas ( $d_{ab} - d_{ba}$ ), se traduz na dominância absoluta ( $D_{ab}$ ) (10), possibilitando identificar as relações de superação existentes.

$$D_{ab} = d_{ab} - d_{ba} \quad (10)$$

Dividindo-se  $D_{ab}$ , pelo somatório total dos pesos ( $\sum w_j$ ), obtém-se a taxa de sobreclassificação ( $\eta_{ab}$ ), onde valores positivos de " $\eta_{ab}$ " indicam que a alternativa "a" dominou a alternativa "b" (11). Esse valor varia de 1 à -1, caso a alternativa "a" domine, ou seja completamente dominada pela "b".

$$\eta_{ab} = D_{ab} / (\sum w_j) \quad (11)$$

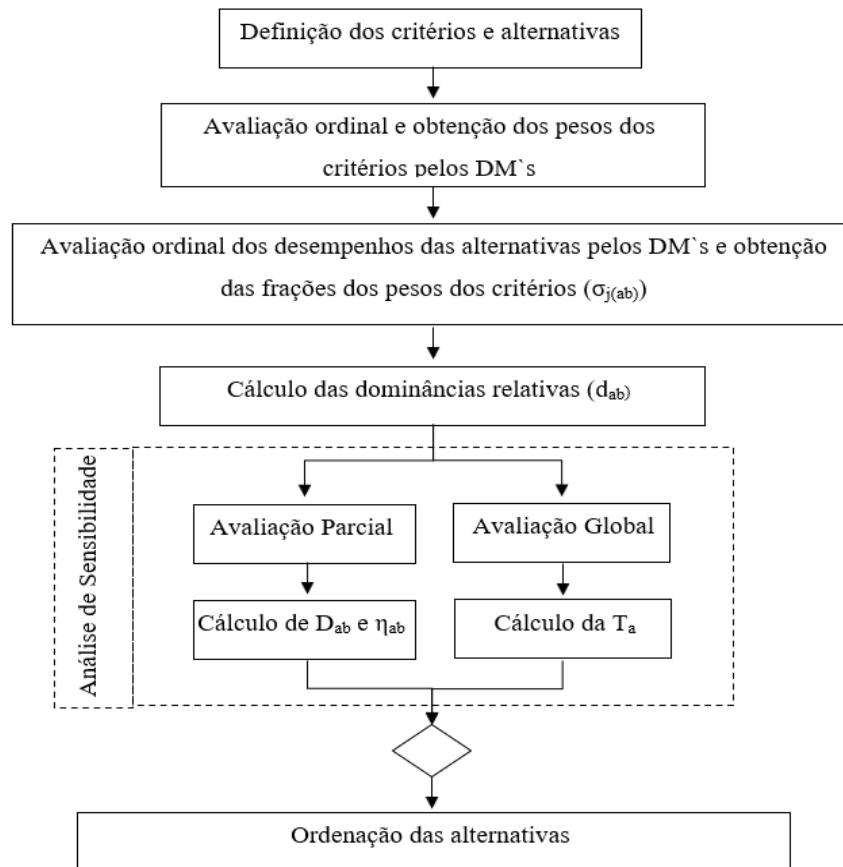
Esta informação, possibilita ao DM, maior clareza sobre os desempenhos parciais entre as alternativas.

6.2 – Avaliação global: O método possibilita realizar uma análise do desempenho total de cada uma das "n" alternativas, avaliando as taxas de performance ( $T_a$ ), obtidas por cada uma (12). Essa taxa considera o desempenho total de uma alternativa em relação ao conjunto avaliado:

$$T_a = \sum d_{ab} / (\sum w_j \times (n-1)) \quad (12)$$

Por fim, para ordenar as alternativas, uma abordagem semelhante à de Copeland é utilizada, verificando-se a diferença entre o número de vezes que uma alternativa domina e é dominada pelas demais. Quando duas ou mais alternativas possuem o mesmo desempenho, a taxa de performance ( $T_a$ ) pode ser utilizada para diferenciá-las, proporcionando assim, maior transparência no processo. Ressalta-se que esta abordagem não é imperativa, sendo possível reconhecer as alternativas tendo o mesmo desempenho parcial. Cabe ao decisor, conforme seus anseios e necessidades, a utilização deste recurso. O fluxograma da figura 6, apresenta em resumo os passos do método:

Figura 6 - Fluxograma com as etapas da metodologia proposta.



Fonte: Autor (2021)

### 3.1 EXEMPLO NUMÉRICO

Para elucidar os passos apresentados, considere como exemplo, um processo decisório composto por três alternativas ( $A_1, A_2, A_3$ ), que são comparadas à luz de quatro critérios ( $C_1, C_2, C_3, C_4$ ), por três  $DM = (DM_1, DM_2, DM_3)$ .

Após a montagem da matriz de decisão, inicia o processo de avaliação ordinal para a ponderação dos pesos dos atributos.

O quadro 8, apresenta como exemplo, a avaliação ordinal dos atributos (etapa 2) pelo primeiro decisor ( $DM_1$ ).



Quadro 8 – Avaliação ordinal da importância dos atributos pelo DM<sub>1</sub>

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
C <sub>1</sub>	Igualmente importante	Mais importante	Muito mais importante	Absolutamente mais importante
C <sub>2</sub>	Menos importante	Igualmente importante	Muito mais importante	Muito mais importante
C <sub>3</sub>	Muito menos importante	Muito menos importante	Igualmente importante	Igualmente importante
C <sub>4</sub>	Absolutamente menos importante	Muito menos importante	Igualmente importante	Igualmente importante

Fonte: Autor (2021)

A tabela 22 apresenta os valores da escala 2, relativos às avaliações ordinais realizadas.

Tabela 22 – Modelagem de preferências dos critérios

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
C <sub>1</sub>	0	1	2	3
C <sub>2</sub>	-1	0	2	2
C <sub>3</sub>	-2	-2	0	0
C <sub>4</sub>	-3	-2	0	0

Fonte: Autor (2021)

A tabela 23, apresenta os valores da escala 2, juntamente com o vetor de pesos normalizado, não nulo, representando a importância dos critérios para o DM<sub>1</sub>.

Tabela 23 – Vetor de pesos normalizado

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	Soma das avaliações	Normalização do vetor de avaliações	Vetor normalizado sem elementos nulos
C <sub>1</sub>	0	1	2	3	6	1,000	1,000
C <sub>2</sub>	-1	0	2	2	3	0,727	0,727
C <sub>3</sub>	-2	-2	0	0	-4	0,091	0,091
C <sub>4</sub>	-3	-2	0	0	-5	0,000	0,001

Fonte: Autor (2021)

O quadro 9 apresenta como exemplo, a avaliação ordinal dos atributos pelo segundo decisor (DM<sub>2</sub>).

Quadro 9 – Avaliação ordinal da importância dos atributos pelo DM<sub>2</sub>

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
C <sub>1</sub>	Igualmente importante	Muito mais importante	Muito mais importante	Absolutamente mais importante
C <sub>2</sub>	Muito menos importante	Igualmente importante	Mais importante	Muito mais importante
C <sub>3</sub>	Muito menos importante	Menos importante	Igualmente importante	Igualmente importante
C <sub>4</sub>	Absolutamente menos importante	Muito menos importante	Igualmente importante	Igualmente importante

Fonte: Autor (2021)

A tabela 24 apresenta os valores da escala 2, relativos às avaliações ordinais realizadas.

Tabela 24 – Modelagem de preferências dos critérios

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
C <sub>1</sub>	0	2	2	3
C <sub>2</sub>	-2	0	1	2
C <sub>3</sub>	-2	-1	0	0
C <sub>4</sub>	-3	-2	0	0

Fonte: Autor (2021)

A tabela 25, apresenta os valores da escala 2, juntamente com o vetor de pesos normalizado, não nulo, representando a importância dos critérios para o DM<sub>2</sub>.

Tabela 25 – Vetor de pesos normalizado

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	Soma das avaliações	Normalização do vetor de avaliações	Vetor normalizado sem elementos nulos
C <sub>1</sub>	0	2	2	3	7	1,000	1,000
C <sub>2</sub>	-2	0	1	2	1	0,500	0,500
C <sub>3</sub>	-2	-1	0	0	-3	0,167	0,167
C <sub>4</sub>	-3	-2	0	0	-5	0,000	0,002

Fonte: Autor (2021)

O quadro 10 apresenta como exemplo a avaliação ordinal dos atributos pelo terceiro decisor (DM<sub>3</sub>).

Quadro 10 – Avaliação ordinal da importância dos atributos pelo DM<sub>3</sub>

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
C <sub>1</sub>	Igualmente importante	Mais importante	Muito mais importante	Muito mais importante
C <sub>2</sub>	Menos importante	Igualmente importante	Muito mais importante	Muito mais importante
C <sub>3</sub>	Muito menos importante	Muito menos importante	Igualmente importante	Igualmente importante
C <sub>4</sub>	Muito menos importante	Muito menos importante	Igualmente importante	Igualmente importante

Fonte: Autor (2021)

A tabela 26 apresenta os valores da escala 2, relativos às avaliações ordinais realizadas.

Tabela 26 – Modelagem de preferências dos critérios

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
C <sub>1</sub>	0	1	2	2
C <sub>2</sub>	-1	0	2	2
C <sub>3</sub>	-2	-2	0	0
C <sub>4</sub>	-2	-2	0	0

Fonte: Autor (2021)

A tabela 27, apresenta os valores da escala 2, juntamente com o vetor de pesos normalizado, não nulo, representando a importância dos critérios para o DM<sub>3</sub>.

Tabela 27 – Vetor de pesos normalizado

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	Soma das avaliações (V <sub>i</sub> )	Normalização do vetor de avaliações ( $v = (a_{ij} - \min a_{ij}) / (\max a_{ij} - \min a_{ij})$ )	Vetor normalizado sem elementos nulos
C <sub>1</sub>	0	1	2	2	5	1,000	1,000
C <sub>2</sub>	-1	0	2	2	3	0,778	0,778
C <sub>3</sub>	-2	-2	0	0	-4	0,000	0,008
C <sub>4</sub>	-2	-2	0	0	-4	0,000	0,008

Fonte: Autor (2021)

A tabela 28, apresenta a avaliação final, refletindo nos pesos (importância) dos critérios, após avaliação por todos os decisores envolvidos.

Tabela 28 – Avaliação da importância dos critérios pelos DMs

	DM <sub>1</sub>	DM <sub>2</sub>	DM <sub>3</sub>	Peso final dos critérios
C <sub>1</sub>	1,000	1,000	1,000	3,000
C <sub>2</sub>	0,727	0,500	0,778	2,005
C <sub>3</sub>	0,091	0,167	0,008	0,265
C <sub>4</sub>	0,001	0,002	0,008	0,011
SOMA ( $\sum w_j$ )				5,281

Fonte: Autor (2021)

Após a etapa de ponderação da importância dos atributos, inicia-se a avaliação das alternativas, a qual é realizada de forma direta. A tabela 29, apresenta a classificação do desempenho das alternativas pelo DM<sub>1</sub>:

Tabela 29 – Avaliação ordinal do desempenho das alternativas pelo DM<sub>1</sub>.

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	Muito Ruim	Ruim	Médio	Médio
A <sub>2</sub>	Muito Ruim	Bom	Péssimo	Péssimo
A <sub>3</sub>	Muito Bom	Muito Bom	Excelente	Médio

Fonte: Autor (2021)

A tabela 30, apresenta a classificação do desempenho das alternativas pelo DM<sub>2</sub>.

Tabela 30 – Avaliação ordinal do desempenho das alternativas pelo DM<sub>2</sub>.

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	Ruim	Ruim	Ruim	Médio
A <sub>2</sub>	Muito Ruim	Bom	Péssimo	Péssimo
A <sub>3</sub>	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Médio

Fonte: Autor (2021)

A tabela 31, apresenta a classificação do desempenho das alternativas pelo DM<sub>3</sub>.

Tabela 31 – Avaliação ordinal do desempenho das alternativas pelo DM<sub>3</sub>.

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Ruim
A <sub>2</sub>	Ruim	Médio	Péssimo	Muito Ruim
A <sub>3</sub>	Bom	Muito Bom	Excelente	Médio

Fonte: Autor (2021)

A tabela 32, apresenta os valores das faixas correspondentes as avaliações ordinais, bem como os valores médios obtidos após avaliação pelos três DMs.

Tabela 32 – Classificação do desempenho das alternativas pelos DMs

DM <sub>1</sub>					DM <sub>2</sub>					DM <sub>3</sub>					Média $\mu_{(ij)}$				
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	6	5	4	4	A <sub>1</sub>	5	5	5	4	A <sub>1</sub>	5	6	5	5	A <sub>1</sub>	5,333	5,333	4,667	4,333
A <sub>2</sub>	6	3	7	7	A <sub>2</sub>	6	3	7	7	A <sub>2</sub>	5	4	7	6	A <sub>2</sub>	5,667	3,333	7,000	6,667
A <sub>3</sub>	2	2	1	4	A <sub>3</sub>	2	2	2	4	A <sub>3</sub>	3	2	1	4	A <sub>3</sub>	2,333	2,000	1,333	4,000

Fonte: Autor (2021)

A tabela 33 apresenta a diferença entre as avaliações das distâncias (distância média em caso de múltiplos decisores) entre as faixas de desempenho das alternativas  $\Delta\mu_{j(ab)}$ . Nesta etapa, os valores de  $\mu_{(ij)}$  menores ou iguais a 1 indicam uma relação de indiferença (I). Estes são desconsiderados, por apresentarem frações de pesos nulas na modelagem de preferências (figura 5).

Tabela 33 – Avaliação da distância entre as faixas de desempenho das alternativas  $\Delta\mu_{j(ab)}$ 

$(\Delta\mu_{j(ab)} = \mu_{(ja)} - \mu_{(jb)})$				
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
A <sub>1</sub> -A <sub>2</sub>	0,33	-2,00	2,33	2,33
A <sub>1</sub> -A <sub>3</sub>	-3,00	-3,33	-3,33	-0,33
A <sub>2</sub> -A <sub>1</sub>	-0,33	2,00	-2,33	-2,33
A <sub>2</sub> -A <sub>3</sub>	-3,33	-1,33	-5,67	-2,67
A <sub>3</sub> -A <sub>1</sub>	3,00	3,33	3,33	0,33
A <sub>3</sub> -A <sub>2</sub>	3,33	1,33	5,67	2,67

Fonte: Autor (2021)

A tabela 34 apresenta a aplicação da modelagem de preferências ( $\sigma_{j(ab)}$ ) sobre as diferenças relativas entre as faixas de desempenho observadas. Os valores situados entre 1 e 3, indicam que existe uma relação de preferência fraca (Q) de uma alternativa em relação à outra, com isso, mediante a equação apresentada na tabela 21 para esta situação, é obtida a fração ( $\sigma_{j(ab)}$ ) do critério correspondente. Aos valores de  $\Delta\mu_{j(ab)}$  maiores ou iguais a 3, atribui-se diretamente  $\sigma_{j(ab)} = 1$ , por apresentar uma relação de preferência estrita (P) entre as alternativas.

Tabela 34 – Frações de pesos obtidas ( $\sigma_{j(ab)}$ ) após a modelagem de preferências

Modelagem de preferências ( $\sigma_{j(ab)}$ )				
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
A <sub>1</sub> -A <sub>2</sub>			$(2,33 - 1)/2 = 0,67$	$(2,33 - 1)/2 = 0,67$
A <sub>1</sub> -A <sub>3</sub>				
A <sub>2</sub> - A <sub>1</sub>		$(2 - 1)/2 = 0,50$		
A <sub>2</sub> - A <sub>3</sub>				
A <sub>3</sub> - A <sub>1</sub>	$(3 - 1)/2 = 1$	1,00	1,00	
A <sub>3</sub> - A <sub>2</sub>	1,00	$(1,33 - 1)/2 = 0,17$	1,00	$(2,67 - 1)/2 = 0,83$

Fonte: Autor (2021)

A tabela 35 apresenta os valores ponderados entre as frações de peso obtidas ( $\sigma_{j(ab)}$ ), e os pesos dos critérios ( $w_j$ ) (tabela 28). A soma dos valores resultantes em cada linha, dá origem a dominância relativa da primeira alternativa sobre a segunda.

Tabela 35 – Dominância Relativa entre as alternativas

	Ponderação dos pesos dos critérios pela fração obtida na modelagem de preferências.				Dominância Relativa
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	$d_{ab} = \sum (w_j \times \sigma_{j(ab)})$
A <sub>1</sub> -A <sub>2</sub>			0,18	0,01	0,19
A <sub>1</sub> -A <sub>3</sub>					0,00
A <sub>2</sub> - A <sub>1</sub>		1,00			1,00
A <sub>2</sub> - A <sub>3</sub>					0,00
A <sub>3</sub> - A <sub>1</sub>	3,00	2,01	0,27		5,27
A <sub>3</sub> - A <sub>2</sub>	3,00	0,33	0,27	0,01	3,61

Fonte: Autor (2021)

A tabela 36, apresenta em resumo os valores das dominâncias absolutas ( $D_{ab}$ ), as taxas de sobreclassificação ( $\eta_{ab}$ ), bem como as taxas de performance ( $T_a$ ) das alternativas. Valores negativos de  $\eta_{ab}$ , indicam que a primeira alternativa do par avaliado foi dominada pela segunda.

Tabela 36 – Dominância Relativa entre as alternativas

Alternativas	Dominância Relativa	Dominância Absoluta	Taxa de Sobreclassificação	Taxa de Performance
	$d_{ab} = \sum(w_j \times \sigma_{j(ab)})$	$D_{ab} = d_{ab} - d_{ba}$	$\eta_{ab} = D_{ab} / (\sum w_j)$	$T_a = \sum d_{ab} / (\sum w_j \times (n-1))$
A <sub>1</sub> -A <sub>2</sub>	$d_{12} = 0,19$	$D_{12} = -0,81$	$\eta_{12} = -0,16$	$T_1 = 0,19 / (5,281 \times (3-1)) = 0,0174$
A <sub>1</sub> -A <sub>3</sub>	$d_{13} = 0,00$	$D_{13} = -5,27$	$\eta_{13} = -1,00$	
$\sum d_{ab}$	$\sum d_{1b} = 0,19$			
A <sub>2</sub> -A <sub>1</sub>	1,00	$D_{21} = 0,81$	$\eta_{21} = 0,16$	$T_2 = 1,00 / (5,281 \times (3-1)) = 0,0949$
A <sub>2</sub> -A <sub>3</sub>	0,00	$D_{23} = -3,61$	$\eta_{23} = -0,68$	
$\sum d_{ab}$	$\sum d_{2b} = 1,00$			
A <sub>3</sub> -A <sub>1</sub>	5,27	$D_{31} = 5,27$	$\eta_{31} = 1,00$	$T_3 = 8,88 / (5,281 \times (3-1)) = 0,8407$
A <sub>3</sub> -A <sub>2</sub>	3,61	$D_{32} = 3,61$	$\eta_{32} = 0,68$	
$\sum d_{ab}$	$\sum d_{3b} = 8,88$			

Fonte: Autor (2021)

A tabela 37 apresenta em resumo, a diferença líquida entre o número de vezes que cada alternativa, domina, ou é dominada, sendo possível com isso, ordená-las.

Tabela 37 – Diferença entre as relações de dominância das alternativas

Alternativas	Número de alternativas que domina	Número de alternativas em que é dominada	Total
A <sub>1</sub>	0	2	-2
A <sub>2</sub>	1	1	0
A <sub>3</sub>	2	0	2

Fonte: Autor (2021)

Mediante os resultados obtidos, verificamos a seguinte ordenação: A<sub>3</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>1</sub>.

### 3.2 PLATAFORMA COMPUTACIONAL

Visando possibilitar um suporte para a metodologia proposta, facilitando os cálculos envolvidos e proporcionar uma melhor compreensão dos resultados, foi desenvolvida a plataforma computacional SAPEVO-M-NC *Web* (v.1), que pode ser acessada por meio do endereço: [https://sapevo.shinyapps.io/sapevo-m-nc\\_web/](https://sapevo.shinyapps.io/sapevo-m-nc_web/). De utilização simples, apresenta saída gráfica dos resultados, contribuindo para facilitar a compreensão da avaliação realizada. A plataforma foi desenvolvida na linguagem R, por meio de parceria com profissionais da Universidade Federal Fluminense e com um grupo de pesquisas do Centro de Análises de Pesquisas Navais (CASNAV). Para exemplificar a sua utilização, o exemplo numérico 3.1 será novamente abordado. A figura 7 apresenta a tela inicial da plataforma.

Figura 7 – Tela de apresentação da plataforma computacional SAPEVO-M-NC *Web*



Fonte: MAEDA *et al.* (2021)

Inicialmente, o usuário deverá realizar a estruturação do problema (figura 8), indicando o número de decisores, a quantidade de alternativas, critérios e nomeando-os.



Figura 8 – Tela de estruturação da avaliação

SAPEVO-M-NC Home Structuring Implementation

SAPEVO-M-NC

Generate Structuring Download Spreadsheet

**Alternatives Set**  
Type the alternative:  
A3 +

Alternatives  
A1  
A2  
A3

**Criteria Set**  
Type the criterion:  
C4 +

Criteria  
C1  
C2  
C3  
C4

**Number of Decision-Makers**  
Type the number of decision-maker:  
3

Fonte: MAEDA et al. (2021)

Após inserir todos os dados, o usuário deverá clicar em “*Generate Structuring*”, para gerar a estrutura (figura 9) e em seguida, em “*Download Spreadsheet*”, onde um arquivo excel com a planilha gerada, será baixado, para que se possa realizar a avaliação dos critérios e alternativas pelos DM’s.

Figura 9 – Estrutura gerada

SAPEVO-M-NC Home Structuring Implementation

SAPEVO-M-NC

Generate Structuring Download Spreadsheet

**Alternatives Set**  
Type the alternative:  
A3 +

Alternatives  
A1  
A2  
A3

**Criteria Set**  
Type the criterion:  
C4 +

Criteria  
C1  
C2  
C3  
C4

**Number of Decision-Makers**  
Type the number of decision-maker:  
3

Show 25 entries

crit_eval	crit_comp	pontc	coluna_vazia	lista_alt	col_alt	col_alt.1	col_alt.2	col_alt.3
AVILIAÇÃO	COMPARAÇÃO	PONTUAÇÃO			C1	C2	C3	C4
C1	C2	0		A1	0	0	0	0
C1	C3	0		A2	0	0	0	0
C1	C4	0		A3	0	0	0	0
C2	C3	0						
C2	C4	0						
C3	C4	0						

crit\_eval crit\_comp pontc coluna\_vazia lista\_alt col\_alt col\_alt.1 col\_alt.2 col\_alt.3

Fonte: MAEDA et al. (2021)

A figura 10 apresenta o formato da planilha gerada e como exemplo, as avaliações feitas pelo DM1. Cada aba da planilha representa um dos decisores do processo, onde deverão ser inseridos os julgamentos relativos de cada um.

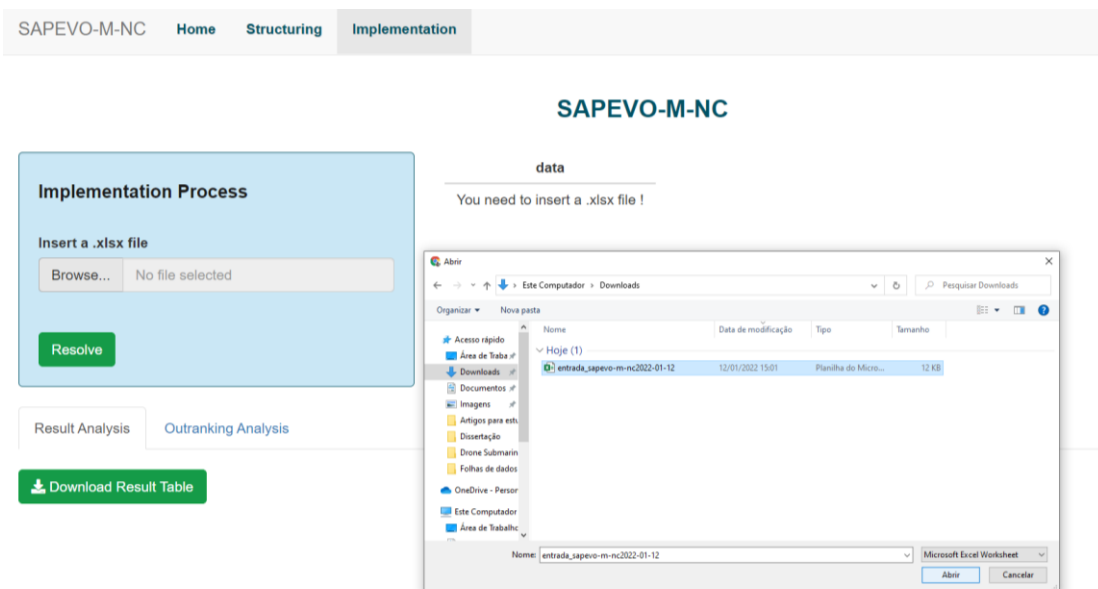
Figura 10 – Planilha com as avaliações do DM1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	<b>AVALIAÇÃO</b>	<b>COMPARAÇÃO</b>	<b>PONTUAÇÃO</b>			<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	
3	<b>C1</b>	<b>C2</b>	1		<b>A1</b>	6	5	4	4	
4	<b>C1</b>	<b>C3</b>	2		<b>A2</b>	6	3	7	7	
5	<b>C1</b>	<b>C4</b>	3		<b>A3</b>	2	2	1	4	
6	<b>C2</b>	<b>C3</b>	2							
7	<b>C2</b>	<b>C4</b>	2							
8	<b>C3</b>	<b>C4</b>	0							
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										

Fonte: MAEDA *et al.* (2021)

Após inserir as avaliações de todos os decisores, o usuário deverá carregar a planilha gerada na plataforma, que é feito na página inicial, na aba “Implementation” e no botão “Browse”, selecionando o arquivo desejado (figuras 11).

Figura 11 – Inserindo a planilha para avaliação na plataforma



Fonte: MAEDA *et al.* (2021)

Selecionado o arquivo, este será carregado na plataforma (Figura 12).

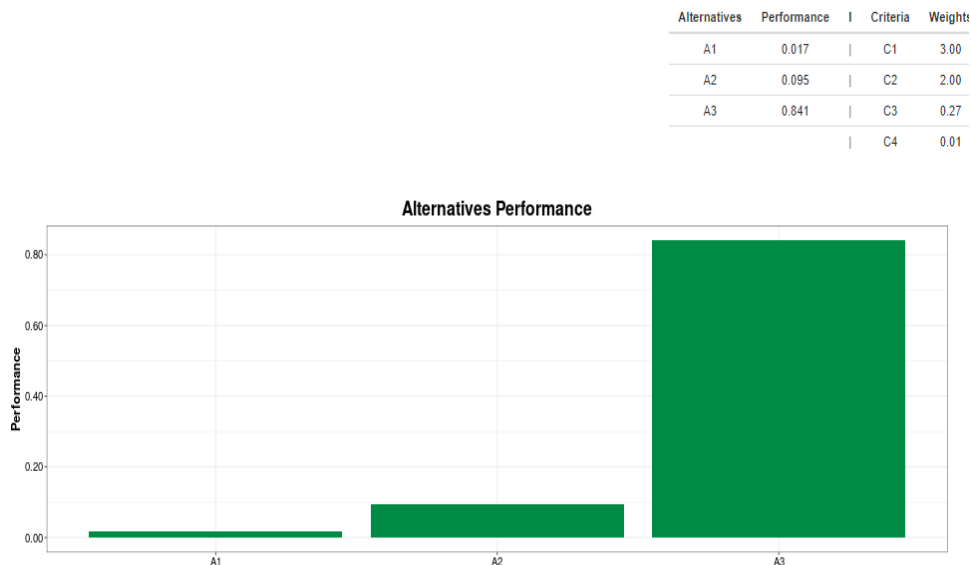
Figura 12 – Tela da plataforma após carregar a planilha com as avaliações



Fonte: MAEDA *et al.* (2021)

Por fim, o usuário deverá solicitar a resolução do problema, clicando no botão “Resolve”. A aba “*Result Analysis*” apresentará numérica e graficamente, a taxa de performance das alternativas, bem como os pesos dos critérios avaliados (figura 13).

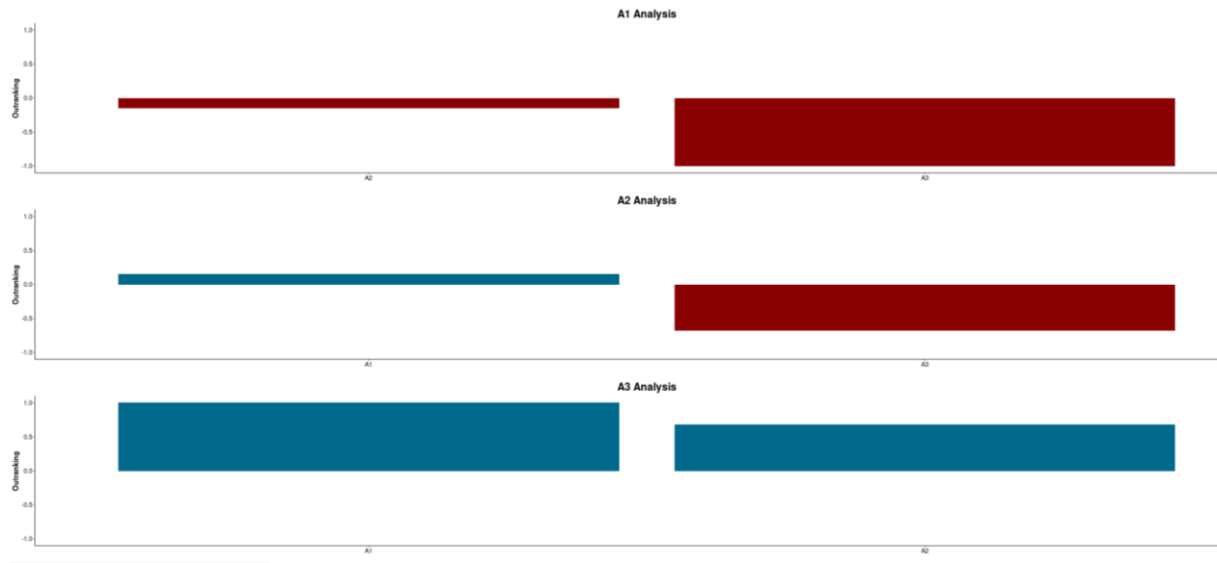
Figura 13 – Apresentação da taxa de performance das alternativas e pesos dos critérios



Fonte: MAEDA *et al.* (2021)

Clicando na aba “*Outranking Analysis*”, o usuário terá acesso ao resultado numérico e gráfico abordando as relações de superação entre as alternativas, bem como a intensidade evidenciada (Figura 14). No primeiro gráfico, verifica-se que a alternativa A1 foi superada pelas alternativas A2 e A3 (com maior intensidade). Já na análise da alternativa A2 (gráfico 2), é possível verificar que A2 supera A1, e é superada pela alternativa A3.

Figura 14 – Relações de superação entre as alternativas



Fonte: MAEDA *et al.* (2021)

Por fim, por meio da aba “*Download Result Table*”, o usuário poderá realizar o download da tabela com todos os resultados gerados de forma resumida (Figura 15).

Figura 15 – Tabela com o resumo da avaliação

	A	B	C	D	E
1					
2	Alternatives Performance				
3	alternativas	tax_perform			
4	A1	0.017			
5	A2	0.095			
6	A3	0.841			
7					
8	Criteria Weights				
9	critérios	vetor_pesos_totais			
10	C1	3			
11	C2	2.005			
12	C3	0.266			
13	C4	0.011			
14					
15	Detailed Values of Procedure				
16	NA	A1	A2	A3	
17	A1	0	-0.15	-1	
18	A2	0.15	0	-0.68	
19	A3	1	0.68	0	

Fonte: MAEDA *et al.* (2021)

### 3.3 CONTRIBUIÇÕES DO MÉTODO SAPEVO-M-NC

Desde a sua criação, o método proposto vem sendo aplicado em estudos de caso de natureza variada, se fazendo presente em diversos eventos no meio acadêmico, demonstrando considerável versatilidade, sendo abordado de forma singela, híbrida, ou comparado com outros métodos AMD já consagrados na literatura:

No intuito de apresentar com maiores detalhes a modelagem axiomática da metodologia proposta, o artigo denominado: “The SAPEVO-M-NC method”, foi elaborado, apresentando as principais características e capacidades inerentes do método (MAÊDA *et al.*, 2021).

O método foi aplicado em uma abordagem comparativa com os métodos Copeland, Regime e SAPEVO-M-NC, onde diferentes regiões brasileiras foram avaliadas, à luz de critérios econômicos e climáticos, por três decisores do setor agropecuário, a fim de se identificar, os melhores locais para o plantio de mogno africano no Brasil (MAÊDA *et al.*, 2021b). Este estudo também foi realizado de forma singela com o método (MAÊDA *et al.*, 2021a). Os resultados das abordagens, indicaram que os fatores climáticos possuem maior relevância para os avaliadores e convergiram para um mesmo direcionamento na escolha das melhores regiões para o plantio da espécie em questão.

Considerando a importância dos AMD considerados ordinais, foi realizada uma revisão de literatura dos métodos: Borda, Condorcet, Copeland, QUALIFLEX, Regime, ARGUS e SAPEVO-M-NC. O estudo identificou que os métodos ordinais possuem grande aplicabilidade, principalmente ao lidar com problemas envolvendo dados de natureza qualitativa, incompletos, ou imprecisos, proporcionando assim, uma base técnica no apoio à tomada de decisão, mesmo quando há traços de nebulosidade permeando a confiabilidade dos dados envolvidos no processo (MAÊDA *et al.*, 2021b).

No contexto da crescente globalização dos negócios e a consequente exposição à concorrência mundial, uma abordagem com os métodos ELECTRE-MOr e SAPEVO-M-NC, foi conduzido no estudo de caso do processo estratégico de formação de carteira de cursos de tecnologia, ofertados por uma empresa do setor de treinamentos no Brasil, visando distribuí-los em classes de desempenho, com posterior ordenação daqueles que devem ser priorizados pela administração da empresa (MAÊDA *et al.*, 2021). A metodologia proposta apresentou robustez no tratamento dos dados, bem como clareza nos resultados, demonstrando potencial para ser

aplicada em diversas situações dos níveis tático, operacional e estratégico das organizações (MAÊDA *et al.*, 2021c)

No contexto da crise econômica global, oriunda da pandemia gerada pelo novo coronavírus, em uma abordagem híbrida com o método de prospecção de cenários, MOMENTUM, foram propostas formas distintas de distribuição de um aporte financeiro, considerando cinco fundos de investimentos oferecidos por uma corretora nacional, os quais foram avaliados à luz de oito variáveis econômicas, por dois investidores que atuam no mercado financeiro e em face a três cenários futuros possíveis para a economia brasileira. A adoção das metodologias possibilitou realizar a distribuição dos portfólios de forma clara e com um esforço cognitivo relativamente baixo por parte dos decisores, que consideraram em suas avaliações, as informações obtidas nas análises de cada um dos cenários abordados (MAÊDA *et al.*, 2021d) (MAÊDA *et al.*, 2021e).

## 4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, será apresentado um estudo de caso inserido no contexto da destinação constitucional da Marinha do Brasil na Política Nacional de Defesa (PND), abordando sobre a estratégia de aquisição de possíveis veículos autônomos submarinos (AUV - sigla em inglês para *Autonomous Underwater Vehicle*), para ser empregado nas atividades de Contramedidas de Minagem (CMM), mais especificamente pelo Comando da Força de Minagem e Varredura (ComForMinVar), situado em Salvador-BA.

A fim de compreender melhor sobre as atividades desempenhadas nas ações de CMM, as necessidades operacionais da Marinha do Brasil, bem como as possibilidades advindas do possível emprego de AUV's nesse tipo de missão, foram realizadas entrevistas e *brainstorming* com três militares, Oficiais da ativa pertencentes ao Corpo da Armada, que já atuaram em operações de CCM, mas que não são necessariamente especialistas. A fim de preservar suas identidades, aqui são mencionados como: DM<sub>1</sub>, DM<sub>2</sub> e DM<sub>3</sub>. A partir das informações, foram selecionadas como alternativas no processo decisório, dez tipos de AUV's disponíveis no mercado, os quais foram avaliados à luz de dez critérios.

Para avaliar a importância relativa de cada um dos critérios envolvidos, bem como do desempenho das alternativas apresentadas, esses militares foram convidados a realizar uma abordagem por meio do método de Apoio Multicritério à Decisão SAPEVO-M-NC, onde empregou-se sua versão *web*, como ferramenta de suporte no processo decisório. A aplicação da ferramenta, possibilitou que suas considerações fossem computadas de maneira simplificada e com esforço cognitivo relativamente reduzido.

Nas subseções secundárias a seguir, serão apresentadas: a relevância da aplicação dos métodos AMD em problemas de contexto militar; as atribuições constitucionais da Marinha do Brasil na Política Nacional de Defesa; as características dos veículos autônomos submarinos, abordando suas possibilidades em operações de resgate e em CMM; e por fim, na última subseção, será realizada a avaliação estratégica para a aquisição de veículos autônomos submarinos (AUV) pela Marinha do Brasil, para implementação em suas operações táticas e de guerra naval.

#### 4.1 APLICAÇÃO DO APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO NO PLANEJAMENTO, ESTRUTURAÇÃO E NA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS NAS ORGANIZAÇÕES MILITARES

De acordo com Silva *et al.* (2014), o processo de tomada de decisão em ambientes políticos e militares, apresenta-se como uma tarefa extremamente complexa e dinâmica, a qual envolve diferentes níveis estratégicos e a multidisciplinaridade de áreas operacionais, em prol de um direcionamento, visando atingir os objetivos em um dado problema, onde este é fortemente influenciado por diversos fatores mensuráveis ou não, tais como: variáveis logísticas, econômicas, climáticas, disponibilidade de recursos materiais e humanos capacitados, bem como a velocidade de interação entre eles (SHORTLAND *et al.*, 2018). Uma vez que afetam diretamente a segurança e a soberania das nações, essas problemáticas possuem elevada relevância. Nesse contexto, é comum a participação de múltiplos decisores na análise dos aspectos relevantes do problema, de modo a se obter uma avaliação mais abrangente da situação, com diferentes perspectivas e enriquecida de informações, viabilizando assim um consenso, e possibilitando maior assertividade na tomada de decisão (MUNIER *et al.*, 2019); (MOREIRA *et al.*, 2021).

Dado o exposto, a aplicação de métodos de AMD, reveste-se de elevada importância, uma vez que a tomada de decisões assertivas é fator decisivo para o sucesso, reduzindo gastos e aumentando a capacidade de defesa (COSTA *et al.*, 2021).

Verifica-se na literatura grande contribuição da PO, mais especificamente dos métodos AMD em elevada variedade de aplicações militares, contribuindo para elevar a eficiência e eficácia das tomadas de decisões em diferentes níveis estratégicos. Como exemplos recentes, podemos citar: MOREIRA *et al.*, (2021), realizaram um estudo de caso baseado na hipótese de aquisição de Sistemas de Aeronave Remotamente Pilotadas (SARP) para a Marinha do Brasil. Na análise, abordam as indicações de preferências em cada nível da hierarquia de decisão, expondo a construção dos resultados locais e global. Ao final apresenta os principais pontos da modelagem, tendo por base uma análise hierárquica e híbrida, tratando variáveis de diferentes naturezas, pelo método SAPEVO-H<sup>2</sup>.

No contexto do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), a fim de auxiliar a alta administração naval na seleção dos candidatos (oficiais voluntários). Almeida *et al.* (2021), aplicaram o *Value-Focused Thinking* (VFT), para a pré-seleção dos oficiais que melhor se enquadravam na vaga estabelecida e os atributos a serem avaliados. Em seguida, utilizaram o



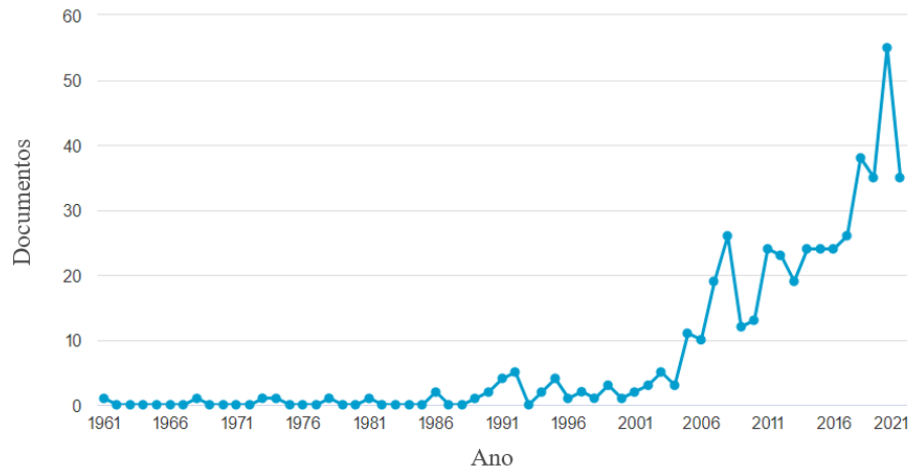
método de AMD denominado CRITIC (*CR*iteria *I*mportance *T*hrough *I*ntercriteria *C*orrelation) para obter os pesos dos critérios e o método GRA (*Grey Relational Analysis*) para ordenar as alternativas, onde ao final, puderam gerar a ordenação dos oficiais voluntários para ocuparem a vaga oferecida no programa.

Durante a pandemia de covid-19 ocasionada pelo novo coronavírus, tendo em vista a grande crise de saúde gerada com a superlotação de hospitais e a falta de leitos de internação em alguns estados, como o de Amazonas, Costa *et al.*,(2020), propuseram e aplicaram o método THOR 2 para selecionar o navio de assistência hospitalar (NAsH) da MB mais adequado para auxiliar o combate à pandemia neste estado. No estudo, foram avaliadas quatro alternativas, sendo avaliados os seus aspectos logísticos e capacidades hospitalares. Após a aplicação do método, o NAsH “Oswaldo Cruz” foi selecionado para ser empregado no apoio àquele estado.

No contexto do teatro de operações terrestres, para selecionar os pontos ideais para a instalação de uma bateria de mísseis antitanque guiados, Bojanic *et al.* (2018), fizeram uso de uma abordagem híbrida dos métodos AHP e MABAC, onde o primeiro foi utilizado para a obtenção dos coeficientes de ponderação dos critérios, e o segundo, para a classificação final das alternativas. A análise da sensibilidade dos resultados demonstrou que o modelo híbrido proposto forneceu soluções estáveis para o problema de escolha de uma posição de disparo ideal, e que a proposta pode ser aplicada a outros problemas envolvendo a tomada de decisão multicritério.

A fim de abordar o panorama e mensurar quantitativamente a aplicação de metodologias multicritério no campo militar, foi realizada consulta a base SCOPUS, utilizando no campo “TITLE-ABS-KEY” os nomes dos principais métodos AMD: AHP, ELECTRE, BORDA, CONDORCET, SAPEVO, THOR, TOPSIS, PROMETHEE, VIKOR, SMART e os termos MCDM, MCDA, juntamente com as palavras: “*Military*”, “*Navy*” e “*Army*”, mediante aplicação da estrutura “OR” entre os primeiros e “AND” para as três últimas palavras, relacionando a lógica “OR” entre essas últimas, e limitando os tipos de documentos a: “*article*”, “*conference paper*” e “*book chapter*”, a consulta retornou 465 documentos. A figura 16 apresenta a evolução temporal dos artigos selecionados, onde identifica-se uma tendência geral de crescimento das publicações relacionadas com o tema.

Figura 16 – Evolução do número de publicações por ano

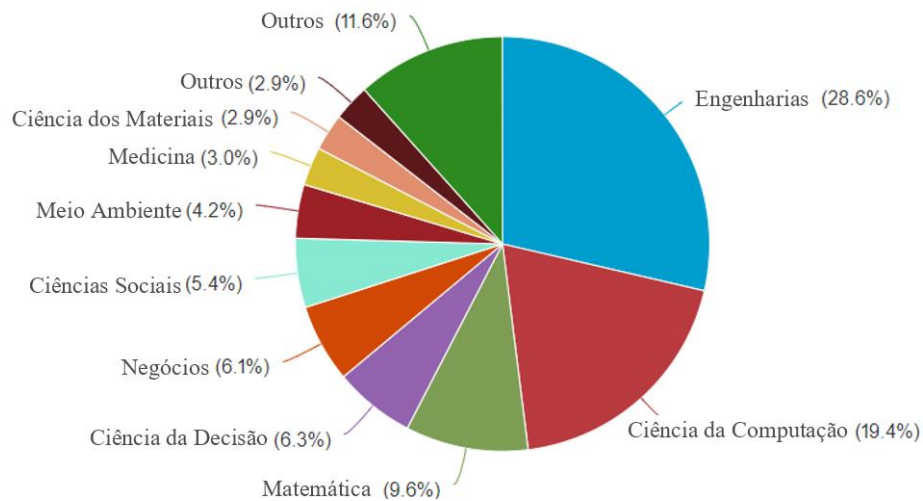


Fonte: SCOPUS (2021)

Ocorre um incremento das publicações no século XXI, tendo como pico de aplicações em 2020.

A figura 17 apresenta a distribuição dessas publicações por área do conhecimento.

Figura 17 – Distribuição das publicações por área

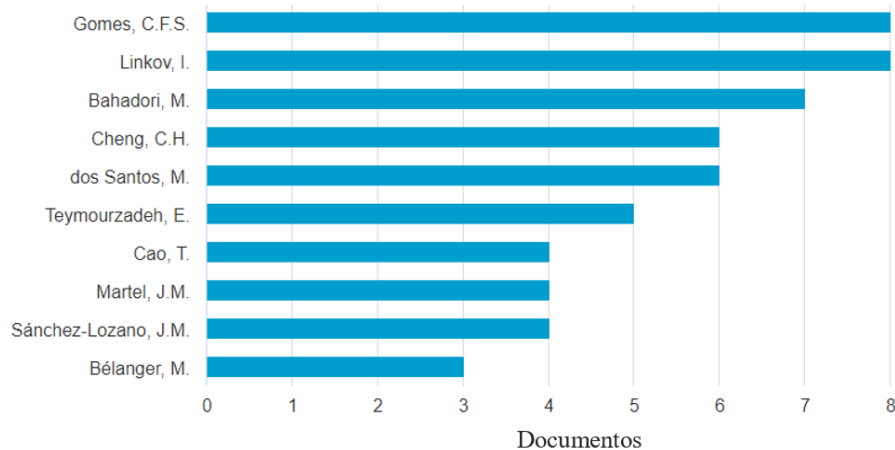


Fonte: SCOPUS (2021)

Existe uma concentração (48%) nas áreas de Engenharia e ciência da computação.

E a figura 18 apresenta a contribuição dos principais autores relacionados.

Figura 18 – Autores relacionados com a área pesquisada



Fonte: SCOPUS (2021)

Considerando que os dois pesquisadores que mais publicaram têm oito publicações, pode-se aventar que a pesquisa está distribuída em vários pesquisadores.

#### 4.2 AS ATRIBUIÇÕES CONSTITUCIONAIS DA MARINHA DO BRASIL NA POLÍTICA NACIONAL DE DEFESA

De acordo com dados da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, o litoral do País representa uma das principais fontes de riquezas, contribuindo para transações comerciais na ordem de R\$ 2 trilhões por ano, o equivalente a 19% do Produto Interno Bruto (PIB). Nesse contexto estão inseridas, a produção de petróleo e de gás natural, o transporte marítimo, a indústria naval, o turismo, a pesca, etc (MARINHA DO BRASIL, 2021). Extremamente estratégico, ressalta-se que aproximadamente 93% das reservas totais de petróleo e 75% das reservas totais de gás natural brasileiro, estão localizadas no mar, por onde também se faz mais de 95% do escoamento do comércio exterior brasileiro (MARINHA DO BRASIL, 2017).

De acordo com a Política Nacional de Defesa (PND) e com a Estratégia Nacional de Defesa (END), o Brasil tem um papel de destaque no cenário mundial, estando entre as maiores economias do planeta. Constitui-se como o quinto maior país em extensão territorial e, devido a grandiosidade de recursos minerais, elevado potencial hídrico e a valiosa biodiversidade existente, torna-se necessária a efetiva presença do Estado, visando à sua defesa e a sua integração com as demais regiões do país, contribuindo para o desenvolvimento nacional

(MINISTÉRIO DA DEFESA, 2020). Apesar de historicamente o Brasil privilegiar a paz e priorizar o uso do diálogo como ferramenta para as negociações e resolução de conflitos, é primordial que o país dedique contínua atenção à sua defesa. O atual panorama geopolítico mundial, com a constante presença de instabilidade nos relacionamentos entre os países, e a emergência de novas ameaças no cenário internacional, demonstra que as relações internacionais são instáveis e por vezes, podem decorrer desdobramentos imprevisíveis. Assim sendo, o adequado preparo do sistema de defesa deve ser tido como prioridade do Estado, a fim de assegurar um pacífico desenvolvimento do país (MARINHA DO BRASIL, 2019).

Dentre os principais objetivos nacionais de defesa, podemos destacar: a garantia da soberania nacional; assegurar a capacidade de defesa para o cumprimento das missões constitucionais das forças armadas; preservar a coesão e a unidade nacionais, salvaguardar as pessoas, os bens e os interesses nacionais, dentre outros (MAÊDA *et al.*, 2021a). Nesse contexto, é imprescindível que o país conte com meios e ferramentas eficazes e eficientes, que lhe possibilite adequado poder de dissuasão, tornando-o apto a exercer com plenitude a sua soberania (COSTA; MAÊDA; TEIXEIRA; *et al.* 2020) . Ainda de acordo com a PND, os países que investem em inovação e que produzem tecnologias, atuam elevando suas capacidades de contramedidas aos agentes adversos, refletindo em maior proteção e bem-estar da população (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2020).

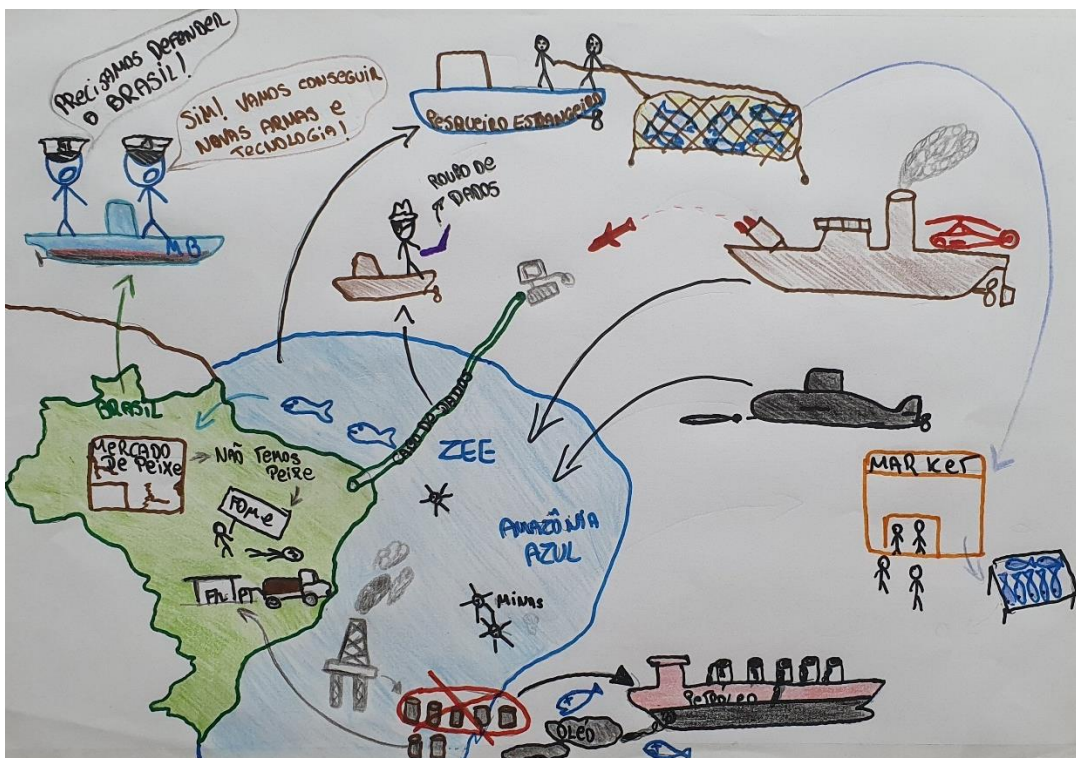
Neste sentido, a MB possui como dever constitucional, contribuir para a defesa da Pátria, garantia dos poderes constitucionais e por iniciativa de qualquer um destes, da lei e da ordem, atuando na segurança e na defesa da Amazônia Azul (território marítimo brasileiro de aproximadamente de 5,7 milhões de km<sup>2</sup> referentes à soma da Zona Econômica Exclusiva (ZEE), com a Plataforma Continental (PC) do Brasil (MARINHA DO BRASIL, 2017). A vigilância de extensas áreas do território brasileiro é um desafio operacional e tecnológico para a Forças Armadas, onde a incerteza inicial sobre o localização de ameaças adversas, pode vir a comprometer o sucesso da missão (COSTA; ZAWADZKI; *et al.*, 2021).

Para assegurar a tarefa de negação do uso do mar pelo inimigo, o Brasil deve contar com Força Naval composta de meios aéreos, de superfície e submarinos. De acordo com a PND e com a END, a MB deve direcionar esforços para que o Brasil ganhe mais autonomia nas tecnologias inerentes à operação de submarinos e de seus sistemas de armas, atuando em rede com as outras forças, terrestres e aéreas. A MB deverá buscar o domínio das tecnologias de operação de sistemas remotamente operados e/ou autônomos para emprego naval (aéreos, de superfície e submarinos) (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2020).

Os dados econômicos apresentados, demonstram parte do nível de risco ao qual as atividades econômicas brasileiras, ligadas diretamente com a utilização do mar, estão expostas em caso da ocorrência de um ameaça adversa que atinja de maneira direta ou indireta esse setor. O simples rumor de ameaça submarina por meios passivos como a minagem, ou por submarinos inimigos, poderia levar a desastrosos impactos econômicos, tais como: o desabastecimento de gêneros alimentícios, impossibilidade de escoamento de produção, bem como crises energéticas por falta de hidrocarbonetos e demais derivados beneficiados do petróleo. O poder de dissuasão imposto por uma possível ameaça submarina, possui impacto direto no tempo de resposta das forças navais frente à uma ofensiva inimiga, reduzindo consideravelmente sua capacidade combativa imediata.

A Figura 19 ilustra a problemática em questão por meio da elaboração de uma figura rica. Um mapeamento da situação problemática por meio de representações gráficas livres, facilita a observação das relações e conflitos existentes, auxiliando em uma melhor compreensão do problema, bem como, encorajando os envolvidos na formação de idéias (BELLINI *et al.*, 2004).

Figura 19 – Figura rica intitulada: “Desafios operacionais da Marinha do Brasil”



Fonte: Autor (2021)

### 4.3 OS VEÍCULOS AUTÔNOMOS SUBMARINOS (AUV)

Jain *et al.* (2015), define AUV como um veículo subaquático não tripulado, sem comunicação física com o operador, possuidor de autopropulsão, computador de bordo, atuadores, sensores e inteligência incorporada suficiente para completar com sucesso suas tarefas com pouca ou nenhuma intervenção humana. São capazes de executar manobras nas três dimensões e executar com precisão as trajetórias pré-programadas, coletando informações variadas e de alta qualidade à respeito do meio em que viajam (CHRYSSOSTOMIDIS; SCHMIDT, 2006).

Nyaas *et al.* (2012), define AUV como um submersível autopropelido cuja operação é totalmente autônoma (controle de missão adaptável pré-programado ou em tempo real) ou sob controle mínimo de supervisão.

Um AUV pode ser considerado como uma plataforma, sendo possível equipá-lo com grande diversidade de sensores e de sistemas de detecção, que o permite navegar de forma autônoma e cumprir as operações de interesse. Sensores tipicamente encontrados incluem: bússolas, sensores de profundidade, de varredura lateral e outros sonares, magnetômetros, termistores e sondas de condutividade (JAIN *et al.*, 2015).

Os AUV's são utilizados em diversas áreas, tais como em operações militares, de pesquisas e para fins comerciais. No campo militar, os AUV também são conhecidos como veículos submarinos não tripulados, ou UUVs (*Unmanned Underwater Vehicles*) (SOUSA, 2019); (SAHU; SUBUDHI, 2014).

#### 4.3.1 Classificação dos AUV's

De acordo com a *North Atlantic Treaty Organization* (NATO), os AUVs podem ser classificados em quatro classes: portátil pelo homem, veículo de baixo peso (LWV, do inglês *light weight vehicle*); veículo de elevado peso (HWV, do inglês *heavy weight vehicle*) e veículos de classe grande (LVC, do inglês *large vehicle class*) (NYAAS *et al.*, 2012).

Veículo de classe portátil - podem ser definidos como os AUVs de 11kg a 45kg de deslocamento, sem uma geometria estrutural definida (NYAAS *et al.*, 2012).. Esta classe é muito útil em espaços de águas rasas e confinadas.

Veículo de baixo peso (LWV) - engloba AUVs de diâmetro nominal aproximado de 32 cm e desloca cerca de 230 quilos (NYAAS *et al.*, 2012). A carga útil aumenta de 6 a 12 vezes em relação à classe portátil e a resistência é dobrada.

Veículo de elevado peso (HWV) - engloba AUVs de diâmetro nominal aproximado de 55 cm de diâmetro e desloca cerca de 1360 quilos (NYAAS *et al.*, 2012). Esta classe inclui veículos compatíveis com submarinos.

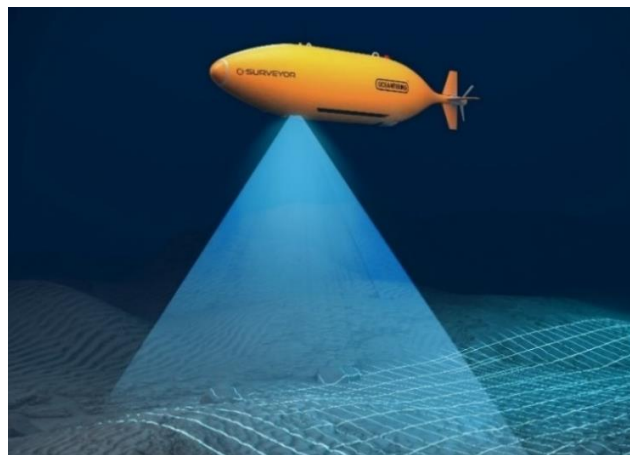
Veículos de classe grande (LVC): Classe de AUVs que apresentam um deslocamento aproximado de 10 toneladas (NYAAS *et al.*, 2012).

#### 4.3.2 Aplicações dos AUV's

Carvalho (2016), defende que a relevância da utilização dos AUV atualmente nos mais diversos empregos militares e não militares é incontestável, e que a possibilidade de serem utilizados para uma infinidade de tarefas em áreas inóspitas e perigosas, mitigando riscos à vida humana, atribui a esses veículos uma importância de valor inestimável.

Nos últimos anos, com o desenvolvimento de novas tecnologias, elevando a sua autonomia e com a possibilidade de incorporação de uma maior complexidade de sensores, consequentemente, otimizando a sua capacidade operacional nas operações navais, diversos países têm voltado seus esforços no desenvolvimento desta, que se apresenta como uma das novas armas no ambiente submarino (O'DONOHUE, 2021) (GREENLAW, 2013). A figura 20, ilustra um AUV em ação de mapeamento do relevo oceânico.

Figura 20 – AUV em ação de mapeamento do leito marinho

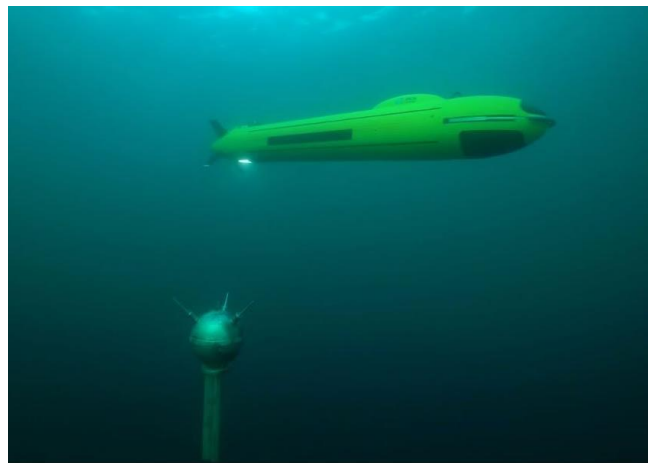


Fonte: Oceaneering (2021)

De acordo com Jain *et al.* (2015), dentre as missões tipicamente militares desempenhadas pelos AUVs, podemos citar: as operações de contramedidas de minagem (CMM), operações de busca e resgate, reconhecimento (ISR), vigilância, proteção costeira e de

portos. Os AUVs também são empregados na guerra antissubmarina, auxiliando na detecção de submarinos tripulados. A possibilidade de operar de forma autônoma em ambientes hostis, como águas de território inimigo, áreas contaminadas ou águas profundas, tornam o uso dos AUVs muito interessante para os segmentos militar, científico e industrial (SOUSA, 2019). A figura 21, ilustra um AUV da classe LWV, em missão de contramedida de minagem.

Figura 21 – AUV em operação de esclarecimento



Fonte: Group (2021)

Os AUVs têm sido utilizados com sucesso em diversas operações militares e de resgate. Uma das primeiras operações militares com uso dos AUVs, foi demonstrada durante a operação *Iraqi Freedom* em 2003, onde o AUV REMUS 100, fabricado pela empresa Kongsberg, foi utilizado para conduzir operações secretas nas proximidades dos portos marítimos iraquianos de Umm Qasr, Az Zubayr e Karbala, mapeando com sucesso, cerca de dois milhões e meio de metros quadrados de vias navegáveis interiores, permitindo assim, que três portos fossem selecionados para receber remessas humanitárias (CLEGG; PETERSON, 2003). A figura 22 apresenta um dos AUVs utilizados na missão.



Figura 22 – AUV REMUS a missão durante a operação *Iraqi Freedom*



Fonte: Clegg; Peterson (2003)

Montanari *et al.* (2006) realizaram um estudo da aplicação de AUV's na detecção de objetos com configuração semelhante a minas enterradas no leito marinho. Para tanto, foram efetuadas simulações computacionais e experimentos em mar aberto a fim de validar os dados obtidos. O sistema de busca do AUV foi dividido em duas fases distintas. Inicialmente, após a detecção do objeto de interesse por meio de rastreamento utilizando baixa energia de emissão, o mecanismo é alterado para um processo de classificação de ordem espectral mais elevada. Esta forma de busca possibilitou tanto otimizar o uso da energia do AUV, quanto para reduzir as taxas de falsos alarmes na detecção de minas. A figura 23 apresenta como exemplo um AUV engajado na busca de objetos com configuração de minas subaquáticas.

Figura 23 – Exemplo de AUV engajado na busca de ameaças subaquáticas no leito marinho



Fonte: Yonhap (2020)

A Coréia do Sul está desenvolvendo em conjunto com a empresa LIG Nex1 Co., um AUV para aplicação em operações de contramedidas de minagem, capaz de pesquisar objetos suspeitos de forma autônoma em águas a algumas centenas de metros abaixo da superfície com autonomia aproximada de 20 horas com uso contínuo. Atualmente para esta função, os militares coreanos utilizam sistemas de detecção em embarcações tripuladas para encontrar as minas. De acordo com a agência de defesa coreana, o novo detector de minas a ser desenvolvido até 2023, deverá reduzir consideravelmente o tempo gasto nas operações de localização de explosivos nas águas, bem como minimizar os riscos dos militares envolvidos na tarefa. Ele também poderá ser aplicado para monitorar a possível infiltração de inimigos e prestar apoio em operações de resgate e salvamento (YONHAP, 2020).

Em virtude do acidente ocorrido com o Boeing 777 durante o voo 370 da Malaysia Airlines, equipes de resgate utilizaram o AUV Bluefin-21, produzido pela empresa General Dynamics para auxiliar na missão de resgate, após serem observados possíveis sinais de emissão acústica da caixa preta da aeronave. O AUV foi aplicado a uma profundidade aproximada de 5.000m, realizando o mapeamento de 860 km<sup>2</sup> de leito submarino. Após 70 dias de buscas, com coleta de dados de alta qualidade, concluiu-se que não haviam destroços da aeronave na área de buscas (LE HARDY; MOORE, 2015). A figura 24 apresenta o AUV utilizado na missão. A aplicação dos AUV's permitiram tanto otimizar o tempo, quanto os custos operacionais envolvidos nas buscas.

Figura 24 – AUV Bluefin-21 durante missão de resgate do Boeing 777



Fonte: Le Hardy; Moore (2015)

O AUV REMUS 6000 fabricado pela empresa Kongsberg, foi utilizado para conduzir operações de resgate aos destroços do Airbus A330, sinistrado durante o do voo 447 da Air France em 1º de junho de 2009. A equipe de busca, liderada pelo Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), empregou dois AUV REMUS 6000 na missão (Figura 25).

Figura 25 – AUV REMUS 6000



Fonte: KONGSBERG (2011)

Com capacidade de operação autônoma em até 6.000 metros de profundidade, esses AUV's podem permanecer abaixo da superfície por até 20 horas. Equipados com sonar de varredura lateral de dupla frequência e câmeras digitais, os pesquisadores descobriram e grandes pedaços de entulho, incluindo partes das asas da aeronave, motor, trem de pouso e fuselagem (KONGSBERG, 2011). Esta foi a quarta missão de busca desde o acidente de 2009. A figura 26, apresenta uma foto dos destroços da turbina da aeronave.

Figura 26 – Destroços da turbina do Airbus A330



Fonte: KONGSBERG (2011)

#### 4.4 OPERAÇÕES DE CONTRAMEDIDA DE MINAGEM (CMM)

Entende-se por CMM, todas as ações empregadas a fim de prevenir e/ou reduzir o dano causado pelas minas navais. Em resumo, essas ações compreendem basicamente cinco etapas: detecção, classificação, identificação, localização e neutralização (DEPARTMENT OF DEFENSE, U. S. NAVY, 2017). Carvalho (2016), aborda que essas operações podem ser divididas em duas grandes categorias: a caça e a varredura de minas.

A caça de minas compreende as ações realizadas, a fim de prover com elevado grau de certeza, que uma determinada área de interesse está livre de minas, reduzindo significativamente a probabilidade de um navio ser atingido (CARVALHO, 2016). Já a etapa de varredura, em resumo, consiste na utilização de mecanismos mecânicos, utilizados para liberar ou causar danos físicos à mina, e nos mecanismos de influência, tais como assinaturas magnéticas, elétricas, acústicas, ou de pressão, a fim de causar a sua detonação (DEPARTMENT OF DEFENSE, U. S. NAVY, 2017).

As minas marítimas são consideradas ameaças de baixo custo e de elevado potencial destrutivo para as forças navais. A fim de mitigar os impactos e riscos associados ao uso das minas marítimas nas operações navais, as marinhas mais avançadas do mundo, como dos EUA, do Reino Unido, França e Austrália, vêm gradualmente, aumentando seus investimentos no desenvolvimento de novas tecnologias com o uso de veículos autônomos (Global Data, 2021).

De acordo com VOGT (2019), nas últimas duas décadas evidenciou-se uma acentuada evolução da tecnologia dos AUV, assim como, uma crescente aplicação desses equipamentos nas operações militares, como por exemplo, na varredura de minas, evitando expor os navios e tripulações aos perigos em uma área supostamente minada.

#### 4.5 AVALIAÇÃO ESTRATÉGICA DA AQUISIÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS SUBMARINOS (AUV) PELA MARINHA DO BRASIL, PARA IMPLEMENTAÇÃO EM SUAS OPERAÇÕES DE CONTRAMEDIDAS DE MINAGEM (CMM).

De acordo com Brasil (2020), nas operações de CMM, empregam-se os navios denominados “varredores”. Esse tipo de navio é “responsável pelas ações destinadas a manter livres da ameaça de minas, as linhas do tráfego marítimo ao longo do nosso litoral, as áreas marítimas adjacentes aos portos, terminais, bem como as possíveis áreas de operações de nossas Forças Navais”.

O Comando da Força de Minagem e Varredura (ComForMinVar), principal Organização Militar (OM) da Marinha do Brasil no âmbito de Guerra de Minas, situado em Salvador-BA, e criado pelo Aviso Ministerial nº 0818 de 12 de maio de 1961, tem como missão: “realizar operações navais de Contramedidas de Minagem (CMM), a fim de contribuir para o cumprimento das tarefas básicas do Poder Naval”, constitui a atual Força de Minagem e Varredura, e conta apenas com três navios “varredores”, são eles: M-15 – “Aratu”, M-17 – “Atalaia” e M-18 – “Araçatuba”, todos de origem alemã e construídos na década de 70. A figura 27 apresenta o Navio M-15 – “Aratu”, que dá nome à classe.

Figura 27 – Navio varredor classe “Aratu”



Fonte: Brasil (2020).

Entre os anos de 2001 e 2007, esses meios passaram por processo de modernização, das chaves do Sistema de Proteção Magnética (SPM), do Radar de Busca de Superfície, instalação de DGPS e Ecobatímetro, além da substituição da supervisão dos MCP por sistema digital, dos compressores de ar condicionado, dos MCA como também dos equipamentos do Sistema de Varredura por unidades modernas desenvolvidas pelo Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM) (ComForMinVar, 2013).

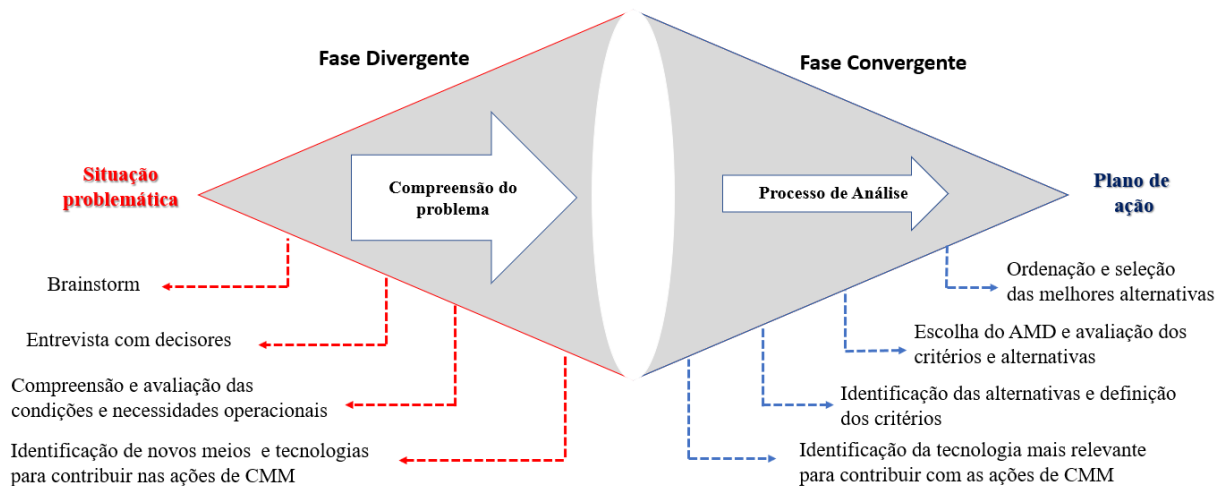
Apesar dos constantes esforços desempenhados pela Marinha do Brasil em manter os meios no melhor padrão operativo possível, faz-se necessário observar que o número de meios disponíveis é insuficiente para garantir a proteção das áreas de interesse marítimas ao longo de todo o litoral brasileiro, bem como, apesar do processo de modernização efetuado, a rápida evolução nas últimas duas décadas de tecnologias em veículos submarinos tripulados, e não tripulados, direciona a uma necessidade de rápida adoção de meios modernos capazes de

contribuir de forma eficiente e eficaz para o cumprimento da missão constitucional da Marinha do Brasil. Neste sentido, a utilização de AUV's, poderia de forma satisfatória e a custo relativamente baixo, proporcionar maior amplitude de atuação e capacidade de resposta para o ComForMinVar, sendo utilizados principalmente nas etapas de detecção e classificação de alvos de interesse, fornecendo informações primordiais e de elevado grau de precisão, para que a tomada de decisão sobre a utilização de recursos mais dispendiosos fosse otimizada, reduzindo assim os custos e mitigando o risco da exposição dos meios materiais e recursos humanos nas operações dessa natureza (CARVALHO, 2016).

#### 4.5.1 Compreensão do problema

A problemática em questão foi dividida em duas fases distintas: Divergente e Convergente. A figura 27 mostra, de forma simplificada, a divisão do escopo situacional.

Figura 28 – Divisão do escopo situacional



Fonte: Adaptado de Franco; Montibeller (2011)

Na fase divergente, foram realizadas entrevistas e brainstorms com os decisores do processo, com isso, foi possível compreender melhor sobre a condição atual, as capacidades e necessidades operacionais do ComForMinVar. Também foram observadas as tecnologias utilizadas atualmente pelas marinhas mais desenvolvidas do mundo em suas operações de CMM. A partir da entrada dessas novas informações, foram identificadas grandes possibilidades de contribuição com o uso de AUV's nas operações de CMM da MB.

Na fase convergente, aplicando-se os conhecimentos adquiridos, foram definidos dez critérios de avaliação e selecionado um conjunto composto por dez AUV's disponíveis no

mercado, passíveis de atender aos anseios dos decisores. Após, esses decisores foram convidados a realizar a avaliação da importância relativa dos critérios, bem como do desempenho das alternativas à luz desses elementos, mediante a aplicação da ferramenta SAPEVO-M-NC *Web*.

#### 4.5.2 Definição das alternativas

As dez alternativas pré-selecionadas são apresentadas abaixo. Para maiores informações, o anexo A apresenta as folhas de dados dos AUV's em questão.

A<sub>1</sub>: IVER4 9000 – Fabricado pela empresa L3Harris, o Iver4 900 possui autonomia aproximada de 20 horas em uso contínuo a uma velocidade de 3 nós (5,5 km/h), ou até 80 quilômetros de alcance, podendo alcançar a velocidade máxima de 5 nós (9,26 km/h) e uma profundidade de operação de 300 metros, apresentando aplicações nas áreas comerciais e de defesa, como: contramedidas de minagem (CCM), guerra anti-submarina (ASW), reconhecimento e inteligência (ISR) (L3HARRIS, 2021). A figura 29 ilustra o AUV em questão:

Figura 29 – IVER4 9000



Fonte: L3HARRIS (2021)

A<sub>2</sub>: Bluefin 9 – Fabricado pela empresa Bluefin Robotics, o Bluefin 9 possui autonomia aproximada de 8 horas em uso contínuo a uma velocidade de 3 nós, podendo alcançar a máxima de 6 nós e uma profundidade de operação máxima de 200 metros, apresentando aplicações acadêmicas e de defesa, tais como: CCM, Busca e Resgate (SAR), ISR, segurança de portos, monitoramento ambiental rápido (REA), pesquisa ambiental autônoma, além de avaliação da qualidade da água do meio (BLUEFIN ROBOTICS, 2021). A figura 30 ilustra o AUV em questão:

Figura 30 – Bluefin 9



Fonte: Bluefin Robotics (2021a)

A<sub>3</sub>: Bluefin 12 – Fabricado pela empresa Bluefin Robotics, o Bluefin 12 possui maior precisão de navegação, massa e maiores dimensões, em relação ao Bluefin 9, autonomia aproximada de 24 horas em uso contínuo a uma velocidade de 3 nós, podendo alcançar a máxima de 6 nós e uma profundidade de operação máxima de 200 metros, apresentando possibilidades para as aplicações comerciais e acadêmicas, tais como: pesquisa da geologia, oceanografia física, arqueologia marinha, além de avaliação da qualidade da água do meio, além de poder ser utilizado na área de defesa, nas ações de: REA, CCM, ASW, ISR (BLUEFIN ROBOTICS, 2021b). A figura 31 ilustra o AUV em questão:

Figura 31 – Bluefin 12



Fonte: Bluefin Robotics (2021b)

A<sub>4</sub>: Bluefin 21 – Fabricado pela empresa Bluefin Robotics, o Bluefin 21 possui elevada precisão de navegação, maiores dimensões e massa, em relação ao Bluefin 9 e autonomia aproximada de 25 horas em uso contínuo a uma velocidade de 3 nós, podendo alcançar a máxima de 4,5 nós e uma profundidade de operação máxima de 4500 metros, apresentando aplicações de defesa como: CCM, descarte de artilharia explosiva (EOD), ASW, ISR, REA, além de aplicações comerciais e acadêmicas, como: pesquisa da geologia e arqueologia marinha, além de avaliação da qualidade da água do meio (BLUEFIN ROBOTICS, 2021c). A figura 32 ilustra o AUV em questão:



Figura 32 – Bluefin 21



Fonte: Bluefin Robotics (2021c)

A<sub>5</sub>: A9-M – Fabricado pela empresa ECA Group, o A9-M possui autonomia aproximada de 20 horas em uso contínuo a uma velocidade de 3 nós, podendo alcançar a máxima de 5 nós e uma profundidade de operação máxima de 300 metros. Trata-se de um AUV com aplicações dedicadas para a área de defesa, tais como CCM, ISR, REA, vigilância portuária e costeira (ECA GROUP, 2021a). A figura 33 ilustra o AUV em questão:

Figura 33 – A9-M



Fonte: ECA GROUP (2021a)

A<sub>6</sub>: A18-M – Fabricado pela empresa ECA Group, o A18-M de maiores dimensões e massa em relação ao A9-M, possibilitando maior aporte de sensores. Possui autonomia aproximada de 24 horas em uso contínuo a uma velocidade de 3 nós, podendo alcançar a máxima de 6 nós e uma profundidade de operação máxima de 300 metros. Trata-se de um AUV com aplicações dedicadas para as áreas de defesa, tais como CCM, ISR, REA, vigilância portuária e costeira (ECA GROUP, 2021b). A figura 34 ilustra o AUV em questão:

Figura 34 – A18-M



Fonte: ECA GROUP (2021b)

A<sub>7</sub>: LAUV – Fabricado pela empresa OceanScan, o LAUV possui autonomia aproximada de 8 horas em uso contínuo a uma velocidade de 3 nós (podendo chegar a 48 horas a

velocidade de 2 nós). Alcança a velocidade máxima de 5 nós e uma profundidade de operação máxima de 100 metros. Possui apenas 35kg de massa e dimensões reduzidas, facilitando a logística operacional no lançamento e recolhimento. Pode ser utilizado em aplicações comerciais, acadêmicas, mas possui foco na área de defesa, principalmente nas ações de CCM. Dentre as possibilidades de controle na superfície, possibilita instalação de aplicativo em smartphone, transformando em um controle remoto. (OCEANSCAN, 2021). A figura 35 ilustra o AUV em questão:

Figura 35 – LAUV



Fonte: OCEANSCAN (2021)

A<sub>8</sub>: GAVIA – Fabricado pela empresa Teledyne Marine, o GAVIA possui autonomia aproximada de 7 a 8 horas em uso contínuo a uma velocidade de 3 nós. Pode alcançar a velocidade máxima de 5,5 nós e profundidade de operação máxima de 1000 metros, apresentando aplicações diversas como: CCM, ASW, ISR, REA, com grandes possibilidades nas áreas comerciais e de pesquisa (TELEDYNE MARINE, 2021). A figura 36 ilustra o AUV em questão:

Figura 36 – GAVIA



Fonte: TELEDYNE MARINE (2021)

A<sub>9</sub>: REMUS 100M – Fabricado pela empresa Huntington Ingalls Industries, o REMUS 100M possui autonomia aproximada de 10 horas em uso contínuo a uma velocidade de 2 nós, podendo alcançar a máxima de 5 nós e uma profundidade de operação máxima de 100 metros. Possui apenas 36kg de massa e dimensões reduzidas, facilitando a logística operacional de lançamento e recolhimento. Trata-se de um AUV com foco na área de

defesa (CCM, ASW, ISR), mas também, pode ser aplicado em ações de cunho científico, como REA, geologia e arqueologia marinha (HUNTINGTON INGALLS INDUSTRIES, 2021a). A figura 37 ilustra o AUV em questão:

Figura 37 – REMUS 100M



Fonte: Huntington Ingalls Industries (2021a)

A<sub>10</sub>: REMUS 300M – Fabricado pela empresa Huntington Ingalls Industries, o REMUS 300M de maiores dimensões e massa em relação ao REMUS 100M, possibilitando maior aporte de sensores, possui autonomia aproximada de 30 horas em uso contínuo a uma velocidade de 2 nós, podendo alcançar a máxima de 5 nós e uma profundidade de operação máxima de 300 metros e raio de atuação aproximado de 165 km. Trata-se de um AUV com foco na área de defesa (CCM, ASW, ISR), mas também, pode ser aplicado em ações de cunho comercial e científico, como na inspeção de linhas da indústria de óleo e gás, REA, geologia e arqueologia marinha (HUNTINGTON INGALLS INDUSTRIES, 2021b). A figura 38 ilustra o AUV em questão:

Figura 38 – REMUS 300M



Fonte: Huntington Ingalls Industries (2021b)

#### 4.5.3 Definição dos critérios de avaliação

Mediante entrevistas realizadas com militares do estudo, foi possível identificar os principais atributos que devem ser considerados na aquisição dos AUV's de forma a otimizar as características atinentes à maior eficiência e efetividade no cumprimento das missões relacionadas às CMM. São eles:

**C<sub>1</sub> - Autonomia:** Atributo monotônico de lucro, relacionado com o tempo de operação do AUV a uma determinada velocidade, bem como, com a capacidade de incorporação de uma maior complexidade de sensores, o que exige uma maior reserva energética, sendo apresentado em horas pela velocidade operativa (h @ nós).

**C<sub>2</sub> -Dimensões:** Atributo monotônico de custo, que considera o comprimento e diâmetro total do AUV. Está diretamente relacionado com as facilidades logísticas atinentes ao acondicionamento, lançamento e recolhimento do equipamento durante as operações, bem como nas ações de manutenção, sendo apresentado em milímetros (mm).

**C<sub>3</sub> -Velocidade máxima:** Atributo monotônico de lucro, relacionado com a maior velocidade possível de atuação do AUV, sendo extremamente relevante principalmente nas operações onde se necessita de um menor tempo de resposta em face à uma possível ameaça. Este atributo é apresentado na unidade de nós (milha náutica por hora).

**C<sub>4</sub> -Velocidade nominal:** Atributo monotônico de lucro, diretamente relacionado com tempo da operação, priorizando a autonomia do AUV. Este atributo é apresentado na unidade de nós (milha náutica por hora).

**C<sub>5</sub> -Massa Total:** Atributo monotônico de custo, diretamente relacionado com as facilidades logísticas atinentes ao lançamento e recolhimento do equipamento durante as operações, bem como para a execução de manutenção e/ou reparos. Este atributo é apresentado na unidade de quilogramas (kg).

**C<sub>6</sub> -Profundidade máxima:** Atributo monotônico de lucro, diretamente relacionado com uma maior eficiência operacional, ampliando a área de atuação do AUV. Este atributo é apresentado na unidade de metros (m).

**C<sub>7</sub> -Capacidades operacionais:** Atributo monotônico de lucro, diretamente relacionado com uma maior eficiência operacional do AUV. Além das capacidades de atuação dos AUV's na área de defesa, como nas operações de Contramedidas de minagem (CMM); Busca e resgate (SAR); Guerra antissubmarina (ASW); Inteligência, vigilância e reconhecimento (ISR, visa o seu possível emprego em outras áreas, como em operações de pesquisa, avaliação ambiental; geologia e arqueologia marinha.

**C<sub>8</sub> -Sistemas de aquisição de dados:** Atributo monotônico de lucro, diretamente relacionado com uma maior eficiência operacional do AUV. Busca-se neste atributo, elevar a variedade e o nível tecnológico dos sensores de coleta embarcados, a fim de possibilitar a maior qualidade dos dados obtidos.

**C<sub>9</sub> -Sistemas de Comunicação e Segurança:** Atributo monotônico de lucro, diretamente relacionado com a proteção do equipamento e facilidade de sua recuperação pela equipe operacional, em caso de choques mecânicos, baixa energia disponível, ocorrência de falhas, entre outras. Busca-se neste atributo, elevar a variedade e o nível tecnológico dos sensores embarcados.

**C<sub>10</sub> -Sistemas de Navegação:** Atributo monotônico de lucro, diretamente relacionado com a precisão de operação do AUV durante sua operação, impactando diretamente em sua eficiência operacional e segurança. Busca-se neste atributo, elevar a variedade e o nível tecnológico dos sensores embarcados.

O atributo relacionado ao custo de aquisição dos AUV's não foi avaliado, considerando que a MB irá dispor de recursos necessários para custear as aquisições, e que o principal objetivo do estudo é avaliar os AUV's quanto às características operacionais que possibilitem um maior retorno relacionado com os objetivos identificados.

#### **4.5.4 Aplicação do SAPEVO-M-NC**

Nesta etapa os avaliadores foram convidados a realizar a avaliação das alternativas apresentadas, à luz dos critérios considerados. Para tanto, a ferramenta computacional SAPEVO-M-NC *Web* desenvolvida, foi utilizada a fim de apoiar o processo decisório, visando obter ao final da avaliação, a ordenação das alternativas, bem como a importância relativa dos critérios, segundo as preferências dos avaliadores.

A tabela 38 apresenta em resumo os dados técnicos e operacionais dos AUV's avaliados. As folhas de dados com as informações mais completas estão disponíveis no apêndice A.

Tabela 38 – Dados técnicos e operacionais dos AUV's

	Iver4900	Bluefin-9	Bluefin-12	Bluefin-21	A9-M	A18-M	LAUV	GAVIA	REMUS 100M	REMUS 300M
Autonomia	20h @ 3 nós	8h @ 3 nós	24h @ 3 nós	25h @ 3 nós	20h @ 3 nós	24h @ 3 nós	8h @ 3 nós 40h @ 2 nós	7 a 8h @ 3 nós	10h @ 2 nós	30h @ 2 nós
Comprimento	2500 mm	2480 mm	4830 mm	4930 mm	2000 mm	4500 mm	2300 mm	4500 mm	1700 mm	2500 mm
Diâmetro	229 mm	260 mm	320 mm	530 mm	230 mm	465 mm	150 mm	200 mm	190 mm	207 mm
Velocidade Máxima	5 nós	6 nós	6 nós	4,5 nós	5 nós	6 nós	5 nós	5,5 nós	5 nós	5 nós
Velocidade Nominal	3 nós	3 nós	3 nós	3 nós	3 nós	3 nós	3 nós	3 nós	2 nós	2 nós
Massa Total	136 kg	70 kg	250 kg	750 kg	70 kg	442 kg	35 kg	130 kg	36 kg	68 kg
Profundidade Máxima	300 m	200 m	200 m	4500 m	300 m	300 m	100 m	1000 m	100 m	300 m
Capacidades Operacionais	CCM; ISR; ASW e comercial	CCM; SAR; ASW; REA, EOD, Comercial e Pesquisa	CCM; SAR; ASW; REA, EOD, Industrial e Pesquisa	CCM; SAR; ASW; REA, EOD, UXO, Industrial e Pesquisa	CCM; SAR; ASW; REA	CCM; SAR; ASW; REA	CCM; SAR; ISR Industrial e Pesquisa	CCM; SAR; ASW; Industrial e Pesquisa	CCM; SAR; ISR REA e Pesquisa	CCM; SAR; ISR, ASW, REA, Industrial e Pesquisa
Sistemas de Coleta de Dados	Sonar multifeixe de abertura lateral, AML	Sonar multifeixe de abertura lateral, câmera, AML, Sensores de turbidez, de temperatura	Sonar multifeixe de abertura lateral, câmera, AML, Sensores de turbidez, de temperatura	Sonar multifeixe de abertura lateral, perfilador de subfundo, MBES, câmera, AML, Sensores de turbidez, de temperatura	Sonar multifeixe de abertura lateral, câmera	Sonar multifeixe de abertura lateral, MBES, câmera, AML, Sensores de turbidez, de temperatura	Sonar multifeixe de abertura lateral, câmera, sensores de turbidez, condutividade, magnetômetro, sistema de imagem holográfica	Sonar multifeixe de abertura lateral, MBES, câmera, turbidez, condutividade	Sonar multifeixe de abertura lateral, MBES, câmera, Sensores de condutividade, temperatura	Sonar multifeixe de abertura lateral, MBES, câmera, Sensores de condutividade, temperatura
Sistemas de Comunicação	Wi-Fi, Iridium e Acústica	Ethernet, Wi-Fi, Iridium e Acústico,	Ethernet, Wi-Fi, Iridium e Acústico,	RF, Wi-Fi, Iridium, Acústico, Ethernet,	UHF, Wi-Fi, Iridium Acústico	UHF, Wi-Fi, Iridium, Acústico	Wi-Fi, GSM, Iridium e Acústico	RF, Wi-Fi, Iridium e Acústico	Wi-Fi, Iridium e Acústico	Wi-Fi, Iridium e Acústico
Sistemas de Segurança	Iridium Watchdog	Deteção de falha de aterramento, de vazamento, de Operações de Emergência	Deteção de falha de aterramento, e de vazamento, de Operações de Emergência	Deteção de falhas, vazamentos, transponder de rastreamento acústico estroboscópico, RDF	Ping de emergência Luz estroboscópica, deteção de falhas e vazamentos, de prevenção de Obstáculos, Controle Remoto Local	Ping de emergência Luz estroboscópica, deteção de falhas e vazamentos, de prevenção de Obstáculos, Controle Remoto Local	Ping de emergência Luz estroboscópica, deteção de falhas, de prevenção de Obstáculos Remoto Local	Ping de emergência Luz estroboscópica, deteção de falhas, de prevenção de Obstáculos	Ping de emergência Luz estroboscópica, deteção de falhas, de ausência de fundo, de prevenção de Obstáculos	Ping de emergência Luz estroboscópica, deteção de falhas, de ausência de fundo, de prevenção de Obstáculos
Sistemas de Navegação	GPS, DVL e INS	GPS, INS, DVL	GPS, INS, DVL	INS, DVL, SVS e GPS e USBL	GPS, INS, DVL e USBL	GPS, INS, DVL e USBL	GPS, INS, DVL, ULB, USBL	GPS, INS, DVL, ULB, USBL	GPS, INS, DVL, LBL	GPS, INS, DVL, LBL

Fonte: Autor (2021)

Conforme apresentado na seção 3, a axiomática do método inicia-se pela avaliação da importância relativa dos critérios. O anexo A apresenta o memorial de cálculo deste estudo.

#### 4.5.4.1 Avaliação dos critérios

As tabelas 39, 40 e 41 apresentam os valores relativos às avaliações ordinais realizadas pelos três decisores, DM<sub>1</sub>, DM<sub>2</sub> e DM<sub>3</sub>, respectivamente.

Tabela 39 – Avaliação dos critérios pelo DM<sub>1</sub>

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>
C <sub>1</sub>	0	0	2	1	0	2	2	-1	0	1
C <sub>2</sub>	0	0	2	1	0	2	2	-1	0	0
C <sub>3</sub>	-2	-2	0	-2	-3	0	0	-2	-1	-1
C <sub>4</sub>	-1	-1	2	0	-1	2	2	-1	0	1
C <sub>5</sub>	0	0	3	1	0	3	3	1	1	1
C <sub>6</sub>	-2	-2	0	-2	-3	0	0	-2	-2	-1
C <sub>7</sub>	-2	-2	0	-2	-3	0	0	-3	-2	-1
C <sub>8</sub>	1	1	2	1	-1	2	3	0	1	1
C <sub>9</sub>	0	0	1	0	-1	2	2	-1	0	0
C <sub>10</sub>	-1	0	1	-1	-1	1	1	-1	0	0

Fonte: Autor (2021)

Tabela 40 – Avaliação dos critérios pelo DM<sub>2</sub>

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>
C <sub>1</sub>	0	1	2	2	0	3	3	-1	0	1
C <sub>2</sub>	-1	0	2	1	0	3	3	-1	0	1
C <sub>3</sub>	-2	-2	0	0	-2	1	0	-2	-1	-1
C <sub>4</sub>	-2	-1	0	0	-2	1	1	-3	-2	0
C <sub>5</sub>	0	0	2	2	0	3	3	-1	0	0
C <sub>6</sub>	-3	-3	-1	-1	-3	0	-1	-3	-2	-2
C <sub>7</sub>	-3	-3	0	-1	-3	1	0	-3	-2	-1
C <sub>8</sub>	1	1	2	3	1	3	3	0	1	2
C <sub>9</sub>	0	0	1	2	0	2	2	-1	0	1

C <sub>10</sub>	-1	-1	1	0	0	2	1	-2	-1	0
-----------------	----	----	---	---	---	---	---	----	----	---

Fonte: Autor (2021)

Tabela 41 – Avaliação dos critérios pelo DM<sub>3</sub>

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>
C <sub>1</sub>	0	1	3	2	1	3	1	-2	-2	1
C <sub>2</sub>	-1	0	2	2	0	2	1	-2	-1	0
C <sub>3</sub>	-3	-2	0	1	-2	1	1	-2	-2	-1
C <sub>4</sub>	-2	-2	-1	0	-2	1	0	-2	-2	-1
C <sub>5</sub>	-1	0	2	2	0	3	1	-1	0	1
C <sub>6</sub>	-3	-2	-1	-1	-3	0	-1	-2	-3	-2
C <sub>7</sub>	-1	-1	-1	0	-1	1	0	-2	-2	0
C <sub>8</sub>	2	2	2	2	1	2	2	0	0	2
C <sub>9</sub>	2	1	2	2	0	3	2	0	0	2
C <sub>10</sub>	-1	0	1	1	-1	2	0	-2	-2	0

Fonte: Autor (2021)

A tabela 42, apresenta os valores finais dos pesos dos critérios.

Tabela 42 – Avaliação da importância dos critérios pelos DMs

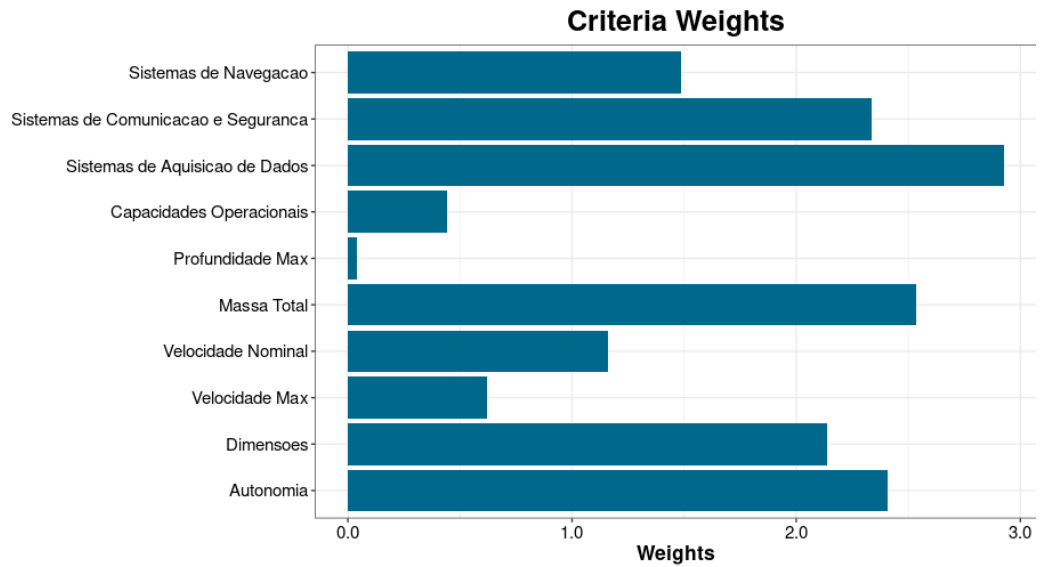
	Peso final dos critérios
C <sub>1</sub> – Autonomia	2.407
C <sub>2</sub> -Dimensões	2.136
C <sub>3</sub> -Velocidade máxima	0.622
C <sub>4</sub> -Velocidade nominal	1.161
C <sub>5</sub> -Massa Total	2.536
C <sub>6</sub> -Profundidade máxima	0.039
C <sub>7</sub> -Capacidades operacionais	0.444
C <sub>8</sub> -Sistemas de aquisição de dados	2.929
C <sub>9</sub> -Sistemas de Comunicação e Segurança	2.335
C <sub>10</sub> -Sistemas de Navegação	1.485

Fonte: Autor (2021)

A figura 39, apresenta o gráfico com as intensidades dos pesos dos critérios.



Figura 39 – Gráfico com a intensidade dos pesos dos critérios



Fonte: MAEDA *et al.* (2021)

#### 4.5.4.2 Avaliação das Alternativas

As tabelas 43, 44 e 45 apresentam os valores relativos às avaliações ordinais dos julgamentos dos três avaliadores, em relação ao desempenho das alternativas em cada critério.

Tabela 43 – Avaliação do desempenho das alternativas pelo DM<sub>1</sub>

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>
A <sub>1</sub>	2	2	2	1	3	3	4	3	4	3
A <sub>2</sub>	4	2	1	1	2	3	2	2	2	3
A <sub>3</sub>	2	4	1	1	4	3	2	2	2	3
A <sub>4</sub>	2	4	3	1	6	1	1	1	1	1
A <sub>5</sub>	2	1	2	1	2	3	2	3	1	2
A <sub>6</sub>	2	4	1	1	5	3	2	2	1	2
A <sub>7</sub>	1	2	2	1	1	4	2	1	1	1
A <sub>8</sub>	5	4	1	1	3	2	3	2	2	1
A <sub>9</sub>	3	1	2	3	1	4	2	2	1	2
A <sub>10</sub>	1	2	2	3	2	3	1	2	1	2

Fonte: Autor (2021)

Tabela 44 – Avaliação do desempenho das alternativas pelo DM<sub>2</sub>

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>
A <sub>1</sub>	3	2	3	1	3	2	4	4	3	2
A <sub>2</sub>	5	2	1	1	2	2	2	3	2	2
A <sub>3</sub>	2	5	1	1	4	2	2	3	2	2
A <sub>4</sub>	2	5	4	1	7	1	1	1	1	1
A <sub>5</sub>	3	1	2	1	2	2	2	4	1	2
A <sub>6</sub>	2	4	1	1	5	2	2	2	1	2
A <sub>7</sub>	1	2	3	1	1	3	2	1	2	2
A <sub>8</sub>	5	5	2	1	3	1	2	2	1	1
A <sub>9</sub>	4	1	3	3	1	3	2	2	1	1
A <sub>10</sub>	2	2	3	3	2	2	1	2	1	2

Fonte: Autor (2021)

Tabela 45 – Avaliação do desempenho das alternativas pelo DM<sub>3</sub>

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>
A <sub>1</sub>	2	3	2	2	2	2	3	4	4	3
A <sub>2</sub>	3	3	1	2	1	2	1	3	2	3
A <sub>3</sub>	1	6	1	2	3	2	1	3	2	3
A <sub>4</sub>	1	6	3	2	5	1	1	1	1	1
A <sub>5</sub>	2	2	2	2	1	2	3	4	1	2
A <sub>6</sub>	1	6	1	2	6	2	2	2	1	2
A <sub>7</sub>	1	3	2	2	1	3	2	2	1	1
A <sub>8</sub>	4	6	1	2	2	1	2	3	1	2
A <sub>9</sub>	3	1	2	3	1	3	2	2	1	1
A <sub>10</sub>	1	3	2	3	1	2	1	2	1	2

Fonte: Autor (2021)

A tabela 46 apresenta as relações as taxas de sobreclassificação ( $\eta_{ab}$ ), com as relações de dominância observadas. Os elementos em vermelho representam que a primeira alternativa (elemento da linha) foi dominada pela segunda (elemento da coluna).

Tabela 46 – Taxas de sobreclassificação ( $\eta_{ab}$ ) entre as alternativas

	Iver4 900	Bluefin 9	Bluefin 12	Bluefin 21	A9-M	A18-M	LAUV	GAVIA	REMUS 100M	REMUS 300M
Iver4 900	0	-0.02	0.04	-0.06	-0.13	0.02	-0.32	0.06	-0.26	-0.18
Bluefin 9	0.02	0	0.09	0.1	-0.05	0.15	-0.19	0.1	-0.01	-0.09
Bluefin 12	-0.04	-0.09	0	0.04	-0.21	0.05	-0.28	0.13	-0.2	-0.16
Bluefin 21	0.06	-0.1	-0.04	0	-0.14	-0.03	-0.27	0.01	-0.21	-0.24
A9-M	0.13	0.05	0.21	0.14	0	0.23	-0.15	0.2	-0.04	-0.04
A18-M	-0.02	-0.15	-0.05	0.03	-0.23	0	-0.24	0.02	-0.21	-0.22
LAUV	0.32	0.19	0.28	0.27	0.15	0.24	0	0.31	0.1	0.02
GAVIA	-0.06	-0.1	-0.13	-0.01	-0.2	-0.02	-0.31	0	-0.18	-0.24
REMUS 100M	0.26	0.01	0.2	0.21	0.04	0.21	-0.1	0.18	0	-0.05
REMUS 300M	0.18	0.09	0.16	0.24	0.04	0.22	-0.02	0.24	0.05	0

Fonte: Autor (2021)

A tabela 47 entre o número de vezes que cada alternativa, domina, ou é dominada pelas demais.

Tabela 47 – Diferença entre as relações de dominância das alternativas

Alternativas	Número de alternativas que domina	Número de alternativas em que é dominada	Total
LAUV	9	0	9
REMUS 300M	8	1	7
REMUS 100M	7	2	5
A9-M	6	3	3
Bluefin 9	5	4	1
Iver4 900	3	6	-3
Bluefin 12	3	6	-3
A18-M	2	7	-5
Bluefin 21	2	7	-5
GAVIA	0	9	-9

Fonte: Autor (2021)

E a tabela 48, apresenta as taxas de Performance das alternativas.

Tabela 48 – Taxas de Performance das alternativas

Alternativas	Taxa de Performance ( $T_a$ )
Iver4 900	0.101
Bluefin 9	0.108
Bluefin 12	0.069
Bluefin 21	0.117
A9-M	0.139
A18-M	0.072
LAUV	0.214
GAVIA	0.063
REMUS 100M	0.166
REMUS 300M	0.160

Fonte: Autor (2021)

A tabela 49 apresenta a ordenação obtida.

Tabela 49 – Posição parcial das alternativas

Alternativas	Número de alternativas que domina	Número de alternativas em que é dominada	Total	Posição parcial
LAUV	9	0	9	1°
REMUS 300M	8	1	7	2°
REMUS 100M	7	2	5	3°
A9-M	6	3	3	4°
Bluefin 9	5	4	1	5°
Iver4 900	3	6	-3	6°
Bluefin 12	3	6	-3	6°
A18-M	2	7	-5	7°
Bluefin 21	2	7	-5	7°
GAVIA	0	9	-9	8°

Fonte: Autor (2021)

#### 4.5.5 Análise dos Resultados

Inicialmente, observa-se uma clara ordenação das alternativas até a quinta posição, estando respectivamente LAUV, REMUS 300M, REMUS 100M, A9-M e Bluefin 9, entretanto, há uma indefinição a partir desta posição. Verifica-se que as alternativas IVER4 900, Bluefin 12 obtiveram o mesmo desempenho, ficando empatadas na 6ª posição. Como proposto no subitem 6.2 do método, foram observadas as Taxas de Performance ( $T_a$ ) obtidas por estas alternativas, para realizar a diferenciação e obter a nova ordenação.

Desempate na 6ª posição: A Taxa de Performance do Iver4 900 ( $T_a = 0,101$ ) é maior que a do Bluefin 12 ( $T_a = 0,069$ ), com isso, a alternativa Bluefin 12 assume a 7ª posição na nova ordenação parcial (tabela 50).

Tabela 50 – Nova posição parcial das alternativas

Alternativas	Número de alternativas que domina	Número de alternativas em que é dominada	Total	Posição parcial
LAUV	9	0	9	1º
REMUS 300M	8	1	7	2º
REMUS 100M	7	2	5	3º
A9-M	6	3	3	4º
Bluefin 9	5	4	1	5º
Iver4 900	3	6	-3	6º
Bluefin 12	3	6	-3	7º
A18-M	2	7	-5	8º
Bluefin 21	2	7	-5	8º
GAVIA	0	9	-9	9º

Fonte: Autor (2021)

O mesmo procedimento é feito para as alternativas A18-M e Bluefin 21, que agora ocupam a 8ª posição.

Desempate na 8ª posição: Bluefin 21 ( $T_a = 0,117$ ) e A18-M ( $T_a = 0,072$ ), com isso, a alternativa A18-M passa a assumir a 9ª posição e a ordenação final das alternativas é apresentada na tabela 51.

Tabela 51 – Ordenação final das alternativas

Alternativas	Posição
LAUV	1º
REMUS 300M	2º
REMUS 100M	3º
A9-M	4º
Bluefin 9	5º
Iver4 900	6º
Bluefin 12	7º
Bluefin 21	8º
A18-M	9º
GAVIA	10º

Fonte: Autor (2021)

#### 4.5.6 Análise por Rank Reversal

Após a aplicação de uma metodologia multicritério, torna-se importante realizar uma análise a fim de se verificar como variações introduzidas nos parâmetros de entrada podem influenciar os resultados. Neste contexto, uma análise por *ranking reversal*, visa avaliar alterações na ordenação de alternativas após uma alternativa irrelevante ter sido adicionada ou excluída deste grupo anteriormente ordenado (AIRES; FERREIRA, 2018).

Visando identificar uma possível alteração da ordenação entre as alternativas, decidiu-se por remover do conjunto inicial a alternativa GAVIA, considerada irrelevante, por ter sido superada por todas as outras do conjunto. A tabela 52 apresenta as relações de sobreclassificação obtidas.

Tabela 52 – Taxas de sobreclassificação entre as alternativas

	Iver4 900	Bluefin 9	Bluefin 12	Bluefin 21	A9-M	A18-M	LAUV	REMUS 100M	REMUS 300M
Iver4 900	0	-0.02	0.04	-0.06	-0.13	0.02	-0.32	-0.26	-0.18
Bluefin 9	0.02	0	0.09	0.1	-0.05	0.15	-0.19	-0.01	-0.09
Bluefin 12	-0.04	-0.09	0	0.04	-0.21	0.05	-0.28	-0.2	-0.16
Bluefin 21	0.06	-0.1	-0.04	0	-0.14	-0.03	-0.27	-0.21	-0.24
A9-M	0.13	0.05	0.21	0.14	0	0.23	-0.15	-0.04	-0.04
A18-M	-0.02	-0.15	-0.05	0.03	-0.23	0	-0.24	-0.21	-0.22
LAUV	0.32	0.19	0.28	0.27	0.15	0.24	0	0.1	0.02
REMUS 100M	0.26	0.01	0.2	0.21	0.04	0.21	-0.1	0	-0.05
REMUS 300M	0.18	0.09	0.16	0.24	0.04	0.22	-0.02	0.05	0

Fonte: Autor (2021)

A tabela 53, apresenta as novas taxas de performance.

Tabela 53 – Taxas de performance entre as alternativas

Alternativas	Taxa de Performance (Ta)
Iver4 900	0.087
Bluefin 9	0.108
Bluefin 12	0.059
Bluefin 21	0.109
A9-M	0.128
A18-M	0.063
LAUV	0.201
REMUS 100M	0.16
REMUS 300M	0.147

Fonte: Autor (2021)

A tabela 54 apresenta a nova ordenação parcial entre as alternativas.

Tabela 54 – Ordenação parcial das alternativas

Alternativas	Número de alternativas que domina	Número de alternativas em que é dominada	Total	Posição parcial
LAUV	8	0	8	1°
REMUS 300M	7	1	6	2°
REMUS 100M	6	2	4	3°
A9-M	5	3	2	4°
Bluefin 9	4	4	0	5°
Iver4 900	2	6	-4	6°
Bluefin 12	2	6	-4	6°
Bluefin 21	1	7	-6	7°
A18-M	1	7	-6	7°

Fonte: Autor (2021)

Verifica-se novamente dois empates nas quatro últimas posições. Observadas as Taxas de Performance ( $T_a$ ) obtidas por estas, para realizar a diferenciação, a ordenação final é apresentada na tabela 55. Observa-se que, mesmo com a retirada de uma das alternativas, não houve alteração na sequência de ordenação entre as alternativas restantes

Tabela 55 – Ordenação final das alternativas

Alternativas	Posição
LAUV	1°
REMUS 300M	2°
REMUS 100M	3°
A9-M	4°
Bluefin 9	5°
Iver4 900	6°
Bluefin 12	7°
Bluefin 21	8°
A18-M	9°

Fonte: Autor (2021)

#### 4.5.7 Considerações sobre o processo de análise

O processo de análise decisória em questão, possibilitou a compreensão da problemática e sua estruturação quanto o alcance dos objetivos identificados. A avaliação baseada no método SAPEVO-M-NC possibilitou ordenar os AUV's, mediante os julgamentos dos decisores sobre a importância relativa dos critérios e dos desempenhos das alternativas.

Ressalta-se que apesar da complexidade envolvida na avaliação dos equipamentos em questão, o método possibilitou uma abordagem simplificada, mas ao mesmo tempo robusta, a qual pode ser comprovada por meio da avaliação de *ranking reversal*, onde não houve alteração da sequência de ordenação inicial entre as alternativas. Interessante frisar que foi possível identificar não só as alternativas que melhor satisfazem aos objetivos levantados, mas também, aquelas que não devem ser consideradas, por não proporcionarem um retorno condizente com os anseios dos avaliadores.



## 5 CONCLUSÃO

A presente dissertação teve por objetivo principal, propor uma nova metodologia de Apoio Multicritério à Decisão, de natureza ordinal, não compensatória e com possibilidade de avaliação mono ou multidecisor, denominado SAPEVO-M-NC. Para auxiliar na elaboração de sua axiomática, realizou-se um estudo dos métodos AMD Borda, Condorcet, Copeland, ARGUS, Regime, QualiFlex, SAPEVO e SAPEVO-M, onde avaliou-se suas principais características e estruturas axiomáticas.

Para a ponderação dos pesos dos critérios, o método SAPEVO-M-NC proposto, utiliza a axiomática do método SAPEVO-M, enquanto, para a avaliação do desempenho das alternativas, propõe uma abordagem totalmente inovadora, fornecendo duas avaliações distintas. Uma Parcial, que considera os índices de dominância absoluta e as taxas de sobreclassificação entre as alternativas, possibilitando identificar as relações de superação existentes, bem como ordená-las; e uma Global, que considera o desempenho geral das alternativas, fornecendo informações adicionais do sistema em questão, sendo utilizada para possibilitar uma ordenação total das alternativas, caso ocorram empates na avaliação parcial, proporcionando assim, maior clareza e compreensão da problemática aos decisores envolvidos.

Considerando os problemas do mundo real que requerem uma abordagem por meio de um modelo AMD; que o tempo é fator muitas das vezes limitante no mundo corporativo, onde nem sempre o decisor irá dispor deste em demasia; e ainda que, em uma tomada de decisão nem sempre poderá haver total clareza e compreensão dos elementos da análise, permeando assim, certa nebulosidade, a subjetividade e experiência do(s) avaliador(es) apresentam importância ímpar no processo. Nesse contexto, o método propõe uma abordagem simplificada, explorando as entradas ordinais para a ponderação da importância relativa dos pesos dos critérios. Esta natureza de avaliação também é utilizada na avaliação do desempenho das alternativas, que é conduzida de forma direta, não havendo a necessidade de se realizar comparações paritárias a fim de se obter a modelagem de preferências entre elas, resultando assim, em uma redução substancial do esforço cognitivo por parte do(s) decisor(es).

Visando tornar a aplicação do método mais versátil e acessível para a comunidade acadêmica, quanto para a sociedade como um todo, foi desenvolvida uma ferramenta computacional com versão *web* do modelo proposto, gratuita, intuitiva e de fácil utilização.

A fim de apresentar uma aplicação prática do método, foi conduzido um estudo de caso baseado na avaliação estratégica da Marinha do Brasil, para a aquisição de Veículos

Autônomos Submarinos (AUV), visando sua implementação no teatro de operações navais, com foco em suas operações de Contramedidas de Minagem (CMM). Para estruturação da problemática, foram realizadas entrevistas e *brainstorming* com três militares, Oficiais da ativa pertencentes ao Corpo da Armada, que já atuaram em operações de CCM, mas que não são necessariamente especialistas. A partir das informações, foram selecionados como alternativas, dez AUV's disponíveis no mercado, os quais foram avaliados à luz de dez critérios definidos pelos decisores. Para avaliar a importância relativa de cada um desses critérios, bem como do desempenho das alternativas, esses militares foram convidados a realizar uma abordagem por meio do método de Apoio Multicritério à Decisão SAPEVO-M-NC, onde empregou-se sua versão *web*, como ferramenta de suporte no processo decisório. Os resultados iniciais apresentaram uma ordenação incompleta, devido a ocorrência de dois empates entre quatro alternativas, assim, como proposto pela metodologia, a Taxa de Performance das alternativas foi utilizada, onde foi possível obter a ordenação completa do conjunto avaliado. A fim de se apreciar a estabilidade e positividade dos resultados alcançados, foi conduzida uma avaliação por *rank reversal*, retirando-se da análise, a alternativa considerada irrelevante, em virtude de ter apresentado o pior desempenho na primeira ordenação. Com isso, foi possível perceber a robustez do método, que manteve a ordenação inicial apresentada entre as alternativas restantes. Cabe ressaltar que os resultados estão alinhados com a atual conjuntura de defesa, onde as alternativas que apresentaram melhor desempenho na ordenação, estão sendo expressivamente exploradas pelas Marinhas mais desenvolvidas do mundo.

## **6 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como proposta para pesquisas futuras, sugere-se incorporar no modelo, uma abordagem explorando a análise de consistência das atribuições realizadas na identificação da importância relativa dos critérios.

Uma outra proposta, seria implementar a modelagem de desempenho das alternativas aqui proposta, em conjunto com a axiomática para a identificação dos pesos dos critérios de outros métodos AMD já consagrados na literatura, elevando a sua contribuição para a comunidade científica.

## REFERÊNCIAS

- AGUAYO, E. A.; MATEOS, A.; JIMÉNEZ, A. A new dominance intensity method to deal with ordinal information about a DM's preferences within MAVT. **Knowledge-Based Systems**, v. 69, n. 1, p. 159–169, 2014. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2014.05.017>>.
- AIRES, R. F. DE F.; FERREIRA, L. The rank reversal problem in multi-criteria decision making: A literature review. **Pesquisa Operacional**, v. 38, n. 2, p. 331–362, 2018.
- ALMEIDA, A. T. DE. **Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério**. 1º ed. São Paulo: Atlas, 2013.
- DE ALMEIDA, I. D. P.; CORRIÇA, J. V. DE P.; COSTA, A. P. DE A.; et al. **Study of the Location of a Second Fleet for the Brazilian Navy: Structuring and Mathematical Modeling Using SAPEVO-M and VIKOR Methods**. Springer International Publishing, 2021.
- 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.
- AMORIM, J. M. R. DA C. **Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão multicritério**, 2015. Universidade do Minho.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**. São Paulo: Elsevier, 2011.
- ARROW, K. J.; RAYNAUD, H. **Social choice and multicriterion decision-making**. Cambridge: The MIT Press, 1986.
- ARSLAN, R.; BIRCAN, H. Combining and Comparing the Results Obtained by Multi-Criteria Decision Making Techniques with the Copeland Method. **Management and Economics Research Journal**, , n. March, 2020.
- BARROS, H. S.; SANTOS, M. DOS; REIS, M. F. DOS; BRITO, V. DA S. AUXILIANDO O PROCESSO DECISÓRIO NA AGRICULTURA 4.0: REVISANDO OS MÉTODOS ORDINAIS NA SELEÇÃO DE DRONES. , 2019. Rio de Janeiro: SPOLM.
- BELLINI, C. G. P.; RECH, I.; BORENSTEIN, D. Soft Systems Methodology: uma aplicação no “pão dos pobres” de Porto Alegre. **RAE eletrônica**, v. 3, n. 1, 2004.
- BLUEFIN ROBOTICS. Bluefin-9 Unmanned Underwater Vehicle (UUV). Disponível em: <<https://gdmissionsystems.com/products/underwater-vehicles/bluefin-9-autonomous-underwater-vehicle>>. Acesso em: 11/12/2021a.
- BLUEFIN ROBOTICS. Bluefin-12 Unmanned Underwater Vehicle (UUV). Disponível em: <<https://gdmissionsystems.com/products/underwater-vehicles/bluefin-12-unmanned-underwater-vehicle>>. Acesso em: 9/12/2021b.
- BLUEFIN ROBOTICS. Bluefin-21 Unmanned Underwater Vehicle (UUV). Disponível em: <<https://gdmissionsystems.com/products/underwater-vehicles/bluefin-21-autonomous-underwater-vehicle>>. Acesso em: 5/12/2021c.
- 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.
- BRASIL, M. DO. Navios-Varredores. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/navios-varredores-classe>>.

aratu>. Acesso em: 2/12/2021.

CANDIA-VÉJAR, A.; GONZÁLEZ, M. Systems engineering: Problems, models and solution algorithms to aid in decision making. **Ingeniare**, dez. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052011000300001&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052011000300001&lng=en&nrm=iso&tlng=en)>.

CARVALHO, R. DE C. O emprego de veículos não tripulados nas contramedidas de minagem: possibilidades de emprego do veículo submarino autônomo remus 100 nas contramedidas de minagem. , 2016. Rio de Janeiro: Escola de Guerra Naval.

CHIAVENATO, I. **Introdução a teoria geral da administração**. 9º ed. Barueri, SP: Manole, 2014.

CINELLI, M.; KADZIŃSKI, M.; GONZALEZ, M.; SŁOWIŃSKI, R. How to Support the Application of Multiple Criteria Decision Analysis? Let Us Start with a Comprehensive Taxonomy. **Omega**, p. 102261, 2020. Elsevier.

CLEGG, D.; PETERSON, M. User operational evaluation system of unmanned underwater vehicles for very shallow water mine countermeasures. **Oceans 2003: Celebrating the Past... Teaming Toward the Future**, v. 3, p. 1417–1423, 2003.

COMFORMINVAR. Registro do Comando da Força de Minagem e Varredura. Disponível em: <<http://www.arquivodamarinha.dphdm.mar.mil.br/index.php/comando-da-forca-de-minagem-e-varredura>>. Acesso em: 6/1/2022.

COSTA, A. N.; ZAWADZKI, M.; PAES, R. L. Análise de cenários como uma ferramenta de apoio à decisão: estudo de caso em patrulha marítima. **Spectrum - Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa**, v. 1, p. 30–34, 2021. Disponível em: <[www.revistaeletronica.fab.mil.br/index.php/spectrum](http://www.revistaeletronica.fab.mil.br/index.php/spectrum)>.

COSTA, I. P. DE A.; COSTA, A. P. DE A.; GOMES, C. F. S.; DOS SANTOS, M. Estudo bibliométrico sobre métodos de Apoio Multicritério à Decisão aplicados em problemas militares. LIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. **Anais...** , 2021. João Pessoa.

COSTA, I. P. DE A.; MAÊDA, S. M. DO N.; DE BARRO, L. F. H. DE S.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. DOS. APOIO HUMANITÁRIO AO COMBATE À PANDEMIA DE COVID-19: uma abordagem multicritério para escolha de navio da marinha do brasil mais adequado a ser empregado. **Revista Augustus**, v. 25, n. 51, 2020.

COSTA, I. P. DE A.; MAÊDA, S. M. DO N.; TEIXEIRA, L. F. H. DE S. DE B.; GOMES, C. F. S.; DOS SANTOS, M. Choosing a hospital assistance ship to fight the Covid-19 pandemic. **Revista de Saude Publica**, v. 54, 2020. Universidade de Sao Paulo. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85090141296&doi=10.11606%2FS1518-8787.2020054002792&partnerID=40&md5=90355a4a86a1b09b1add8956ace15019>>.

COSTA, I. P. DE A.; MAÊDA, S. M. DO N.; TEIXEIRA, L. F. H. DE S. DE B.; GOMES, C. F. S.; DOS SANTOS, M. DOS S. Finanças Em Períodos De Crise: Aplicação Do Método Sapevo-M Para Composição De Portfólios De Investimentos. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 13, p. 1–17, 2021.

DEPARTMENT OF DEFENSE, U. S. NAVY, U. S. G. **21st Century complete guide to naval mine warfare: modern MCM systems, marine mammal systems, dolphins, sea lions, avenger-class, mine countermeasures, mine threat control**. 2017.

DIAS, L. M. C.; ALMEIDA, L. M. A. T.; CLÍMACO, J. C. . Apoio Multicritério à Decisão. , 1996. Coimbra: Universidade de Coimbra.

- ECA GROUP. A9-M / AUV / AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE. Disponível em: <<https://www.ecagroup.com/en/solutions/a9-m-auv-autonomous-underwater-vehicle>>. Acesso em: 4/12/2021a.
- ECA GROUP. A18-M / AUV / AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE. Disponível em: <<https://www.ecagroup.com/en/solutions/a18-m-auv-autonomous-underwater-vehicle>>. Acesso em: 5/12/2021b.
- FRANCO, L. A.; MONTIBELLER, G. Problem Structuring for Multicriteria Decision Analysis Interventions. **Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science**, 2011. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470400531.eorms0683>>. .
- GLOBALDATA. Mine Countermeasure (MCM) set to be unmanned and autonomous. Disponível em: <<https://www.naval-technology.com/comment/mine-countermeasure-mcm/>>. Acesso em: 30/12/2021.
- GOMES, C. F. S. Multicriteria ranking with ordinal data. **Systems Analysis-Modelling-Simulation**, v. 27, n. 2, p. 139–146, 1997. Berlin: Akademie Verlag, 1984-c2003.
- 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. SciELO Brasil.
- GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. DOS; TEIXEIRA, L. F. H. DE S. DE B.; SANSEVERINO, A. M.; BARCELOS, M. R. DOS S. SAPEVO-M: A group multicriteria ordinal ranking method. **Pesquisa Operacional**, v. 40, 2020. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-74382020000100212&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382020000100212&tlng=en)>.
- GOMES, E.; MELLO, J.; MANGABEIRA, J. Avaliação De Desempenho De Agricultores Familiares Com O Método Multicritério De Copeland. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 1, n. 2, p. 159–168, 2009.
- 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, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério**. 6º ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- GOMES, L. F. A. M.; MURY, A. R.; GOMES, C. F. S. Multicriteria ranking with ordinal data. **Systems Analysis Modelling Simulation**, v. 27, n. 2–3, p. 139–145, 1997.
- GRECO, S.; EHRGOTT, M.; FIGUEIRA, J. R. **Multiple Criteria Decision Analysis State of the Art Surveys**. 2016.
- GREENLAW, J. **Sea Mines and Naval Mine Countermeasures: Are Autonomous Underwater Vehicles the Answer, and Is the Royal Canadian Navy Ready for the New Paradigm?**, 2013. CANADIAN FORCES COLLEGE.
- GROUP, E. A18-M: A NEW GENERATION OF AUV LEVERAGING ON A LONG-LASTING EXPERTISE. Disponível em: <<https://www.ecagroup.com/en/solutions/a18-m-auv-autonomous-underwater-vehicle>>. Acesso em: 3/12/2021.
- LE HARDY, P. K.; MOORE, C. Deep ocean search for Malaysia airlines flight 370. **2014 Oceans - St. John's, OCEANS 2014**, p. 31–34, 2015.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **INTRODUCTION TO OPERATIONS RESEARCH**. 9º ed. McGraw-Hill Education, 2010.
- HINLOOPEN, E.; NIJKAMP, P. Regime-methode voor ordinal multicriteria-analyses. **Kwantitatieve Methoden**, v. 7, n. 22, p. 61–78, 1986.
- HUNTINGTON INGALLS INDUSTRIES. REMUS 100M – Mine Countermeasures Variant. Disponível em:

- <<https://tsd.huntingtoningalls.com/what-we-do/unmanned-systems/unmanned-underwater-vehicles/remus100variants/remus100m/>>. Acesso em: 4/12/2021a.
- HUNTINGTON INGALLS INDUSTRIES. REMUS 300M – Mine Countermeasures Variant. Disponível em: <<https://tsd.huntingtoningalls.com/what-we-do/unmanned-systems/unmanned-underwater-vehicles/remus300m/>>. Acesso em: 4/12/2021b.
- JAIN, S. K.; BORA, S.; SINGH, M. A Review Paper on: Autonomous Underwater Vehicle. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 6, n. 2, p. 38–40, 2015. Disponível em: <<http://www.ijser.org/>>.
- JUNIOR, F. R. L.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 781–801, 2013.
- JUNIOR, S. F. G.; DE MELLO, J. C. C. B. S.; SOARES, D. M. M. H. C. Utilização Do Método De Copeland Para Avaliação Dos Pólos Regionais Do Cederj. **Revista UERJ**, v. 4, n. 5, 2007. Disponível em: <<http://www.rij.eng.uerj.br/scientific/2008/sp081-04.pdf>>.
- KAHRAMAN, C. **Fuzzy Multi-Criteria Decision Making**. Springer, 2008.
- DE KEYSER, W.; PEETERS, P. Argus - A New Multiple Criteria Method Based on the General Idea of Outranking. . p.263–278, 1994.
- DE KEYSER, W. S. M.; PEETERS, P. H. M. Argus - A New Multiple Criteria Method Based on the General Idea of Outranking. . p.263–278, 1994. Disponível em: <[http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-0767-1\\_17](http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-0767-1_17)>.
- KLAMLER, C. The Copeland rule and Condorcet's principle. **Economic Theory**, v. 25, n. 3, p. 745–749, 2005. Institute of Public Economics, University of Graz, Universitaetsstr. 15/E4, 8010 Graz, Austria. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-21244489303&doi=10.1007%2Fs00199-004-0467-7&partnerID=40&md5=f0c399d93c577342232359df1742a738>>.
- KONGSBERG. Hydroid Remus 6000 AUVs aid in discovery of Air France flight 447 wreckage. Disponível em: <<https://www.kongsberg.com/no/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2011/hydroid-remus-6000-auvs-aid-in-discovery-of-air-france-flight-447-wreckage/>>. Acesso em: 4/1/2022.
- L3HARRIS. IVER4 900 UNMANNED UNDERWATER VEHICLE (UUV). Disponível em: <[https://www.l3harris.com/sites/default/files/2020-07/ims\\_maritime\\_datasheet\\_oceanserver\\_Iver4-900-Spec-Sheet.pdf](https://www.l3harris.com/sites/default/files/2020-07/ims_maritime_datasheet_oceanserver_Iver4-900-Spec-Sheet.pdf)>. Acesso em: 12/12/2021.
- MAÊDA, S. M. DO N.; BASÍLIO, M. P.; COSTA, I. P. DE A.; et al. Investments in Times of Pandemics: An Approach by the SAPEVO-M-NC Method. **Frontiers in Artificial Intelligence and Applications (FAIA)**. p.162–168, 2021. Disponível em: <<https://ebooks.iospress.nl/doi/10.3233/FAIA210244>>.
- MAÊDA, S. M. DO N.; BASÍLIO, M. P.; MOREIRA, M. Â. L.; et al. The SAPEVO-M-NC method. **Frontiers in Artificial Intelligence and Applications (FAIA)**. p.1–8, 2021. IOS Press BV.
- MAÊDA, S. M. DO N.; COSTA, I. P. DE A.; CASTRO JUNIOR, M. A. P. DE; et al. Multi-criteria analysis applied to aircraft selection by Brazilian Navy. **Production**, v. 31, n. 6, p. 1–13, 2021a.
- MAÊDA, S. M. DO N.; COSTA, I. P. DE A.; MOTA, I. S. DA; SANTOS, M. DOS; GOMES, C. F. S. Avaliação econômica e edafoclimática de regiões brasileiras para o plantio de mogno africano – uma abordagem pelos métodos ordinais: Copeland, ARGUS E SAPEVO-M-NC. IV Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação. **Anais...**, 2021b. Juazeiro do Norte.
- MAÊDA, S. M. DO N.; COSTA, I. P. DE A.; MOTA, I. S. DA; SANTOS, M. DOS; GOMES, C. F. S. Avaliação

econômica e edafoclimática de regiões brasileiras para o plantio de mogno africano - uma abordagem pelos métodos ordinais: ARGUS E SAPEVO-M-NC. **Revista SIMEP**, p. 1–15, maio 2021c. Disponível em: <<https://revista.simep.com.br/index.php/simep>>. .

MAÊDA, S. M. DO N.; COSTA, I. P. DE A.; SANTOS, M. DOS; GOMES, C. F. S. Economic and edaphoclimatic evaluation of Brazilian regions for African mahogany planting - an approach using the SAPEVO-M-NC ordinal method. (The International Conference on Information Technology and Quantitative Management (ITQM), Org.), 2021a. Chengdu: The International Conference on Information Technology and Quantitative Management (ITQM), Elsevier - Procedia Computer ScienceProcedia Computer Science.

MAÊDA, S. M. DO N.; COSTA, I. P. DE A.; SANTOS, M. DOS; GOMES, C. F. S. Uma revisão sistemática dos métodos multicritério ordinais. XLI Encontro Nacional De Engenharia De Produção - ENEGEP. **Anais...**, 2021b.

MAÊDA, S. M. DO N.; COSTA, I. P. DE A.; SANTOS, M. DOS; GOMES, C. F. S. Estudo estratégico para o ofertados por uma empresa de treinamentos corporativos: uma abordagem à luz dos métodos ELECTRE-MOR E SAPEVO-M-NC. XLI Encontro Nacional De Engenharia De Produção - ENEGEP. **Anais...**, 2021c.

MAÊDA, S. M. DO N.; COSTA, I. P. DE A.; SANTOS, M. DOS; GOMES, C. F. S. Investimentos em tempos de pandemia - Uma abordagem pelos métodos MOMENTUM e SAPEVO-M-NC. , 2021d. CARUARU - PERNAMBUCO, BRASIL: IX Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP 2021.

MAÊDA, S. M. DO N.; COSTA, I. P. DE A.; SANTOS, M. DOS; GOMES, C. F. S. Investimentos em tempos de pandemia - Uma abordagem pelos métodos MOMENTUM e SAPEVO-M-NC. , 2021e.

MAÊDA, S. M. DO N.; COSTA, I. P. DE A.; TEIXEIRA, L. F. H. DE S. DE B.; GOMES, C. F. S. Aplicação dos métodos AHP e SAPEVO-M na análise da viabilidade técnica e econômica de se implantar a propulsão elétrica em embarcações de transporte de passageiros da Marinha do Brasil. **XVII SEGeT**, p. 1–13, 2020.

MAEDA, S. M. DO N.; MOREIRA, M. Â. L.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. DOS. SAPEVO-M-NC Web (v.1). , 2021. Disponível em: <<https://miguel-lellis.shinyapps.io/sapevo-m-nc/>>. Acesso em: 20/11/2021.

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

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

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>>. Acesso em: 2/12/2021.

MARTEL, J.-M.; MATARAZZO, B. Other outranking approaches. **Multiple Criteria Decision Analysis**. p.221–282, 2016. Springer.

MELLO, J. C. C. B. S. DE; GOMES, L. F. A. M.; GOMES, E. G.; MELLO, M. H. C. S. DE. Use of ordinal multi-criteria methods in the analysis of the Formula 1 World Championship. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 3, n. 2, 2005.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Plano Nacional de Defesa (PND). , 2020. Disponível em: <[https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy\\_of\\_estado-e-defesa/pnd\\_end\\_congresso\\_.pdf](https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/pnd_end_congresso_.pdf)>. .

MONTANARI, M.; EDWARDS, J. R.; SCHMIDT, H. Autonomous underwater vehicle-based concurrent detection and classification of buried targets using higher order spectral analysis. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 31, n. 1, p. 188–199, 2006.



- MOREIRA, M. Â. L.; COSTA, I. P. DE A.; PEREIRA, M. T.; et al. PROMETHEE-SAPEVO-M1 a Hybrid Approach Based on Ordinal and Cardinal Inputs: Multi-Criteria Evaluation of Helicopters to Support Brazilian Navy Operations. **Algorithms**, v. 14, n. 5, p. 140, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1999-4893/14/5/140>>.
- MOREIRA, M. Â. L.; SANTOS, DOS S.; GOMES, C. F. S. Multicriteria analysis by the PROMETHEE-SAPEVO- M1 method : a decision analysis for the closure of a bank agency. ICPR 2020. **Anais...** . p.1–14, 2020.
- MOREIRA, M. Â. L.; SANTOS, M. DOS.; GOMES, C. F. S. SAPEVO-H<sup>2</sup> Abordagem Multicritério Baseada em Estrutura Hierárquica : Análise de SARP para a Marinha do Brasil. LIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. **Anais...** , 2021. João Pessoa.
- MOSHKOVICH, H. M.; MECHITOV, A. I.; OLSON, D. L. Ordinal judgments in multiattribute decision analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 137, n. 3, p. 625–641, 2002.
- MUNIER, N.; HONTORIA, E.; JIMÉNEZ-SÁEZ, F. **Strategic Approach in Multi-Criteria Decision Making**. Cham: Springer International Publishing, 2019.
- NYAAS, O.; EVANGELIO, A.; YUZICHUCK, G.; SWEENEY, S.; KARAGOZ, AM. NATO Guidance for Developing Maritime Unmanned Systems (MUS) Capability. , 2012. Combined Joint Operations from the Sea Centre of Excellence. Disponível em: <<https://publicintelligence.net/cjoscoe-mus/>>.
- O'DONOHUE, M. Autonomous underwater vehicles: A Future Capability for the RCN. **Ocean Engineering**, v. 36, n. 1, p. 1, 2021.
- OCEANEERING. Oceaneering realizará primeira pesquisa AUV em águas profundas no México. Disponível em: <<https://www.oceaneering.com/oceaneering-to-perform-first-deepwater-auv-survey-in-mexico/>>. Acesso em: 3/12/2021.
- OCEANSCAN. LAUV - AUV Underwater Vehicle made by OceanScan. Disponível em: <<https://www.oceanscan-mst.com/light-autonomous-underwater-vehicle/#vehicle-specifications>>. Acesso em: 4/12/2021.
- DE OLIVEIRA, E.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; PEREIRA, C. R.; et al. Aplicação de métodos multicritério ordinais em dados de produção agrícola, para avaliação da sustentabilidade. **Interciencia**, v. 40, n. 7, 2015.
- PAELINCK, J. Qualitative Multicriteria Analysis: An Application to Airport Location. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 9, n. 8, p. 883–895, 1977.
- PAELINCK, J. H. P. Qualiflex: A flexible multiple-criteria method. **Economics Letters**, v. 1, n. 3, p. 193–197, 1978. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/016517657890023X>>. .
- 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. Springer.
- PEREIRA, M. T. Group Decision Making for selection of an Information System in a Business Context. , 2012. Instituto Politécnico do Porto. Disponível em: <[https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/5671/1/COM\\_TeresaPereira\\_2012\\_1.pdf](https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/5671/1/COM_TeresaPereira_2012_1.pdf)>.
- POMEROL, J.-C.; BARBA-ROMERO, S. Multicriterion Decision in Practice. **Multicriterion Decision in Management: Principles and Practice**. p.299–326, 2000. Boston, MA: Springer US. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4459-3\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4459-3_11)>.
- RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M.; CARDOSO, F. P. An application of the TODIM method to the

- evaluation of Broadband Internet plans. **Pesquisa Operacional**, v. 31, n. 2, p. 235–249, 2011.
- SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008. Disponível em: <<http://www.inderscience.com/link.php?id=17590>>.
- SAHU, B. K.; SUBUDHI, B. The state of art of Autonomous Underwater Vehicles in current and future decades. **1st International Conference on Automation, Control, Energy and Systems - 2014, ACES 2014**, , n. i, 2014.
- SANTOS, H.; PEREIRA, M. T.; SILVA, F. J. G.; FERREIRA, L. P. A Novel Rework Costing Methodology Applied to a Bus Manufacturing Company. **Procedia Manufacturing**, v. 17, p. 631–639, 2018. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.109>>.
- DOS SANTOS, M.; QUINTAL, R. S.; PAIXÃO, A. C. DA; GOMES, C. F. S. 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. ITQM - Elsevier Masson SAS. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.111>>.
- SHORTLAND, N.; ALISON, L.; BARRETT-PINK, C. Military (in)decision-making process: a psychological framework to examine decision inertia in military operations. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, v. 19, n. 6, p. 752–772, 2018. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1463922X.2018.1497726>>.
- 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. São Paulo: Editora Edgard Blücher. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/9872>>.
- SILVA JÚNIOR, A. C.; ALMEIDA, I. D. P. DE; SANTOS, M. DOS; QUINTAL, R. S. Ordenação de Algoritmos para Modelagem Preditiva de Churn: Analisando o Problema a Partir dos Métodos Sapevo-M e Vikor. **Revista FSA**, v. 18, n. 5, p. 129–145, 2021.
- SOBRAPO. O que é Pesquisa Operacional? **Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional - SOBRAPO**, 2020. Disponível em: <<http://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>>. Acesso em: 20/3/2021.
- SOUSA, J. V. N. DE. Características gerais dos Veículos Autônomos Submarinos. **Revista Marítima Brasileira**, v. 139, p. 1–320, out. 2019. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.revistamaritima.com.br/revistas/funcoes-tecnologicas-do-combate>>.
- TEIXEIRA, L. F. H. DE S. DE B.; SANTOS, M. DOS; GOMES, C. F. S. PROPOSTA E IMPLEMENTAÇÃO EM PYTHON DO MÉTODO SIMPLE AGGREGATION OF PREFERENCES EXPRESSED BY ORDINAL VECTORS - MULTI DECISION MAKERS: UMA FERRAMENTA WEB SIMPLES E INTUITIVA PARA APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO. Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha - Publicação Online. **Anais...** . p.2326–2342, 2020. São Paulo: Editora Blucher. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/34583>>.
- TEIXEIRA, L. F. H. S. B.; DOS SANTOS, M.; GOMES, C. F. S. SapevoWeb Software (v.1), sob registro INPI: BR512020000667-1. , 2018. Disponível em: <<http://>>. Acesso em: 14/8/2020.
- TELEDYNE MARINE. GAVIA AUV. Disponível em: <<http://www.teledynemarine.com/gavia-auv>>. Acesso em: 5/12/2021.
- TENÓRIO, F. M.; DOS SANTOS, M.; GOMES, C. F. S.; ARAUJO, J. DE C. Navy Warship Selection and Multicriteria Analysis: The THOR Method Supporting Decision Making. **Springer Proceedings in Mathematics**

**and Statistics**. v. 337, p.27–39, 2020. Disponível em: <[http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-56920-4\\_3](http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-56920-4_3)>.

VALLADARES, G. S.; GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; et al. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 285–296, 2008.

VOGT, R. GUERRA DE MINAS. **Revista Marítima Brasileira**, out. 2019. Rio de Janeiro.

YONHAP. S. Korea to develop autonomous underwater mine detector. Disponível em: <<http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20201209000131>>. Acesso em: 5/1/2022.

## APÊNDICE A – Memorial de cálculo do estudo de caso

Tabela 56 – Matrizes com as avaliações das importâncias dos critérios pelos três Decisores

[1,]	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0	0	2	1	0	2	2	-1	0	1
[2,]	0	0	2	1	0	2	2	-1	0	0
[3,]	-2	-2	0	-2	-3	0	0	-2	-1	-1
[4,]	-1	-1	2	0	-1	2	2	-1	0	1
[5,]	0	0	3	1	0	3	3	1	1	1
[6,]	-2	-2	0	-2	-3	0	0	-2	-2	-1
[7,]	-2	-2	0	-2	-3	0	0	-3	-2	-1
[8,]	1	1	2	1	-1	2	3	0	1	1
[9,]	0	0	1	0	-1	2	2	-1	0	0
[10,]	-1	0	1	-1	-1	1	1	-1	0	0

[2,]	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0	1	2	2	0	3	3	-1	0	1
[2,]	-1	0	2	1	0	3	3	-1	0	1
[3,]	-2	-2	0	0	-2	1	0	-2	-1	-1
[4,]	-2	-1	0	0	-2	1	1	-3	-2	0
[5,]	0	0	2	2	0	3	3	-1	0	0
[6,]	-3	-3	-1	-1	-3	0	-1	-3	-2	-2
[7,]	-3	-3	0	-1	-3	1	0	-3	-2	-1
[8,]	1	1	2	3	1	3	3	0	1	2
[9,]	0	0	1	2	0	2	2	-1	0	1
[10,]	-1	-1	1	0	0	2	1	-2	-1	0

[3,]	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0	1	3	2	1	3	1	-2	-2	1
[2,]	-1	0	2	2	0	2	1	-2	-1	0
[3,]	-3	-2	0	1	-2	1	1	-2	-2	-1
[4,]	-2	-2	-1	0	-2	1	0	-2	-2	-1
[5,]	-1	0	2	2	0	3	1	-1	0	1
[6,]	-3	-2	-1	-1	-3	0	-1	-2	-3	-2
[7,]	-1	-1	-1	0	-1	1	0	-2	-2	0
[8,]	2	2	2	2	1	2	2	0	0	2
[9,]	2	1	2	2	0	3	2	0	0	2
[10,]	-1	0	1	1	-1	2	0	-2	-2	0

Fonte: Autor (2021)

Tabela 57 – Valores parciais e finais dos pesos dos critérios após avaliação pelos DM

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.786	0.750	0.071	0.643	1.000	0.036	0.000	0.929	0.643	0.500
[2,]	0.833	0.750	0.278	0.306	0.778	0.001	0.111	1.000	0.722	0.500
[3,]	0.788	0.636	0.273	0.212	0.758	0.002	0.333	1.000	0.970	0.485
	critérios vetor_pesos_totais									
1	Autonomia								2.407	
2	Dimensoes								2.136	
3	Velocidade Max								0.622	
4	Velocidade Nominal								1.161	
5	Massa Total								2.536	
6	Profundidade Max								0.039	
7	Capacidades Operacionais								0.444	
8	Sistemas de Aquisicao de Dados								2.929	
9	Sistemas de Comunicacao e Seguranca								2.335	
10	Sistemas de Navegacao								1.485	

Fonte: Autor (2021)

Tabela 58 – Avaliação dos desempenhos das alternativas pelos três Decisores

[[1]]																																							
[1]	2	4	2	2	2	2	1	5	3	1	2	2	4	4	1	4	2	4	1	2	2	1	1	3	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
[38]	1	3	3	3	2	4	6	2	5	1	3	1	2	3	3	3	1	3	3	4	2	4	3	4	2	2	1	2	2	2	3	2	1	3	2	2	1	1	
[75]	3	2	1	2	2	2	4	2	2	1	1	1	1	2	1	1	3	3	3	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	
[[2]]																																							
[1]	3	5	2	2	3	2	1	5	4	2	2	2	5	5	1	4	2	5	1	2	3	1	1	4	2	1	3	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	
[38]	1	3	3	3	2	4	7	2	5	1	3	1	2	2	2	2	1	2	2	3	1	3	2	4	2	2	1	2	2	2	2	1	4	3	3	1	1	1	
[75]	4	2	1	2	2	2	3	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
[[3]]																																							
[1]	2	3	1	1	2	1	1	4	3	1	3	3	6	6	2	6	3	6	1	3	2	1	1	3	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
[38]	2	3	3	2	1	3	5	1	6	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	3	1	3	2	3	1	1	1	3	2	2	2	2	1	4	3	3	1	1	
[75]	4	2	2	3	2	2	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2

Fonte: Autor (2021)

Tabela 59 – Soma dos desempenhos das alternativas em cada critério

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	7	7	7	4	8	7	11	11	11	8
[2,]	12	7	3	4	5	7	5	8	6	8
[3,]	5	15	3	4	11	7	5	8	6	8
[4,]	5	15	10	4	18	3	3	3	3	3
[5,]	7	4	6	4	5	7	7	11	3	6
[6,]	5	14	3	4	16	7	6	6	3	6
[7,]	3	7	7	4	3	10	6	4	4	4
[8,]	14	15	4	4	8	4	7	7	4	4
[9,]	10	3	7	9	3	10	6	6	3	4
[10,]	4	7	7	9	5	7	3	6	3	6

Fonte: Autor (2021)

Tabela 60 – Matriz com as médias dos desempenhos das alternativas em cada critério

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	2.333333	2.333333	2.333333	1.333333	2.666667	2.333333	3.666667	3.666667	3.666667	2.666667
[2,]	4.000000	2.333333	1.000000	1.333333	1.666667	2.333333	1.666667	2.666667	2.000000	2.666667
[3,]	1.666667	5.000000	1.000000	1.333333	3.666667	2.333333	1.666667	2.666667	2.000000	2.666667
[4,]	0.666667	5.000000	3.333333	1.333333	6.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
[5,]	2.333333	1.333333	2.000000	1.333333	1.666667	2.333333	2.333333	3.666667	1.000000	2.000000
[6,]	1.666667	4.666667	1.000000	1.333333	5.333333	2.333333	2.000000	2.000000	1.000000	2.000000
[7,]	1.000000	2.333333	2.333333	1.333333	1.000000	3.333333	2.000000	1.333333	1.333333	1.333333
[8,]	4.666667	5.000000	1.333333	1.333333	2.666667	1.333333	2.333333	2.333333	1.333333	1.333333
[9,]	3.333333	1.000000	2.333333	3.000000	1.000000	3.333333	2.000000	2.000000	1.000000	1.333333
[10,]	1.333333	2.333333	2.333333	3.000000	1.666667	2.333333	1.000000	2.000000	1.000000	2.000000

Fonte: Autor (2021)

Tabela 61 – Avaliação das distâncias relativas dos desempenhos das alternativas

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000	1.666667	-0.666667	-0.666667	0.000000	-0.666667	-1.333333	2.333333	1.000000	-1.000000
[2,]	-1.666667	0.000000	-2.333333	-2.333333	-1.666667	-2.333333	-3.000000	0.666667	-0.666667	-2.666667
[3,]	0.666667	2.333333	0.000000	0.000000	0.666667	0.000000	-0.666667	3.000000	1.666667	-0.333333
[4,]	0.666667	2.333333	0.000000	0.000000	0.666667	0.000000	-0.666667	3.000000	1.666667	-0.333333
[5,]	0.000000	1.666667	-0.666667	-0.666667	0.000000	-0.666667	-1.333333	2.333333	1.000000	-1.000000
[6,]	0.666667	2.333333	0.000000	0.000000	0.666667	0.000000	-0.666667	3.000000	1.666667	-0.333333
[7,]	1.333333	3.000000	0.666667	0.666667	1.333333	0.666667	0.000000	3.666667	2.333333	0.333333
[8,]	-2.333333	-0.666667	-3.000000	-3.000000	-2.333333	-3.000000	-3.666667	0.000000	-1.333333	-3.333333
[9,]	-1.000000	0.666667	-1.666667	-1.666667	-1.000000	-1.666667	-2.333333	1.333333	0.000000	-2.000000
[10,]	1.000000	2.666667	0.333333	0.333333	1.000000	0.333333	-0.333333	3.333333	2.000000	0.000000

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000	0.000000	2.666667	2.666667	-1.000000	2.333333	0.000000	2.666667	-1.333333	0.000000
[2,]	0.000000	0.000000	2.666667	2.666667	-1.000000	2.333333	0.000000	2.666667	-1.333333	0.000000
[3,]	-2.666667	-2.666667	0.000000	0.000000	-3.666667	-0.333333	-2.666667	0.000000	-4.000000	-2.666667
[4,]	-2.666667	-2.666667	0.000000	0.000000	-3.666667	-0.333333	-2.666667	0.000000	-4.000000	-2.666667
[5,]	1.000000	1.000000	3.666667	3.666667	0.000000	3.333333	1.000000	3.666667	-0.333333	1.000000
[6,]	-2.333333	-2.333333	0.333333	0.333333	-3.333333	0.000000	-2.333333	0.333333	-3.666667	-2.333333
[7,]	0.000000	0.000000	2.666667	2.666667	-1.000000	2.333333	0.000000	2.666667	-1.333333	0.000000
[8,]	-2.666667	-2.666667	0.000000	0.000000	-3.666667	-0.333333	-2.666667	0.000000	-4.000000	-2.666667
[9,]	1.333333	1.333333	4.000000	4.000000	0.333333	3.666667	1.333333	4.000000	0.000000	1.333333
[10,]	0.000000	0.000000	2.666667	2.666667	-1.000000	2.333333	0.000000	2.666667	-1.333333	0.000000

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000	-1.333333	-1.333333	1.000000	-0.333333	-1.333333	0.000000	-1.000000	0.000000	0.000000
[2,]	1.333333	0.000000	0.000000	2.333333	1.000000	0.000000	1.333333	0.333333	1.333333	1.333333
[3,]	1.333333	0.000000	0.000000	2.333333	1.000000	0.000000	1.333333	0.333333	1.333333	1.333333
[4,]	-1.000000	-2.333333	-2.333333	0.000000	-1.333333	-2.333333	-1.000000	-2.000000	-1.000000	-1.000000
[5,]	0.333333	-1.000000	-1.000000	1.333333	0.000000	-1.000000	0.333333	-0.666667	0.333333	0.333333
[6,]	1.333333	0.000000	0.000000	2.333333	1.000000	0.000000	1.333333	0.333333	1.333333	1.333333
[7,]	0.000000	-1.333333	-1.333333	1.000000	-0.333333	-1.333333	0.000000	-1.000000	0.000000	0.000000
[8,]	1.000000	-0.333333	-0.333333	2.000000	0.666667	-0.333333	1.000000	0.000000	1.000000	1.000000
[9,]	0.000000	-1.333333	-1.333333	1.000000	-0.333333	-1.333333	0.000000	-1.000000	0.000000	0.000000
[10,]	0.000000	-1.333333	-1.333333	1.000000	-0.333333	-1.333333	0.000000	-1.000000	0.000000	0.000000

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.666667	1.666667
[2,]	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.666667	1.666667
[3,]	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.666667	1.666667
[4,]	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.666667	1.666667
[5,]	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.666667	1.666667
[6,]	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.666667	1.666667
[7,]	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.666667	1.666667
[8,]	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.666667	1.666667
[9,]	-1.666667	-1.666667	-1.666667	-1.666667	-1.666667	-1.666667	-1.666667	-1.666667	0.000000	0.000000
[10,]	-1.666667	-1.666667	-1.666667	-1.666667	-1.666667	-1.666667	-1.666667	-1.666667	0.000000	0.000000

[[5]]

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000	-1.000000	1.000000	3.333333	-1.000000	2.666667	-1.666667	0.000000	-1.666667	-1.000000
[2,]	1.000000	0.000000	2.000000	4.333333	0.000000	3.666667	-0.666667	1.000000	-0.666667	0.000000
[3,]	-1.000000	-2.000000	0.000000	2.333333	-2.000000	1.666667	-2.666667	-1.000000	-2.666667	-2.000000
[4,]	-3.333333	-4.333333	-2.333333	0.000000	-4.333333	-0.666667	-5.000000	-3.333333	-5.000000	-4.333333
[5,]	1.000000	0.000000	2.000000	4.333333	0.000000	3.666667	-0.666667	1.000000	-0.666667	0.000000
[6,]	-2.666667	-3.666667	-1.666667	0.666667	-3.666667	0.000000	-4.333333	-2.666667	-4.333333	-3.666667
[7,]	1.666667	0.666667	2.666667	5.000000	0.666667	4.333333	0.000000	1.666667	0.000000	0.666667
[8,]	0.000000	-1.000000	1.000000	3.333333	-1.000000	2.666667	-1.666667	0.000000	-1.666667	-1.000000
[9,]	1.666667	0.666667	2.666667	5.000000	0.666667	4.333333	0.000000	1.666667	0.000000	0.666667
[10,]	1.000000	0.000000	2.000000	4.333333	0.000000	3.666667	-0.666667	1.000000	-0.666667	0.000000

[[6]]

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000	0.000000	0.000000	-1.333333	0.000000	0.000000	1.000000	-1.000000	1.000000	0.000000
[2,]	0.000000	0.000000	0.000000	-1.333333	0.000000	0.000000	1.000000	-1.000000	1.000000	0.000000
[3,]	0.000000	0.000000	0.000000	-1.333333	0.000000	0.000000	1.000000	-1.000000	1.000000	0.000000
[4,]	1.333333	1.333333	1.333333	0.000000	1.333333	1.333333	2.333333	0.333333	2.333333	1.333333
[5,]	0.000000	0.000000	0.000000	-1.333333	0.000000	0.000000	1.000000	-1.000000	1.000000	0.000000
[6,]	0.000000	0.000000	0.000000	-1.333333	0.000000	0.000000	1.000000	-1.000000	1.000000	0.000000
[7,]	-1.000000	-1.000000	-1.000000	-2.333333	-1.000000	-1.000000	0.000000	-2.000000	0.000000	-1.000000
[8,]	1.000000	1.000000	1.000000	-0.333333	1.000000	1.000000	2.000000	0.000000	2.000000	1.000000
[9,]	-1.000000	-1.000000	-1.000000	-2.333333	-1.000000	-1.000000	0.000000	-2.000000	0.000000	-1.000000
[10,]	0.000000	0.000000	0.000000	-1.333333	0.000000	0.000000	1.000000	-1.000000	1.000000	0.000000

[[7]]

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000	-2.000000	-2.000000	-2.666667	-1.333333	-1.666667	-1.666667	-1.333333	-1.666667	-2.666667
[2,]	2.000000	0.000000	0.000000	-0.666667	0.666667	0.333333	0.333333	0.666667	0.333333	-0.666667
[3,]	2.000000	0.000000	0.000000	-0.666667	0.666667	0.333333	0.333333	0.666667	0.333333	-0.666667
[4,]	2.666667	0.666667	0.666667	0.000000	1.333333	1.000000	1.000000	1.333333	1.000000	0.000000
[5,]	1.333333	-0.666667	-0.666667	-1.333333	0.000000	-0.333333	-0.333333	0.000000	-0.333333	-1.333333
[6,]	1.666667	-0.333333	-0.333333	-1.000000	0.333333	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	-1.000000
[7,]	1.666667	-0.333333	-0.333333	-1.000000	0.333333	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	-1.000000
[8,]	1.333333	-0.666667	-0.666667	-1.333333	0.000000	-0.333333	-0.333333	0.000000	-0.333333	-1.333333
[9,]	1.666667	-0.333333	-0.333333	-1.000000	0.333333	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	-1.000000
[10,]	2.666667	0.666667	0.666667	0.000000	1.333333	1.000000	1.000000	1.333333	1.000000	0.000000

[[8]]

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000	-1.000000	-1.000000	-2.666667	0.000000	-1.666667	-2.333333	-1.333333	-1.666667	-1.666667
[2,]	1.000000	0.000000	0.000000	-1.666667	1.000000	-0.666667	-1.333333	-0.333333	-0.666667	-0.666667
[3,]	1.000000	0.000000	0.000000	-1.666667	1.000000	-0.666667	-1.333333	-0.333333	-0.666667	-0.666667
[4,]	2.666667	1.666667	1.666667	0.000000	2.666667	1.000000	0.333333	1.333333	1.000000	1.000000
[5,]	0.000000	-1.000000	-1.000000	-2.666667	0.000000	-1.666667	-2.333333	-1.333333	-1.666667	-1.666667
[6,]	1.666667	0.666667	0.666667	-1.000000	1.666667	0.000000	-0.666667	0.333333	0.000000	0.000000
[7,]	2.333333	1.333333	1.333333	-0.333333	2.333333	0.666667	0.000000	1.000000	0.666667	0.666667
[8,]	1.333333	0.333333	0.333333	-1.333333	1.333333	-0.333333	-1.000000	0.000000	-0.333333	-0.333333
[9,]	1.666667	0.666667	0.666667	-1.000000	1.666667	0.000000	-0.666667	0.333333	0.000000	0.000000
[10,]	1.666667	0.666667	0.666667	-1.000000	1.666667	0.000000	-0.666667	0.333333	0.000000	0.000000

[[9]]

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000	-1.666667	-1.666667	-2.666667	-2.666667	-2.666667	-2.333333	-2.333333	-2.666667	-2.666667
[2,]	1.666667	0.000000	0.000000	-1.000000	-1.000000	-1.000000	-0.666667	-0.666667	-1.000000	-1.000000
[3,]	1.666667	0.000000	0.000000	-1.000000	-1.000000	-1.000000	-0.666667	-0.666667	-1.000000	-1.000000
[4,]	2.666667	1.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.333333	0.000000	0.000000
[5,]	2.666667	1.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.333333	0.000000	0.000000
[6,]	2.666667	1.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.333333	0.000000	0.000000
[7,]	2.333333	0.666667	0.666667	-0.333333	-0.333333	-0.333333	0.000000	0.000000	-0.333333	-0.333333
[8,]	2.333333	0.666667	0.666667	-0.333333	-0.333333	-0.333333	0.000000	0.000000	-0.333333	-0.333333
[9,]	2.666667	1.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.333333	0.000000	0.000000
[10,]	2.666667	1.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.333333	0.000000	0.000000

[[10]]

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000	0.000000	0.000000	-1.666667	-0.666667	-0.666667	-1.333333	-1.333333	-1.333333	-0.666667
[2,]	0.000000	0.000000	0.000000	-1.666667	-0.666667	-0.666667	-1.333333	-1.333333	-1.333333	-0.666667
[3,]	0.000000	0.000000	0.000000	-1.666667	-0.666667	-0.666667	-1.333333	-1.333333	-1.333333	-0.666667
[4,]	1.666667	1.666667	1.666667	0.000000	1.000000	1.000000	0.333333	0.333333	0.333333	1.000000
[5,]	0.666667	0.666667	0.666667	-1.000000	0.000000	0.000000	-0.666667	-0.666667	-0.666667	0.000000
[6,]	0.666667	0.666667	0.666667	-1.000000	0.000000	0.000000	-0.666667	-0.666667	-0.666667	0.000000
[7,]	1.333333	1.333333	1.333333	-0.333333	0.666667	0.666667	0.000000	0.000000	0.000000	0.666667
[8,]	1.333333	1.333333	1.333333	-0.333333	0.666667	0.666667	0.000000	0.000000	0.000000	0.666667
[9,]	1.333333	1.333333	1.333333	-0.333333	0.666667	0.666667	0.000000	0.000000	0.000000	0.666667
[10,]	0.666667	0.666667	0.666667	-1.000000	0.000000	0.000000	-0.666667	-0.666667	-0.666667	0.000000

Fonte: Autor (2021)

Tabela 62 – Valores ponderados das frações pelos pesos em cada critério

[[1]]										
	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000e+00	0.8023333	0	0	0.000000e+00	0	0	1.6046667	0.0000000	0
[2,]	0.000000e+00	0.0000000	0	0	0.000000e+00	0	0	0.0000000	0.0000000	0
[3,]	0.000000e+00	1.6046667	0	0	0.000000e+00	0	0	2.4070000	0.8023333	0
[4,]	0.000000e+00	1.6046667	0	0	0.000000e+00	0	0	2.4070000	0.8023333	0
[5,]	0.000000e+00	0.8023333	0	0	0.000000e+00	0	0	1.6046667	0.0000000	0
[6,]	0.000000e+00	1.6046667	0	0	0.000000e+00	0	0	2.4070000	0.8023333	0
[7,]	4.011667e-01	2.4070000	0	0	4.011667e-01	0	0	2.4070000	1.6046667	0
[8,]	0.000000e+00	0.0000000	0	0	0.000000e+00	0	0	0.0000000	0.0000000	0
[9,]	0.000000e+00	0.0000000	0	0	0.000000e+00	0	0	0.4011667	0.0000000	0
[10,]	2.672307e-16	2.0058333	0	0	2.672307e-16	0	0	2.4070000	1.2035000	0
[[2]]										
	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000e+00	0.000000e+00	1.780	1.780	0	1.424	0.000000e+00	1.780	0	0.000000e+00
[2,]	0.000000e+00	0.000000e+00	1.780	1.780	0	1.424	0.000000e+00	1.780	0	0.000000e+00
[3,]	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000	0.000	0	0.000	0.000000e+00	0.000	0	0.000000e+00
[4,]	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000	0.000	0	0.000	0.000000e+00	0.000	0	0.000000e+00
[5,]	2.371436e-16	2.371436e-16	2.136	2.136	0	2.136	2.371436e-16	2.136	0	2.371436e-16
[6,]	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000	0.000	0	0.000	0.000000e+00	0.000	0	0.000000e+00
[7,]	0.000000e+00	0.000000e+00	1.780	1.780	0	1.424	0.000000e+00	1.780	0	0.000000e+00
[8,]	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000	0.000	0	0.000	0.000000e+00	0.000	0	0.000000e+00
[9,]	3.560000e-01	3.560000e-01	2.136	2.136	0	2.136	3.560000e-01	2.136	0	3.560000e-01
[10,]	0.000000e+00	0.000000e+00	1.780	1.780	0	1.424	0.000000e+00	1.780	0	0.000000e+00
[[3]]										
	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000e+00	0	0	0.0000000	0	0	0.000000e+00	0	0.000000e+00	0.000000e+00
[2,]	1.036667e-01	0	0	0.4146667	0	0	1.036667e-01	0	1.036667e-01	1.036667e-01
[3,]	1.036667e-01	0	0	0.4146667	0	0	1.036667e-01	0	1.036667e-01	1.036667e-01
[4,]	0.000000e+00	0	0	0.0000000	0	0	0.000000e+00	0	0.000000e+00	0.000000e+00
[5,]	0.000000e+00	0	0	0.1036667	0	0	0.000000e+00	0	0.000000e+00	0.000000e+00
[6,]	1.036667e-01	0	0	0.4146667	0	0	1.036667e-01	0	1.036667e-01	1.036667e-01
[7,]	0.000000e+00	0	0	0.0000000	0	0	0.000000e+00	0	0.000000e+00	0.000000e+00
[8,]	6.905587e-17	0	0	0.3110000	0	0	6.905587e-17	0	6.905587e-17	6.905587e-17
[9,]	0.000000e+00	0	0	0.0000000	0	0	0.000000e+00	0	0.000000e+00	0.000000e+00
[10,]	0.000000e+00	0	0	0.0000000	0	0	0.000000e+00	0	0.000000e+00	0.000000e+00
[[4]]										
	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0	0	0	0	0	0	0	0	0.387	0.387
[2,]	0	0	0	0	0	0	0	0	0.387	0.387
[3,]	0	0	0	0	0	0	0	0	0.387	0.387
[4,]	0	0	0	0	0	0	0	0	0.387	0.387
[5,]	0	0	0	0	0	0	0	0	0.387	0.387
[6,]	0	0	0	0	0	0	0	0	0.387	0.387
[7,]	0	0	0	0	0	0	0	0	0.387	0.387
[8,]	0	0	0	0	0	0	0	0	0.387	0.387
[9,]	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000
[10,]	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000

```

[[5]]
      [,1] [,2]      [,3]      [,4] [,5]      [,6] [,7]      [,8] [,9] [,10]
[1,] 0.0000000 0 0.000000 2.536000 0 2.1133333 0 0.0000000 0 0
[2,] 0.0000000 0 1.268000 2.536000 0 2.5360000 0 0.0000000 0 0
[3,] 0.0000000 0 0.000000 1.690667 0 0.8453333 0 0.0000000 0 0
[4,] 0.0000000 0 0.000000 0.000000 0 0.0000000 0 0.0000000 0 0
[5,] 0.0000000 0 1.268000 2.536000 0 2.5360000 0 0.0000000 0 0
[6,] 0.0000000 0 0.000000 0.000000 0 0.0000000 0 0.0000000 0 0
[7,] 0.8453333 0 2.113333 2.536000 0 2.5360000 0 0.8453333 0 0
[8,] 0.0000000 0 0.000000 2.536000 0 2.1133333 0 0.0000000 0 0
[9,] 0.8453333 0 2.113333 2.536000 0 2.5360000 0 0.8453333 0 0
[10,] 0.0000000 0 1.268000 2.536000 0 2.5360000 0 0.0000000 0 0

```

```

[[6]]
      [,1]      [,2]      [,3] [,4]      [,5]      [,6] [,7] [,8] [,9]      [,10]
[1,] 0.00000e+00 0.00000e+00 0.00000e+00 0 0.00000e+00 0.00000e+00 0.0000 0 0.0000 0.00000e+00
[2,] 0.00000e+00 0.00000e+00 0.00000e+00 0 0.00000e+00 0.00000e+00 0.0000 0 0.0000 0.00000e+00
[3,] 0.00000e+00 0.00000e+00 0.00000e+00 0 0.00000e+00 0.00000e+00 0.0000 0 0.0000 0.00000e+00
[4,] 6.50000e-03 6.50000e-03 6.50000e-03 0 6.50000e-03 6.50000e-03 0.0260 0 0.0260 6.50000e-03
[5,] 0.00000e+00 0.00000e+00 0.00000e+00 0 0.00000e+00 0.00000e+00 0.0000 0 0.0000 0.00000e+00
[6,] 0.00000e+00 0.00000e+00 0.00000e+00 0 0.00000e+00 0.00000e+00 0.0000 0 0.0000 0.00000e+00
[7,] 0.00000e+00 0.00000e+00 0.00000e+00 0 0.00000e+00 0.00000e+00 0.0000 0 0.0000 0.00000e+00
[8,] 4.32987e-18 4.32987e-18 4.32987e-18 0 4.32987e-18 4.32987e-18 0.0195 0 0.0195 4.32987e-18
[9,] 0.00000e+00 0.00000e+00 0.00000e+00 0 0.00000e+00 0.00000e+00 0.0000 0 0.0000 0.00000e+00
[10,] 0.00000e+00 0.00000e+00 0.00000e+00 0 0.00000e+00 0.00000e+00 0.0000 0 0.0000 0.00000e+00

```

```

[[7]]
      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8] [,9] [,10]
[1,] 0.000 0 0 0 0.000 0 0 0.000 0 0
[2,] 0.222 0 0 0 0.000 0 0 0.000 0 0
[3,] 0.222 0 0 0 0.000 0 0 0.000 0 0
[4,] 0.370 0 0 0 0.074 0 0 0.074 0 0
[5,] 0.074 0 0 0 0.000 0 0 0.000 0 0
[6,] 0.148 0 0 0 0.000 0 0 0.000 0 0
[7,] 0.148 0 0 0 0.000 0 0 0.000 0 0
[8,] 0.074 0 0 0 0.000 0 0 0.000 0 0
[9,] 0.148 0 0 0 0.000 0 0 0.000 0 0
[10,] 0.370 0 0 0 0.074 0 0 0.074 0 0

```

```

[[8]]
      [,1]      [,2]      [,3] [,4]      [,5] [,6] [,7]      [,8] [,9] [,10]
[1,] 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0 0.0000000 0 0 0.000000e+00 0 0
[2,] 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0 0.0000000 0 0 0.000000e+00 0 0
[3,] 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0 0.0000000 0 0 0.000000e+00 0 0
[4,] 2.4408333 0.9763333 0.9763333 0 2.4408333 0 0 4.881667e-01 0 0
[5,] 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0 0.0000000 0 0 0.000000e+00 0 0
[6,] 0.9763333 0.0000000 0.0000000 0 0.9763333 0 0 0.000000e+00 0 0
[7,] 1.9526667 0.4881667 0.4881667 0 1.9526667 0 0 3.251843e-16 0 0
[8,] 0.4881667 0.0000000 0.0000000 0 0.4881667 0 0 0.000000e+00 0 0
[9,] 0.9763333 0.0000000 0.0000000 0 0.9763333 0 0 0.000000e+00 0 0
[10,] 0.9763333 0.0000000 0.0000000 0 0.9763333 0 0 0.000000e+00 0 0

```

```

[[9]]
      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8] [,9] [,10]
[1,] 0.0000000 0 0 0 0 0 0 0 0 0
[2,] 0.7783333 0 0 0 0 0 0 0 0 0
[3,] 0.7783333 0 0 0 0 0 0 0 0 0
[4,] 1.9458333 0 0 0 0 0 0 0 0 0
[5,] 1.9458333 0 0 0 0 0 0 0 0 0
[6,] 1.9458333 0 0 0 0 0 0 0 0 0
[7,] 1.5566667 0 0 0 0 0 0 0 0 0
[8,] 1.5566667 0 0 0 0 0 0 0 0 0
[9,] 1.9458333 0 0 0 0 0 0 0 0 0
[10,] 1.9458333 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

```

[[10]]
      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8] [,9] [,10]
[1,] 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 0 0 0 0 0
[2,] 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 0 0 0 0 0
[3,] 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 0 0 0 0 0
[4,] 0.4950 0.4950 0.4950 0 0 0 0 0 0 0
[5,] 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 0 0 0 0 0
[6,] 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 0 0 0 0 0
[7,] 0.2475 0.2475 0.2475 0 0 0 0 0 0 0
[8,] 0.2475 0.2475 0.2475 0 0 0 0 0 0 0
[9,] 0.2475 0.2475 0.2475 0 0 0 0 0 0 0
[10,] 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 0 0 0 0 0

```

Fonte: Autor (2021)



Tabela 63 – Valores de dominância relativa e taxas de performance das alternativas

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]
[1,]	0.000000	0.8023333	1.780000	4.3160000	0.0000000	3.5373333	0.000000e+00	3.384667	0.3870000	0.3870000
[2,]	1.104000	0.0000000	3.048000	4.7306667	0.0000000	3.9600000	1.036667e-01	1.780000	0.4906667	0.4906667
[3,]	1.104000	1.6046667	0.000000	2.1053333	0.0000000	0.8453333	1.036667e-01	2.407000	1.2930000	0.4906667
[4,]	5.258167	3.0825000	1.477833	0.0000000	2.5213333	0.0065000	2.600000e-02	2.969167	1.2153333	0.3935000
[5,]	2.019833	0.8023333	3.404000	4.7756667	0.0000000	4.6720000	2.371436e-16	3.740667	0.3870000	0.3870000
[6,]	3.173833	1.6046667	0.000000	0.4146667	0.9763333	0.0000000	1.036667e-01	2.407000	1.2930000	0.4906667
[7,]	5.151333	3.1426667	4.629000	4.3160000	2.3538333	3.9600000	0.000000e+00	5.032333	1.9916667	0.3870000
[8,]	2.366333	0.2475000	0.247500	2.8470000	0.4881667	2.1133333	1.950000e-02	0.000000	0.4065000	0.3870000
[9,]	4.519000	0.6035000	4.496833	4.6720000	0.9763333	4.6720000	3.560000e-01	3.382500	0.0000000	0.3560000
[10,]	3.292167	2.0058333	3.048000	4.3160000	1.0503333	3.9600000	0.000000e+00	4.261000	1.2035000	0.0000000
[1]	14.594333	15.707667	9.953667	16.950333	20.188500	10.463833	30.963833	9.122833	24.034167	23.136833
[1]	16.094									
[1]	0.101	0.108	0.069	0.117	0.139	0.072	0.214	0.063	0.166	0.160

Fonte: Autor (2021)

Tabela 64 – Avaliação das taxas de dominância absoluta entre as alternativas

[1,]	NA	"Iver4 900"	"Bluefin 9"	"Bluefin 12"	"Bluefin 21"	"A9-M"	"A18-M"	"LAUV"	"GAVIA"	"REMUS 100M"	"REMUS 300M"
[2,]	"Iver4 900"	"0"	"-0.02"	"0.04"	"-0.06"	"-0.13"	"0.02"	"-0.32"	"0.06"	"-0.26"	"-0.18"
[3,]	"Bluefin 9"	"0.02"	"0"	"0.09"	"0.1"	"-0.05"	"0.15"	"-0.19"	"0.1"	"-0.01"	"-0.09"
[4,]	"Bluefin 12"	"-0.04"	"-0.09"	"0"	"0.04"	"-0.21"	"0.05"	"-0.28"	"0.13"	"-0.2"	"-0.16"
[5,]	"Bluefin 21"	"0.06"	"-0.1"	"-0.04"	"0"	"-0.14"	"-0.03"	"-0.27"	"0.01"	"-0.21"	"-0.24"
[6,]	"A9-M"	"0.13"	"0.05"	"0.21"	"0.14"	"0"	"0.23"	"-0.15"	"0.2"	"-0.04"	"-0.04"
[7,]	"A18-M"	"-0.02"	"-0.15"	"-0.05"	"0.03"	"-0.23"	"0"	"-0.24"	"0.02"	"-0.21"	"-0.22"
[8,]	"LAUV"	"0.32"	"0.19"	"0.28"	"0.27"	"0.15"	"0.24"	"0"	"0.31"	"0.1"	"0.02"
[9,]	"GAVIA"	"-0.06"	"-0.1"	"-0.13"	"-0.01"	"-0.2"	"-0.02"	"-0.31"	"0"	"-0.18"	"-0.24"
[10,]	"REMUS 100M"	"0.26"	"0.01"	"0.2"	"0.21"	"0.04"	"0.21"	"-0.1"	"0.18"	"0"	"-0.05"
[11,]	"REMUS 300M"	"0.18"	"0.09"	"0.16"	"0.24"	"0.04"	"0.22"	"-0.02"	"0.24"	"0.05"	"0"

Fonte: Autor (2021)

## APÊNDICE B – Contribuições para a Pesquisa

Publicação do artigo "*Choosing a hospital assistance ship to fight the covid-19 pandemic*", na Revista de Saúde Pública, 2020;

Publicação do artigo "*multi-criteria analysis applied to aircraft selection by Brazilian Navy*", no periódico *Production*, 2021;

Publicação do artigo "*Strategy study to prioritize marketing criteria: an approach in the light of the DEMATEL method*", no periódico *Procedia Computer Science*, 2021;

Publicação do artigo "*Study of the Location of a Second Fleet for the Brazilian Navy: Structuring and Mathematical Modeling Using SAPEVO-M and VIKOR Methods*", como capítulo do livro *Communications in Computer and Information Science*, da editora Springer, 2021;

Publicação do artigo "*The SAPEVO-M-NC Method*", como capítulo do livro *Modern Management based on Big Data II and Machine Learning and Intelligent Systems*, da editora IOS Press Ebooks, 2021.

Publicação do artigo "*Investments in Times of Pandemics: An Approach by the SAPEVO-M-NC Method*", como capítulo do livro *Modern Management based on Big Data II and Machine Learning and Intelligent Systems*, da editora IOS Press Ebooks, 2021.

Publicação do artigo "*Algorithm Selection for Machine Learning Classification: An Application of the MELCHIOR Multicriteria Method*", como capítulo do livro *Modern Management based on Big Data II and Machine Learning and Intelligent Systems*, da editora IOS Press Ebooks, 2021.

Publicação do artigo "*Finance in times of crisis: Application of the SAPEVO-M method for composing investment portfolios*", no simpósio *INnovations for Systems Information and Decision Meeting* - INSID, 2020.

Publicação do artigo "*Improving transport logistics in a company: an approach based on the Soft Systems Methodology (SSM) and the FITradeoff method*", no simpósio *INnovations for Systems Information and Decision Meeting* - INSID, 2020.

Publicação do artigo "*Reducing heat emission in discharge ducts and increasing the global energy efficiency through energy cogeneration*", no evento *International Conference of Production Research, ICPR - Americas*, 2020.

Publicação do artigo "*Efficiency analysis and cavitation prediction: Choice of the most suitable propeller for a Brazilian Navy ship*", no evento *International Conference of Production Research, ICPR - Americas*, 2020.

Publicação do artigo "*Study of the location of a second fleet for the Brazilian Navy: Structuring and mathematical modeling using SAPEVO-M and VIKOR methods*", no evento *International Conference of Production Research, ICPR - Americas*, 2020.

Publicação do artigo "*Comparative analysis between waterjet and conventional propulsion: A new possibility for use in Brazilian Navy Ships.*", no evento *International Conference of Production Research, ICPR - Americas*, 2020.

Publicação do artigo "*Hospital aircraft in the fight against the coronavirus pandemic: structuring and modeling a complex problem using AHP and VFT methods*", no evento *International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, 2020.

Publicação do artigo "*Analysis of the technical and economic feasibility of using electric propulsion in Brazilian Navy passenger transport vessels: an approach of AHP method*", no evento *International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, 2020.

Publicação do artigo "*Application of the AHP-TOPSIS-2N hybrid method for selection of an attack helicopter to be acquired by the Brazilian Navy*", no evento *International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, 2020.

Publicação do resumo "*Technical and economic feasibility study for the implementation of electric propulsion in passenger transport vessels of the Brazilian Navy*", no evento *The 27th International Sustainable Development Research Society Conference*, 2021.

Publicação do resumo expandido "*Avaliação edafoclimática e econômica de regiões para o plantio de mogno africano: uma abordagem à luz do método ELECTRE-MOr*", no *Congresso Internacional XXXIII ENDIO - XXXI EPIO - RED-M IX Virtual*, 2020.

Publicação do resumo expandido "*Economic and edafoclimatic evaluation of Brazilian regions for african mahogany planting: An approach by the COPELAND, SAPEVO-M-NC and REGIME methods*", no 22nd Conference of the International Federation of Operational Research Societies, 2021.

Artigo aceito para publicação "*Strategic support for the distribution of vaccines against Covid-19 to Brazilian remote areas: A multicriteria approach in the light of the ELECTRE-MOr method*", *Procedia Computer Science, ELSEVIER*, 2022.

Artigo aceito para publicação "*Economic and edaphoclimatic evaluation of Brazilian regions for African mahogany planting - an approach using the SAPEVO-M-NC ordinal method*", *Procedia Computer Science, ELSEVIER*, 2022.

Artigo aceito para publicação "*Strategic support for the distribution of vaccines against Covid-19 to Brazilian remote areas: A multicriteria approach in the light of the ELECTRE-MOr method*", *Procedia Computer Science, ELSEVIER*, 2022.

### **Artigos publicados em congressos nacionais:**

Publicação do artigo "*Avaliação operacional de sistemas propulsivos: possibilidades futuras de aplicação do hidrojetado nos meios navais da Marinha do Brasil*", no *Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa (SIGE)*, 2020.

Publicação do artigo "*Investimentos em tempos de pandemia – uma abordagem pelos métodos MOMENTUM e SAPEVO-M-NC*", no *IX Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP 2021*

Publicação do artigo "Investimentos em tempos de pandemia – uma abordagem pelos métodos MOMENTUM e SAPEVO-M-NC", no IX Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP 2021

Publicação do artigo "Apoio humanitário ao combate à pandemia de COVID-19 no estado do Amazonas: uma abordagem multicritério para escolha de navio de assistência hospitalar da Marinha do Brasil mais adequado a ser empregado", no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2020.

Publicação do artigo "Análise da viabilidade técnica e econômica de implantar a propulsão elétrica em embarcações de transporte de passageiros da Marinha do Brasil: uma abordagem à luz do método AHP", no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2020.

Publicação do artigo "Abordagem multicritério para seleção do navio de assistência hospitalar da Marinha do Brasil mais adequado a ser empregado no combate à covid-19 no Amazonas", no Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, SEGET, 2020.

Publicação do artigo "Aplicação do método *Simple Aggregation Of Preferences Expressed By Ordinal Vectors* (SAPEVO-M) para alocação de recursos em uma carteira de investimentos", no Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, SEGET, 2020.

Publicação do artigo "Aplicação dos métodos AHP e SAPEVO-M na análise da viabilidade técnica e econômica de se implantar a propulsão elétrica em embarcações de transporte de passageiros da Marinha do Brasil", no Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, SEGET, 2020.

Publicação do artigo "Importância da simulação na formação do oficial da Armada da Marinha do Brasil", no IV Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação, SENGI, 2021.

Publicação do artigo "Avaliação econômica e edafoclimática de regiões brasileiras para o plantio de mogno africano – uma abordagem pelos métodos ordinais: COPELAND, ARGUS e SAPEVO-M-NC", no IV Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação, SENGI, 2021.

Publicação do artigo "Investimentos em tempos de pandemia: uma abordagem pelos métodos MOMENTUM e SAPEVO-M-NC", no XLI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2021.

Publicação do artigo "Análise multicritério para seleção de portfólio de projetos em uma empresa de desenvolvimento de software: Uma abordagem à luz do método MELCHIOR", no XLI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2021.

Publicação do artigo "Estudo estratégico para o gerenciamento de cursos ofertados por uma empresa de treinamentos corporativos: uma abordagem à luz dos métodos ELECTRE-MOr e SAPEVO-M-NC", no XLI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2021.

Publicação do artigo "Uma revisão sistemática dos métodos multicritério ordinais", no XLI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2021.

Publicação do artigo “Avaliação econômica e edafoclimática de regiões brasileiras para o plantio de mogno africano - uma abordagem pelos métodos ordinais: ARGUS e SAPEVO-M-NC”, XLI Encontro Nacional De Engenharia De Produção (ENEGEP), 2021.

Publicação do artigo “Uma revisão sistemática dos métodos multicritério ordinais”, XLI Encontro Nacional De Engenharia De Produção (ENEGEP), 2021.

Publicação do artigo "Aquisição de um helicóptero de ataque para o Corpo de Fuzileiros Navais: um olhar sob a perspectiva do método AHP-TOPSIS-2N”, no XXVII Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP), 2020.

Publicação do artigo "Resfriamento do ar de admissão em turbinas a gás: uma análise matemática sobre a eficiência da propulsão de navios da Marinha do Brasil”, no XXVII Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP), 2020.

Publicação do artigo "Ordenação de softwares ERP a partir do método multicritério THOR: estudo de caso de uma empresa de materiais de construção”, no XXIII Seminários em Administração (SEMEAD), 2020.

Publicação do artigo “Estudo de viabilidade técnica e econômica da implantação da propulsão elétrica em embarcações de transporte de passageiros da Marinha do Brasil: uma comparação dos métodos AHP e SAPEVO-M”, no 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET.

Publicação do artigo "Análise da viabilidade técnica e econômica de regiões para o plantio do mogno africano: uma abordagem à luz do método SAPEVO-M”, no 15º Congresso Brasileiro de Sistemas - CBS, 2020.

Publicação do artigo “Aplicação do método Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors (SAPEVO-M) para uma problemática de distribuição: Formação de portfólio de investimentos”, XL Encontro Nacional De Engenharia De Produção (ENEGEP), 2020.

### **Apresentações**

Apresentação sobre o método “SAPEVO-M-NC”, na Casa da Pesquisa Operacional

Apresentação sobre o método “*Analytic Network Process (ANP) and Super Decisions Software*”, na Casa da Pesquisa Operacional

Apresentação sobre o método “*QUALitative FLEXible method*”, na Casa da Pesquisa Operacional

### **Revisor de Periódicos:**

*A comparative study on the supervision of asset appraisal industry between China and foreign countries. 2nd International Conference on Modern Management based on Big Data (MMBD2021), Quanzhou, China.*

*A new approach to the AHP method in the selection of a medium-sized warship to be built in Brazil. 2nd International Conference on Modern Management based on Big Data (MMBD2021), Quanzhou, China.*

*Multicriteria analysis in Additive Manufacturing: an ELECTRE-MOr based approach. 2nd International Conference on Modern Management based on Big Data (MMBD2021), Quanzhou, China.*

*Strategic analysis for the installation of field hospitals for COVID-19 control: an approach based on P median model. 2nd International Conference on Modern Management based on Big Data (MMBD2021), Quanzhou, China.*

ANEXO A – Folhas de Dados dos AUV's

PRODUCTS



A9-M / AUV

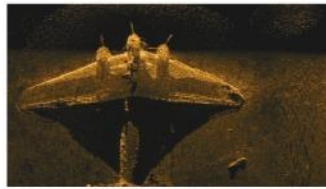
MEN PORTABLE LOW SIGNATURE AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE



A9-M in operation  
Stable and Accurate Navigation



Vehicle before start mission order  
A9-M equipped with side scan sonar and Camera



A9 Sonar Data Quality and processing  
Software Operation on a submerged aircraft in open sea SSS Mozaic

**CHARACTERISTICS**

- BODY DIAMETER: 9 inches (23 cm)
- LENGTH: 200 cm
- WEIGHT: 70 Kg
- ENERGY SECTION: 2.1kWh
- NAVIGATION: INS (Inertial Navigation System), DVL, depth sensor and GPS
- COMMUNICATION: Radio (UHF), WiFi, Ethernet, Acoustic, Iridium on request
- SAFETY: Emergency pinger, Strobe light, Fault and leak detection, on request: Obstacle Avoidance System, Local Remote Control for surface recovery
- STANAG 1364 compliant (submitted to French export regulations)
- PAYLOAD: Side Scan Sonar, Video, SVP (CTD and environmental sensors on request)

**OPERATIONAL PERFORMANCES**

- ENDURANCE: up to 20 hours (with 2 Energy sections)
- MAX SPEED: over 5 knots
- NOMINAL SPEED: 3 knots
- OPERATIONAL DEPTHS: 3-300 m

**SIDE SCAN SPECIFICATIONS**

- Frequency: 455 kHz / 900 kHz dual simultaneous
- Pulse Technology Wideband FM Chirp (1, 2, 4, 8 msec)
- Across Track Resolution: 2,4 cm (455 kHz, 900 kHz)
- Horizontal Beamwidth 0,34°: [455 kHz and 900 kHz]
- Swath Range: 2\*150 m @ 455 kHz 2\*75m @ 900 kHz

**OPTIONS**

- Obstacle Avoidance System
- Satellite Communication
- Interferometric Side Scan Sonar
- CTD
- Additional Energy Section
- Local Remote Control for surface recovery
- Handling and maintenance tools
- USBL

683016-15/10/2020 - ECA GROUP reserves the right to vary the content anytime without prior notice



www.ecagroup.com

**ASIA - PACIFIC**

ECA GROUP ASIA  
33 Ubi Avenue 3, Vertex #02-32  
Singapore 408868  
Phone: +65.6636 5459  
E-mail: eca-asia@ecagroup.com

**FRANCE & OTHER COUNTRIES**

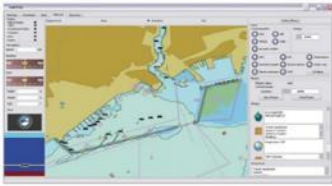
ECA ROBOTICS  
Z.I. Toulon Est - 262, rue des frères Lumière  
83130 La Garde - France  
Phone: +33 4 94 08 90 00 - Fax: +33 4 94 08 90 70  
E-mail: sales.robotics@ecagroup.com

## PRODUCTS



## A18-M / AUV

MID SIZE AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE FOR MINE AND UXO DETECTION, CLASSIFICATION AND LOCALIZATION



User friendly mission management system



A18-M in its MBES and LARS configuration



A18-M in operation



Post Processing Results

### CHARACTERISTICS

- BODY DIAMETER: 18 inches (46.5 cm)
- LENGTH: from 4.5 m
- WEIGHT: from 442 kg
- ENERGY SECTION: 10.9 kWh
- NAVIGATION: Inertial Navigation System (INS), Doppler Velocity Log (DVL), Global Positioning System (GPS)
- COMMUNICATION: Broadband Radio or WiFi, Ethernet, Iridium, Acoustic
- SAFETY: Emergency pinger, Strobe light, Fault and Leak detection, Obstacle Avoidance System, Iridium beacon, Local Remote Control for Surface Recovery
- STANAG 1364 compliance (Submitted to French export regulations)
- PAYLOAD: Synthetic Aperture Sonar (SAS), CTD
- Air transportable according to UN38.3 standard

### OPERATIONAL PERFORMANCES

- ENDURANCE: up to 24 hours at 3 knots
- MAX SPEED: up to 6 knots
- NOMINAL SPEED: 3-5 knots
- OPERATIONAL DEPTH: 3-300 m

### PAYLOAD PERFORMANCES

- AREA COVERAGE RATE (ACR): 1.9 km<sup>2</sup> / h at 4 knots
- FREQUENCY: 300 kHz
- MAX RANGE: 180 m
- MAX SWATH: 360 m
- RESOLUTION: 3 cm x 3 cm

### OPTIONS

- Multibeam Echosounder (MBES) or Volume Search Sonar (VSS)
- Still or Video Camera
- Turbidity sensor
- Additional sensors on request
- USBL or LBL external tracking system
- Surface ship integration
- Containerized C3
- LARS for small, large ship, or containerized solution
- Black paint Scheme

683008 - 26/10/2021 - ECA GROUP reserves the right to vary the content anytime without prior notice



[www.ecagroup.com](http://www.ecagroup.com)

#### ASIA - PACIFIC

ECA GROUP ASIA  
33 Ubi Avenue 3, Vertex #02-32  
Singapore 408868  
Phone: +65.6636 5459  
E-mail: [eca-asia@ecagroup.com](mailto:eca-asia@ecagroup.com)

#### FRANCE & OTHER COUNTRIES

ECA ROBOTICS  
Z.I. Toulon Est - 262, rue des frères Lumière  
83130 La Garde - France  
Phone: +33 4 94 08 90 00 - Fax: +33 4 94 08 90 70  
E-mail: [sales.robotics@ecagroup.com](mailto:sales.robotics@ecagroup.com)



**GENERAL DYNAMICS**  
Mission Systems

## Bluefin® - 9

*Unmanned Underwater Vehicle (UUV)*



Most Powerful Sensor Package in  
a Two-Man Portable UUV

Expeditionary & Low Logistics for the  
Most Dynamic Missions

Side Scan Sonar w/ Full Swath Bathymetry

HD Machine Vision Camera

Sound Velocity Sensor + Temperature + Pressure

Turbidity

Fluorometry

The General Dynamics Mission Systems Bluefin®- 9 unmanned underwater vehicle (UUV) provides unmatched high-resolution data, leading navigation, data processing and mission turnaround time in a two-man portable UUV. Featuring a full carbon fiber body, a carefully selected and integrated suite of sensors, latest generation communications and navigational components, and new onboard processing capabilities, the Bluefin-9 is the professional's tool to KNOW WHAT'S BELOW.

**UNMATCHED DATA QUALITY** - Bluefin-9's integrated Sonardyne Solstice multi-aperture side scan sonar delivers a 200 meter swath range and ultra-high along-track resolution of 0.15°.

**PRECISE & RELIABLE NAVIGATION** - The Bluefin-9 provides precise navigation (0.3% D.T. CEP 50) and accurate, geo-referenced data by incorporating a high-performance Doppler Velocity Log (DVL) and Inertial Navigation System (INS).

**EXPEDITIONARY OPERATION** - The Bluefin-9 allows swapping of the 1.9 kWh battery and 1TB Removable Data Storage Module (RDSM) in 30 minutes or less. The modular, free-flooded architecture eases in-field maintenance and minimizes operational down-time.

**DATA WHEN YOU NEED IT** - The Bluefin-9 features advanced on-board data processing that offers operators access to processed sonar and camera data that is ready for post-mission analysis.

## Bluefin® - 9

When the data are mission critical, trust General Dynamics Mission Systems' Bluefin Robotics completely redesigned Bluefin-9 UUV to provide the most reliable and comprehensive data sets in a vehicle of its class.

### Sonardyne Solstice Multi-Aperture Sonar

The integrated Sonardyne Solstice multi-aperture sonar delivers high-resolution sonar imagery for hydrographic and bathymetric mapping. Each of the two Solstice arrays has 32 multibeam elements to dynamically focus along the whole length of the swath. High-resolution data across the entire swath results in maximum effective resolution, decreases false-positives, and improves operational efficiencies.

### 1TB Removable Data Storage Module (RDSM) With Camera

Bluefin-9's new RDSM acts as an independent data processor, generating and storing post-processed data with a simple interface to an operator's workstation. The RDSM contains a high-definition, machine vision-grade monochrome camera that captures still images and video. Imagery is geotagged for easy review during post-mission analysis.

### Dedicated Emergency Operations System

The Bluefin-9 is designed with an innovative emergency operations system that provides redundancy to the vehicle's core functions in the event of a failure. An independently powered low-power microcontroller ensures key communications systems are able to provide locational data and telemetry to an operator to facilitate prompt and safe recovery of the vehicle.

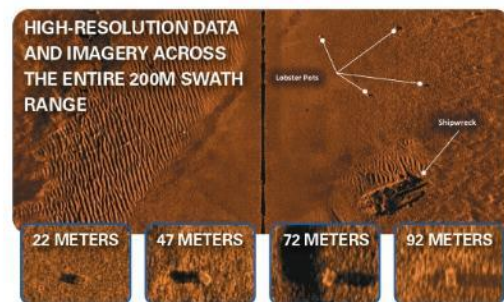
### 12-Month Standard Limited Warranty

Like all Bluefin Robotics solutions, the Bluefin-9 comes with General Dynamics quality, reliability, and support. Our 12-month limited warranty provides additional confidence that the Bluefin-9 is the platform of choice for the toughest and most vital missions.

### Technical Specifications

- **Diameter**
  - ~9.375" (23.8 cm) W x 10.375" (26.4 cm) H
  - Increased vehicle stability
- **Length**
  - 95.2" (248.1 cm)
- **Weight**
  - (Dry): 155 lb (70 kg)
- **Buoyancy**
  - Buoyant in Fresh and Salt Water
  - Seamless transition between water bodies
- **Lift Points**
  - Nose and Aft Mounted carrying handles for two man lift

- **Depth Rating**
  - 656' (200m)
- **Energy**
  - 1.9 kWh Rechargeable Lithium Ion battery
  - Designed for rapid removal and replacement – recharges in six hours using rugged battery charger
- **Endurance**
  - 8hr @ 3kt / 12hr @ 2kt
  - (2hr transit; 6 hr survey)
- **Speed**
  - Sustained up to 6 knots
- **Propulsion**
  - Gimballed, ducted thruster for propulsion and control
- **Navigation**
  - Realtime accuracy < 0.3% D.T. CEP 50
  - Dedicated Inertial Navigation System
  - Doppler Velocity Log
- **Integrated Payloads & Sensors**
  - Sonardyne Solstice 3000 Multi-aperture sonar
  - Removable Data Storage Module (RDSM) with Camera
  - Turbidity and Fluorometer Sensor
  - Sound Velocity Sensor + Temperature + Pressure
- **Antenna**
  - Integrated GPS, Wi-Fi, and Iridium with visible strobe
- **Communications**
  - Ethernet, Wi-Fi, Iridium, Acoustic
- **Safety Systems**
  - Ground Fault Detection, Leak Detection, Independently Powered Emergency Operations System
- **Software**
  - Bluefin Dashboard and Bluefin Planner
  - Optional SeeByte SeeTrack v4 interoperability



Lobster Pots. Approximate dimensions 800mm x 600 mm x 400mm

## GENERAL DYNAMICS Mission Systems

FOR MORE INFORMATION, PLEASE CONTACT:  
Justin Reid | 553 South Street | Quincy, MA 02169 | Justin.Reid@gd-ms.com | www.gdmissionsystems.com/bluefin

©2021 General Dynamics. All rights reserved. General Dynamics reserves the right to make changes in its products and specifications at anytime and without notice. All trademarks indicated as such herein are trademarks of General Dynamics. All other products and service names are the property of their respective owners. ® Reg. U.S. Pat. and Tm. Off.

PRI 1612 0019  
D-BF9-07-1221

**GENERAL DYNAMICS**  
Mission Systems

## Bluefin<sup>®</sup>-12 with Integrated Survey Package

*Unmanned Underwater Vehicle (UUV)*



Advanced, Mission-Ready and Modular  
Medium-Class UUV

Embedded On-Board Data Processing

Side Scan Sonar with Full Swath Bathymetry

Integrated Environmental Sensor Suite

HD Machine Vision Camera

Shared Bluefin UUV Infrastructure and Streamlined  
Logistics

The General Dynamics Mission Systems Bluefin<sup>®</sup>-12 is a lightweight medium-class unmanned underwater vehicle (UUV) designed to deliver mission critical data and complete operators' high-consequence and changing missions. Built with robust core capabilities, increased modularity, embedded intelligence, data processing, and extended operational range, Bluefin-12 is **READY FOR TODAY'S MISSION AND PREPARED FOR TOMORROW'S THREATS.**

**Core Capabilities** – The Bluefin-12 UUV is equipped with a suite of core sensors and capabilities delivering a low-logistics, high performance UUV.

**On-Board Data Processing** – Equipped with robust data processing power and a 1TB Removable Data Storage Module (RDSM), Bluefin-12 delivers actionable data at the conclusion of each mission.

**Unmatched Data Quality** – Bluefin-12's available Sonardyne Solstice multi-aperture side scan sonar delivers a 200 meter swath range and ultra-high along-track resolution of 0.15°.

**Precise and Reliable Navigation** – The Bluefin-12 provides precise navigation (0.1% D.T. CEP 50) and accurate, geo-referenced data by incorporating a high-performance Doppler Velocity Log (DVL) and Inertial Navigation System (INS).

**Mission-Based Modularity** – The Bluefin-12 provides greater than 4,000 cubic centimeters (4,150 cm<sup>3</sup>) of available payload space open for the integration of user-selected and mission-specific sensors.

## Bluefin®-12 with Integrated Survey Package

General Dynamics Mission Systems' Bluefin-12 UUV adapts and delivers mission critical capability and data over long-duration operations. The completely redesigned medium-class Bluefin-12 is the UUV to extend your mission capability.

### Mission-Based Modularity

The Bluefin-12 features a modular construction enabling the integration of user-selected and mission specific payloads. Four discrete modular sections enable efficient on-deck mission preparation, maintenance and refitting for continuous extended missions, including rapid access and maintenance of internal components.

### Integrated Intelligent Capabilities

Bluefin-12 delivers numerous capabilities that increase operational efficiency including collision avoidance, terrain following, and Automatic Target Recognition (ATR).

### 1TB Removable Data Storage Module (RDSM) with Camera

Bluefin-12's new RDSM acts as an independent data processor, generating and storing post-processed data with a simple interface to an operator's workstation. The RDSM contains a high-definition, machine vision-grade monochrome camera that captures still images and video. Imagery is geotagged for easy review during post-mission analysis.

### Technical Specifications

- **Diameter**
  - -12.8" (32 cm)
- **Length**
  - 15.8' (4.83 m)
- **Weight**
  - (Dry): 550 lb (250 kg) – with integrated survey package
- **Payload Capacity**
  - 4,150cm<sup>3</sup>
- **Buoyancy**
  - Buoyant in Fresh and Salt Water
  - Seamless Transition Between Water Bodies
- **Lift Points**
  - Nose, Mid-section, Aft Mounted Lift-Points
- **Depth Rating**
  - 656' (200 m)
- **Energy**
  - Four (4) 1.9 kWh Rechargeable Lithium Ion battery
  - Designed for Rapid Removal
  - Replaceable Individual Batteries Recharge in Six Hours
- **Endurance**
  - 24 hr @ 3kt / 36 hr @2kt
  - (4 hr Transit; 20 hr Survey)

- **Speed**
  - Sustained up to 6 knots
- **Propulsion**
  - Gimballed, Ducted Thruster for Propulsion and Control
- **Navigation**
  - Realtime Accuracy < 0.1% D.T. CEP 50
  - Doppler Velocity Log
- **Available Integrated Payloads and Sensors**
  - Sonardyne Solstice 3000 Multi-Aperture Sonar
  - Removable Data Storage Module (RDSM) with Camera
  - Turbidity and Fluorometer Sensor
  - Sound Velocity Sensor + Temperature + Pressure
- **Antenna**
  - Integrated GPS, Wi-Fi, and Iridium with Visible Strobe
- **Communications**
  - Ethernet, Wi-Fi, Iridium, Acoustic
- **Safety Systems**
  - Ground Fault Detection, Leak Detection, Independently Powered Emergency Operations System
- **Software**
  - Bluefin Dashboard and Bluefin Planner
  - Optional SeeByte SeeTrack v4 Interoperability



## GENERAL DYNAMICS Mission Systems

FOR MORE INFORMATION, PLEASE CONTACT:

Justin Reid | 553 South Street | Quincy, MA 02169 | Justin.Reid@gd-ms.com | www.gdmissionsystems.com/bluefin

©2021 General Dynamics. All rights reserved. General Dynamics reserves the right to make changes in its products and specifications at anytime and without notice. All trademarks indicated as such herein are trademarks of General Dynamics. TACLANE and GEM are trademarks of General Dynamics. HAIFE is a registered trademark of the NSA. All other products and service names are property of their respective owners. ® Reg. U.S. Pat. and Tm. Off.

D-BF12-10-1221



## Bluefin-21 BPAUV



The Battlespace Preparation Autonomous Underwater Vehicle (BPAUV) was designed specifically for U.S. Navy mine countermeasure (MCM) missions in shallow water. BPAUV, a custom configuration of the Bluefin-21 vehicle, can operate in a variety of weather conditions without compromising navigation performance or data integrity.

**QUALITY IMAGERY** – As demonstrated in a series of Fleet Battle Experiments, BPAUV covertly gathers accurate bathymetry and bottom classification data for use in the critical, early stages of battlespace preparation. BPAUV's high-performance 455 kHz side scan sonar provides a 10-centimeter resolution along track and a 7.5-centimeter resolution across track out to 75 meters. Larger ranges to 150 meters are available with reduced resolution.

**OPERATIONAL FLEXIBILITY** – BPAUV's compact size and ability to be launched and recovered from a simple A-frame or docking head allow it to take advantage of ships of opportunity. The design includes field-swappable batteries and subsystems, which facilitate maintenance for greater deployment efficiency.

**ACCURATE NAVIGATION** – BPAUV's high-performance, self-contained navigation system eliminates the need to deploy acoustic beacons on the seafloor, reducing the logistical requirements of the mission. Bluefin's navigation software combines information from the IMU and multiple other sensors – including GPS, a DVL, and a compass – to provide accurate navigation with an error of less than 0.5% of distance traveled, yielding higher quality data.



BPAUV beginning a mine countermeasure mission

### Applications

- Mine Countermeasures (MCM)
- Unexploded Ordnance (UXO)
- Anti-Submarine Warfare (ASW)
- Rapid Environmental Assessment (REA)
- Oceanography

# Bluefin-21 BPAUV

<b>Diameter</b>	21 in (53 cm)
<b>Length</b>	10.8 ft (3.3 m)
<b>Weight (Dry)</b>	785 lb (357 kg)
<b>Buoyancy</b>	- 10.9 lb (4.5 kg) net positive
<b>Lift Points</b>	1 (located mid-vehicle)
<b>Depth Rating</b>	656 ft (200 m)
<b>Endurance</b>	18 hours @ 3 knots with standard payload
<b>Speed</b>	Up to 4 knots
<b>Energy</b>	7 kWh of total energy Two 3.5 kWh battery packs Lithium-polymer, pressure-tolerant
<b>Propulsion</b>	Gimbaled, ducted thruster for propulsion and control
<b>Navigation</b>	Real-time accuracy $\leq$ 0.5% of D.T. CEP 50 IMU, DVL, compass, CTD and GPS
<b>Antenna</b>	Integrated — GPS, RF, Iridium and strobe
<b>Communications</b>	RF, Iridium and acoustic; Ethernet via shore power cable
<b>Safety Systems</b>	Fault and leak detection, dropweight, acoustic tracking transponder, strobe, RDF and Iridium (all independently powered)
<b>Software</b>	GUI-based Operator Tool Suite
<b>Data Management</b>	4 GB flash drive for vehicle data
<b>Standard Payload</b>	Klein 5500 455 kHz multibeam side scan sonar (w/data storage)  Sea-Bird FastCAT SBE49 CTD  WET Labs BB2F turbidity meter



Multiple BPAUVs have been delivered to the U.S. Navy



Side scan sonar imagery collected by BPAUV during a mission



**SYSTEM PACKAGE** — The BPAUV comes as a part of a comprehensive system package primarily consisting of the vehicle, support equipment, spares, software, training and 1-year warranty.



**OPERATOR TOOL SUITE** — Each system includes an intuitive software package that provides the interface between the AUV and operator for all phases of a mission, including planning, monitoring and execution, data management, and post-mission analysis.

Teledyne Gavia Autonomous Underwater Vehicle

# Gavia Autonomous Underwater Vehicle

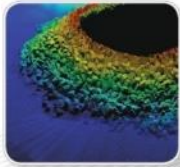
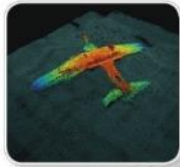
Complete Survey Solution in Four Depth Options



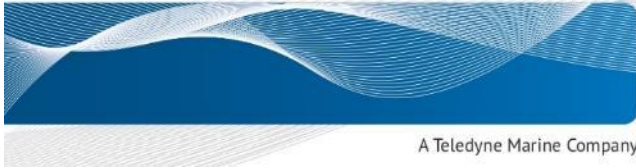
AUTONOMOUS  
LOW LOGISTICS  
MODULAR  
COMMERCIAL  
DEFENSE/SECURITY  
SCIENTIFIC



SeaReptor (3000m & 6000m)



Gavia AUV (500m & 1000m)



A Teledyne Marine Company

**Gavia AUV 500M & 1000M**

**Complete Survey Solution in a Low Logistics AUV**

THE GAVIA AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE (AUV) is a self contained, low logistics, modular survey platform capable of delivering high quality data while operating from vessels of opportunity or from the shore.

The AUV's modularity makes it easily reconfigurable, even between dives. The vehicles' ease of use and versatility sets it apart from other systems on the market. The Gavia AUV system can serve a multitude of purposes without sacrificing performance or data quality.



**COMMERCIAL APPLICATIONS**

The Gavia AUV can be a productive asset to any commercial survey operation and has been proven in real world environments, providing cost effective data when compared to traditional means using surface vessels and ROVs. Multiple sonar options provide the customer with a full suite of survey sensors including side scan, swath bathymetry, sub-bottom profiling, and gap fill.



Side scan image of a mine-like object captured at 900 kHz.

**DEFENSE AND SECURITY APPLICATIONS**

The Gavia AUV can carry a variety of sensors that are especially well suited for military and security applications. The system is field proven for applications that include MCM, SAR, and ASW training. The field-changeable and easily transportable modules make it well suited for rapid response to emerging requirements.



Wreck of a small fishing boat captured on a 900kHz side scan.

**SCIENTIFIC APPLICATIONS**

The Gavia AUV has the ability to carry both user designed payload modules and an array of typical scientific standards, which makes it the ideal tool for researchers gathering a variety of data in depths up to 1000m. The Science Bay Module allows easy integration of common science sensors.

**TECHNICAL SPECIFICATIONS**

<b>Length:</b>	1.8 - 4.5m (configuration dependent)
<b>Weight in air:</b>	50 - 130kg (configuration dependent)
<b>Diameter:</b>	200mm
<b>Depth rating:</b>	500m or 1000m
<b>Battery module:</b>	1.5KWh lithium ion rechargeable cells per module. Up to 3 battery modules can be used on the vehicle for enhanced endurance.
<b>Max speed:</b>	> 5.5 knots
<b>Endurance:</b>	Dependent on speed and exact configuration. Typical Defence or Scientific configuration 7-8 hours at 3 knots per rechargeable battery module. Typically 5-6 hours at 3 knots per rechargeable battery module with all sensors (including swath bathymetry). Vehicle can be operated with up to 3 batteries for increased endurance or batteries can be field swapped for continuous operations.

**Communication**

<b>Wireless LAN:</b>	IEEE 802.11g compliant
<b>Satellite communications:</b>	Full global coverage via Iridium link
<b>Acoustic modem:</b>	For tracking and status updates

**Navigation**

High accuracy DGPS ready receiver  
High-precision DVL-aided Inertial Navigation Systems (INS) from iXBlue and Kearfott with Teledyne RDI Doppler Velocity Log (DVL) and direct sound velocity meter.  
Positioning accuracy can be maintained over longer duration deployments by utilizing Ultra Short Baseline (USBL) or ranging to bottom-moored Long Baseline (LBL) transponders (optional).

**Features**

- 2-man portable/deployable
- Greatest depth rating in its class - rated to 1000m
- Operations from vessels of opportunity
- Compact, optimized for overnight shipping
- Modular construction, maximum flexibility
- High-accuracy survey-grade INS navigation with USBL and LBL aiding (non-ITAR configurations available)
- Chart-based graphical user interface
- Wide array of additional sensors available
- No installation or calibration of peripherals required
- Over the horizon communications through Iridium



MARKET	COMMERCIAL (Recommended Vehicle Configurations)				DEFENSE AND SECURITY (Recommended Vehicle Conf		
	Pipeline and Platform Inspection	Bathymetric/sub-bottom	Construction Support	Post Hurricane Inspection	Mine countermeasures (MCM)/Port Security	Anti-Submarine Warfare (ASW) Training	Rapid Environmental Assessment (REA)
<b>BASE VEHICLE - 500M &amp; 1000M</b>							
Base Vehicle Includes: Nosecone module, Battery Module, Control Module, Propulsion Module	X	X	X	X	X	X	X
<b>SONAR OPTIONS</b>							
Klein Side Scan (separate module)	X	X	X	X	X		X
Edgetech Side Scan (on Control Module)	X	X	X	X	X		X
Interferometric Geoswath/Klein	X	X	X	X	O		X
Sub-bottom Profiling Module	O	X	X	O			O
BlueView MB-2250 Micro Bathymetry Module	X	X	O	O	O		O
<b>POSITIONING</b>							
DVL-Aided INS Module (various options)	X	X	X	X	X	X	X
USBL/LBL	O	O	O	O	O		O
<b>SCIENTIFIC OPTIONS</b>							
Science Bay w/ science sensor options	O						
CTD/SV (various options)	O						
Dissolved Oxygen	O						
ECO pucks (various config)	O						
<b>ADCP</b>							
Custom payloads							
<b>COMMUNICATIONS</b> Intranet & LAN/WLAN Included on all systems							
Acoustic Modem	X	X	X	X	X	O	X
<b>MISC OPTIONS</b>							
Camera option	X	X	X	X	X		X
Magnetometer					O		
Sonar Training Module						X	
<b>RECOVERY AIDS</b>							
Nosecone release	O	O	O	O	O	O	O
LARS Cage	O	O	O	O	O	O	O
<b>POST MISSION ANALYSIS</b>							
Teledyne Caris	O	O	O	O			
SonarWIZ	O	O	O	O			
SeeByte See Track					O		
SeeByte AutoTracker	O						

X = Recommended O = Optional

Configurations)	SCIENTIFIC (Recommended Vehicle Configurations)			
	Oceanography, habitat assessment	Hydrography, bathymetric surveys, bottom classification	Archeology, wreck location & mapping	Current profiling & under ice surveying
X	X	X	X	X
X		X	X	X
X		X	X	X
O		X	O	X
O		X	O	
O		X	O	O
X	X	X	X	X
O	O	O	O	O
	X	X		X
	X	O		X
	X	O		X
	X	O		O
	X	O		X
	O	O		O
X	X	X	X	X
X	X	O	X	O
			O	
O	O	O	O	O
O	O	O	O	O

# Gavia

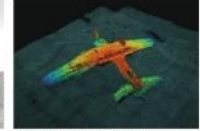
Autonomous Underwater Vehicles

## Northrop Data Sets

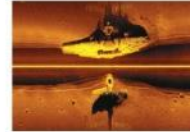
Crashed by Reykjavik Airport during WW2



Northrop N-3PB.



BlueView MBES image of target.



1800 kHz Side Scan Sonar image of target.



Detail of bottom hatch from the Gavia camera system.

## Gavia AUV Modularity

The modular construction of the Gavia AUV allows the user to conduct a variety of missions with field-changeable modules. Additional modules can be purchased at later dates to increase capability as mission requirements dictate.





# IVER4 900 UNMANNED UNDERWATER VEHICLE (UUV)

**STANDARD CONFIGURATION**  
Length, Diameter and Weight 2.5m Length, 9" Diameter Carbon Fiber Tube, <230 lbs.

STANDARD FEATURES	
Depth Rating	300m Rated Titanium/Carbon Fiber Pressure Housing
Endurance	>40 NM (NiMH), >80 NM (Li-Ion) **payload and current dependent**
Speed Range	>3 knots transit, >5 knots sprint
Communications	Wireless 802.11n, Iridium (SBD) and Acoustic Communications
Antenna Mast	GPS/WIFI Fixed Strobe Antenna Mast
Navigation	Surface: GPS (WAAS corrected), Subsurface: Nortek DVL, INS
Software	VectorMap: Mission planning and data viewing, Sonar Mosaic: Creates GeoTIFF images of side-scan records and KMZ files for Google Earth, Underwater Vehicle Console (UVC): Operation, run mission, remote control
Energy	Swappable Battery Chemistries: 2 kWh NiMH rechargeable 20+ Hrs, 4 kWh Li-Ion rechargeable 40+ Hrs, 3 kWh primary alkaline 30+ Hrs, Aluminum-Water power for 80+ Hrs in 2020
Onboard Electronics	Intel Celeron N2930 1.83GHz Quad-Core Processor with MS windows embedded; 1 TB solid-state drive for data storage
Propulsion System	Brushless DC Motor with three-blade stainless steel propeller
Control	Four independent direct driven control planes
Charging	48V External Connector
Sonar Side Scan	Dual Frequency 1600/600 kHz w/Bathy (900/600 kHz optional)
Inerferometric co-registered Sonar	Edgetech 2205B: Swath Bathymetry 600 kHz
Inertial Navigation System	INS based on iXBlue PHINS Compact C3 fiber-optic gyroscope
SVP Sensor	Sound velocity probe (AML)
Doppler Velocity Log	Nortek DVL w/ ADCP (5 beam - 1 vertical) with 200m bottom lock
Bottom Lock	200m Bottom Lock Range
Communications	Surface: 2.4 GHz telemetry radio for handheld remote and Iridium with cloud-based tracking software, Subsurface: Benthos Acoustic Modem and Topside Deck Box
Handheld Remote Control	Rugged water resistant remote with joystick for surface control (300+ meter range)
Acoustic Pinger	Underwater locator beacon
Rugged Transit Case	Shock absorbent mounting
Safety Systems	Drop weight and Watchdog Iridium safety systems
Field Rugged Operator Console	Getac for mission planning, operating and data viewing. Includes VectorMap Mission Planning Software and VectorMap Surface Radio



The Iver4 900 offers users a 300-meter depth workhorse system featuring long duration capability and no shipping restrictions with L3Harris' Lithium-free standard design. The Iver4 900 comes standard with rechargeable NiMH battery packs supporting up to 20-hour run times (approx. 40 nautical miles) for long ingress/egress missions

The Iver4 900 is the first in a family of advanced UUVs to address a wide variety of missions, including commercial and defense applications such as long range survey, multi-domain intelligence, surveillance and reconnaissance (ISR), anti-submarine warfare (ASW), and mine warfare.

[L3Harris.com](http://L3Harris.com)

### Iver4 900 UUV Key Features

- Extended endurance using a safe battery chemistry that allows transport on commercial aircraft while requiring no special equipment
- Modular, wet-mate sections with unique, bi-directional GigE communications and power allows sensor changes in the field
- Unmatched shallow water and surf zone performance with sophisticated shore avoidance autonomy and robust navigation architecture
- Proven open interface that allows customers to perform special missions and eases integration with sensor and software partners
- Years of sensor integration experience on the Iver platform produces the highest position accuracy available with leading inertial and acoustic navigation sensors
- Iver4's clean power architecture and low electromagnetic interference produces better data for easier target



### AVAILABLE OPTIONS

Towed Marine Magnetics Magnetometer

Imagenex 852 forward-looking echo sounder in AUV bow for object avoidance

Blueprint Ocuclus forward looking sector scanning sonar for sonar gap fill

Iver4 900 Spares Kit

### Iver4 900 UUV Spec Sheet

© 2020 L3Harris Technologies, Inc. | 07/2020

This document consists of basic marketing information that is not defined as technical data under EAR Part 772. Specifications subject to change without notice. Call for latest revision. All brand names and product names referenced are trademarks, registered trademarks or trade names of their respective holders.



1025 W. NASA Boulevard  
Melbourne, FL 32919  
t 508 678 0550  
IVER.sales@L3Harris.com



# REMUS 100M

Unmanned Underwater Vehicle  
Mine Countermeasures Variant

The REMUS 100M mine countermeasures variant is a small class, two-man portable unmanned underwater vehicle (UUV) that can be rapidly deployed to hazardous areas to collect data in support of defense missions.

The open architecture and modularity of the REMUS Technology Platform facilitates increased capabilities, interoperability and applications while decreasing risk and cost.



Dutch Navy REMUS Team recovers the Autonomous Underwater Vehicle during Trident Juncture 18. NATO Photo By WO FRAN C Valverde

### Key Features

- Two-man portable, small-class UUV
- 100-meter depth rated
- Up to 10-hour mission duration
- Speeds up to 5 knots
- Open architecture
- Low logistics
- Rapidly deployable from any vessel of opportunity



Royal Canadian Navy members train with a Royal Netherlands Navy autonomous underwater vehicle team during the Rim of the Pacific (RIMPAC) exercise.

### ➔ Mine Countermeasures (MCM)

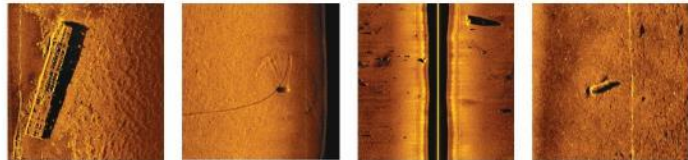
The REMUS 100 is used by expeditionary warfare forces worldwide to conduct shallow-water mine countermeasures and port and harbor clearance. Using side scan sonar, the REMUS 100 surveys large areas autonomously which allows operators to review the data away from the mine field to identify and classify mine-like objects.

### ➔ Search and Recovery (SAR)

REMUS 100 UUVs are rapidly deployable from any vessel of opportunity and provide large area coverage on a single mission, making them ideal for search and recovery (SAR) operations. Side scan sonar and precision navigation provide highly accurate data to locate targets, including downed aircraft and sunken ships.

### ➔ Rapid Environmental Assessment (REA)

REMUS 100 UUVs can be used for rapid environmental assessment (REA), evaluating ocean bottom type and obstacles to clear Q routes and landing zones. Side scan sonar facilitates characterization of the physical environment to increase mission effectiveness, reduce risk and improve efficiency for follow-on missions.



### ➔ Other Applications

Given the stability and versatility of the REMUS 100M, there are numerous applications possible. Other common applications include:

- Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR)
- Marine Geology
- Marine Archaeology

In 2003, the REMUS 100 was the first combat-deployed UUV in history during Operation Iraqi Freedom.

# REMUS 100M Unmanned Underwater Vehicle

## ➔ Specifications

Standard Specifications, Sensors and Payloads	
<b>Depth Rating</b>	100m (328 ft.)
<b>Diameter</b>	19cm (7.5 in.)
<b>Length</b>	1.7m (67 in.)
<b>Weight</b>	36kg (80 lb.)
<b>Speed</b>	0-5 knots (0-2.6 m/s)
<b>Estimated Endurance*</b>	10 hours
<b>Energy Storage</b>	1.5 kWh rechargeable lithium-ion battery
<b>Recharge Time in Vehicle</b>	6 hours
<b>Maximum Range*</b>	67km (36nm)
<b>Propulsion and Control</b>	Direct drive DC brushless motor, open 3-blade propeller; Cruciform fin control (yaw and pitch)
<b>Communications</b>	WHOI micromodem 2.0 acoustic communications; WiFi; Iridium (optional)
<b>Antenna</b>	GPS, WiFi, Iridium, LED status lights, visible and infrared (IR) recovery locating strobe
<b>Navigation</b>	iXblue Phins C3 Inertial Navigation System (INS); Garmin commercial GPS; Long Baseline (LBL); Doppler-assisted dead reckoning
<b>Doppler Velocity Log (DVL)</b>	Teledyne 300 kHz phased array DVL with 200m bottom lock
<b>Side Scan Sonar</b>	Marine Sonics (MSTL) MK II Arc Scout 900/1800 kHz dual frequency; Resolution up to 5cm; Swath up to 160m
<b>Other Sensors</b>	YSI conductivity and temperature (CT) sensor; TE Connectivity depth sensor
<b>Hard Drive</b>	1 TB solid state hard drive
<b>Warranty</b>	Standard 1 year warranty; Warranty options available
<b>Software</b>	Vehicle Interface Program (VIP) for mission programming and post-mission analysis
<b>External Connections</b>	100 Megabit ethernet; Vehicle power/charging (110/220V)
<b>Tracking</b>	Ranger & VIP software via towfish communications; Mission monitoring; Re-direct, loiter and abort commands
<b>Safety Features</b>	Ground fault detection; Leak detection
<b>Operations</b>	Capable of operating multiple REMUS vehicles simultaneously
<b>Auxiliary Equipment</b>	Ranger and towfish; Ruggedized laptop; Pelican transit case; Vehicle maintenance cradle; Operations and maintenance spares
Optional Payloads, Equipment and Software	
<b>Camera</b>	2G Robotics 4K HD stills camera module with high intensity LED light-bar
<b>Iridium Communications</b>	Iridium capable with encrypted Iridium dial-up and SMS modem; Customer must provide SIM card
<b>Safety Features</b>	RJE International emergency locator beacon
<b>Software</b>	SeeByte SeeTrack and Neptune; Reflection Post-Mission Analysis
<b>Auxiliary Equipment</b>	LBL transponders with 20-30 kHz operating frequency range; Surface communications station

\*At 3.0 knots (1.5 m/s) with standard sensors active

© 2021. Specifications are subject to change without notice.

### About Unmanned Systems

Unmanned Systems, a business group within Huntington Ingalls Industries' Technical Solutions division, creates advanced unmanned maritime solutions for defense, marine research and commercial applications. Serving customers in more than 30 countries, HII provides design, autonomy, manufacturing, testing, operations and sustainment of unmanned systems, including unmanned underwater vehicles (UUVs) and unmanned surface vessels (USVs).

[tsd.huntingtoningalls.com/unmanned](http://tsd.huntingtoningalls.com/unmanned)

Learn more about the REMUS product line. Contact us:

USA: +1 508-563-6565  
Europe: +44 2392 417 222  
[sales@hydroid.com](mailto:sales@hydroid.com)





# REMUS 300M

Unmanned Underwater Vehicle  
Mine Countermeasures Variant

The REMUS 300 is our latest small-class, two-man portable unmanned underwater vehicle (UUV) with increased modularity and maximum payload flexibility.

The open architecture and modularity of the REMUS Technology Platform facilitate increased capabilities, interoperability and applications while decreasing risk and cost.



### Key Features

- Two-man portable, small-class UUV
- 305-meter depth rated
- Up to 30-hour mission duration
- Speeds up to 5 knots
- Flexible energy options
- Open architecture
- Modular and reconfigurable
- Removeable 1 TB hard drive



Long Endurance Configuration  
4.5 kWh for up to 30 hours of endurance



Small Payload Configuration  
3.0 kWh for up to 20 hours of endurance



Large Payload Configuration  
1.5 kWh for up to 10 hours of endurance



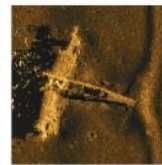
Base Configuration  
7.5 kWh for up to 10 hours of endurance

### ➔ Mine Countermeasures (MCM)

The REMUS 300M can conduct mine countermeasures down to 305 meters and port and harbor clearance. Using side scan sonar, the REMUS 300M surveys large areas autonomously, allowing operators to review the data away from the mine field to identify and classify mine-like objects.

### ➔ Search and Recovery (SAR)

REMUS 300 UUVs are rapidly deployable from any vessel of opportunity and provide large area coverage on a single mission, making them ideal for search and recovery (SAR) operations. Side scan sonar and precision navigation provide highly accurate data to locate targets, including downed aircraft and sunken ships.



### ➔ Other Applications

Given the stability and versatility of the REMUS 300M, there are numerous applications possible. Other common applications include:

- Rapid Environmental Assessment (REA)
- Marine Archaeology
- Offshore Oil and Gas
- Renewables

Optional scalable modular space is available for integration of payloads to perform customer-defined missions, including:

- Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR)
- Anti-Submarine Warfare (ASW)

### ➔ Advanced Modularity

With the added modularity, the REMUS 300 can be reconfigured for different missions, from a 100-pound expeditionary configuration to a 149-pound long-endurance configuration. REMUS 300 has options for 1.5, 3.0 or 4.5 kWh lithium-ion battery sections that correspond to up to 10, 20 or 30 hours of endurance. Blind-mated end caps conform to IP-X4 standards, allowing for field-expedient battery exchange during missions.

# REMUS 300M Unmanned Underwater Vehicle

## ➤ Specifications

Vehicle Specifications: Three Rechargeable Battery Options			
Lithium-ion Battery Options	1.5 kWh Battery	3.0 kWh Battery (Standard)	4.5 kWh Battery
Diameter	19cm (7.5 in.)	19cm (7.5 in.)	20.7cm (8.13 in.)
Length	1.9m (7.5 in.)	2.3m (9.0 in.)	2.5m (9.9 in.)
Weight	45kg (100 lb.)	56kg (123 lb.)	68kg (149 lb.)
Estimated Endurance*	10 hours	20 hours	30 hours
Maximum Range*	55km (29nm)	110km (59nm)	165km (89nm)
Recharge Time in Vehicle**	6 hours	12 hours	18 hours
Standard Specifications, Sensors and Payloads			
Depth Rating	305m (1000 ft.)		
Speed	0-5 knots (0-2.6 m/s)		
Propulsion and Control	Direct drive DC brushless motor, open 3-blade propeller; Cruciform fin control (yaw and pitch)		
Communications	WHOI micromodem 2.0 acoustic communications; WiFi; Iridium (optional)		
Antenna	GPS, WiFi, Iridium, LED status lights and visible and infrared (IR) recovery locating strobe		
Navigation	iXblue Phins C3 Inertial Navigation System (INS); Garmin commercial or optional GB-Gram Military GPS; Long Base-line (LBL); Doppler-assisted dead reckoning		
Doppler Velocity Log (DVL)	Teledyne 300 kHz phased array DVL with 200m bottom lock		
Side Scan Sonar	Marine Sonics MK II Arc Scout 900/1800 kHz dual frequency; Resolution up to 5cm; Swath up to 160m		
Other Sensors	NBOSI conductivity and temperature (CT) sensor; TE Connectivity depth sensor		
Hard Drive	1 TB removeable solid state hard drive; Optional spare drives and data docking station		
Warranty	Standard 1 year warranty; Warranty options available		
Software	Vehicle Interface Program (VIP) for mission programming and post-mission analysis		
External Connections	Gigabit ethernet; Vehicle power/charging (110/220V)		
Tracking	Ranger & VIP software via towfish communications; Mission monitoring; Re-direct, loiter and abort commands		
Safety Features	Ground fault detection; Leak detection; RJE International emergency locator beacon		
Operations	Capable of operating multiple REMUS vehicles simultaneously		
Auxiliary Equipment	Ranger and towfish; Ruggedized laptop; Transit case with shock absorbent mounting; Lightweight, wheeled cradle; Vehicle maintenance cradle, Operations and maintenance spares		
Optional Payloads, Equipment and Software			
Camera	2G Robotics 4K HD stills camera module with high intensity LED lightbar		
Gap Filling Sonar	Klein MA-X gap filling sonar		
Environmental Sensors	Seabird Scientific Eco Puck Triplet		
Iridium Communications	Iridium capable with encrypted Iridium dial-up and SMS modem; Customer must provide SIM card		
HDK and SDK	Hardware Development Kit (HDK) and Software Development Kit (SDK) for integration of third-party payloads and autonomy		
Software	SeeByte SeeTrack and Neptune; REMote CONTROL (RECON); Reflection Post-Mission Analysis		
Auxiliary Equipment	LBL transponders with 20-30 kHz operating frequency range; Surface communications station; Extra hard drive and docking station; External battery charger**		
NiMH Batteries	Nickel-Metal Hydride (NiMH) battery options		

\*At 3.0 knots (1.5 m/s) with standard sensors active

\*\*Recharge time external to vehicle is 6 hours for all battery configurations; additional equipment required

© 2021. Specifications are subject to change without notice.

### About Unmanned Systems

Unmanned Systems, a business group within Huntington Ingalls Industries' Technical Solutions division, creates advanced unmanned maritime solutions for defense, marine research and commercial applications. Serving customers in more than 30 countries, HII provides design, autonomy, manufacturing, testing, operations and sustainment of unmanned systems, including unmanned underwater vehicles (UUVs) and unmanned surface vessels (USVs).

[tsd.huntingtoningalls.com/unmanned](http://tsd.huntingtoningalls.com/unmanned)

Learn more about the REMUS product line. Contact us:

USA: +1 508-563-6565  
Europe: +44 2392 417 222  
[sales@hydroid.com](mailto:sales@hydroid.com)





## VEHICLE SPECIFICATIONS

Depth rating:  
100 meters

Endurance:  
Typical: > 8 hours @ 3 knots  
Specific Configurations: > 48 hours @  
2 knots

Speed:  
up to 5 knots

Hull diameter:  
15 cm

Length:  
115 up to 230 cm

Weight in air:  
15 up to 35 Kg

Standard Navigation:  
GPS, AHRS, Depth sensor

Standard Communication:  
Wi-Fi and GSM/HSDPA

## HIGHLIGHTS

### Flexible fins

- To increase the system robustness without affecting the system performance, the fins and antennas mast are flexible

### External ballast rail

- The weight of the LAUV can be easily adjusted for fresh and saltwater operations, adding or removing ballast weights from the external ballast rail

### Powered by Lithium-ion batteries

- Typically the LAUV is equipped with enough power for a regular day of operation (8 hours). Nevertheless, with a fast charging time, the LAUV is ready for a new operation in less than 2 hours

### Forward Looking Sonar

- Particularly useful to avoid large obstacles during operations

### Open source software

- The LAUV on-board and off-board software is based on the open source toolchain developed by LSTS from Porto University.

### External USB Pen for data logging

- Fast access to collected data is guaranteed via an external USB pen mounted on the LAUV nose. Exchange a full USB pen by an empty one and the LAUV is ready for a new mission. Meanwhile you can review the collected data in your laptop.

### Improved communication range

- When on surface you can access the LAUV via the Manta gateway extended range Wi-Fi radio. When the LAUV is out of the Wi-Fi range, the GSM module can be the alternative solution or the Iridium.

### Safety features

- The LAUV includes several safety features making sure you have the LAUV always in control. The safety features includes: report of the LAUV status and estimated position via Wi-Fi, GSM, Iridium or acoustic modem; abort a mission via acoustic modem; stand alone acoustic pinger; and many others.

### Remote control via smartphone

- Install the LAUV remote app in your smartphone and you can tele-operate the LAUV and check the system status.

### Support for multi-vehicle operations

- Support for multi-vehicle operations

### Easily deployed from shore or a small boat

- The LAUV lightweight and small size makes possible to be easily deployed. No cranes or



## LAUV OPTIONS

The LAUV is a platform able to carry different sonar and sensors combinations. The LAUV modular and flexible design makes possible to configure a system during production according to the end user needs. Several of these possibilities can be found below. Nevertheless, if you have other options in mind please contact us.

### NAVIGATION

#### DVL – Doppler Velocity Log

- To improve navigation accuracy the LAUV can be equipped with a DVL. We have available options from different manufacturers: LinkQuest, Nortek and Teledyne RDI. The current profiling option (ADCP) is available on request for all the three possibilities.

#### Tactical Grade Inertial Measurement Unit

- The LAUV in its base configuration is equipped with a IMU based on MEMS technology. A tactical grade IMU based on FOG technology is available as an option. This will reduce the LAUV position drift during dives.

#### LBL – Long Baseline

- To further improve navigation accuracy the LAUV can be equipped with a LBL module combined with at least two LBL beacons, to be deployed in the area of operation.

#### USBL – Ultra-short baseline

- Another alternative available as an option in the LAUV to improve the navigation accuracy.



### COMMUNICATION

#### Satellite communication module

- The LAUV can be equipped with an Iridium SBD module and a compatible antenna. With this module the LAUV is able to receive and send messages worldwide.

#### Underwater Acoustic Modem

- When underwater, where radio communications are not possible, the LAUV can use the acoustic modem to exchange messages with the acoustic modem installed in the gateway or other vehicles.

### SONAR & IMAGE

#### Side Scan Sonar

- Available options from the major side scan sonar manufacturers such as Imagenex, DeepVision, Blueprint, Klein and Edgetech. Most of the options include customized transducers for the LAUV.




[HOME](#)
[LAUV](#)
[GALLERY](#)
[PROJECTS](#)
[ABOUT](#)
[CONTACTS](#)
[BLOG](#)
[Q](#)

option available, if you have other options in mind please contact us.

#### Forward Looking Sonar

- A Single Beam Echo Sounder pointing forward is the module responsible for checking if there are no major obstacles in front of the LAUV. This module is particular important for missions when the LAUV needs to fly close to the seabed.

#### Micro-Bathymetry/Nadir Gap Filling

- Combined with a high resolution Side Scan Sonar the BlueView MB2250 will reduce the operation time.

#### Digital Video Camera

- A high sensitivity industrial camera combined with 4 high intensity LEDs installed far away from the camera, to avoid scattering, will help you to identify the objects you are looking for.



## SENSORS

The LAUV can combine several sensors to gather data from the water column. The LAUV most common request are CTD, sound velocity, turbidity, chlorophyll, rhodamine and fluorescein. We work with the major sensors manufacturers and we are able to offer an extended range of sensors such: pH, dissolved oxygen, redox, crude and refined oil, etc..

More complex and advanced sensors are also possible, such:

- MicroRider microstructure turbulence measurements
- Digital Holographic Particle Imaging System
- Magnetometer sensor

## MANTA GATEWAY

Operational accessory to enable the interface between wireless and acoustic communication.

Manta Communications Gateway works as a plug-and-play communication hub, supporting seamlessly wireless and acoustic communication between the operator and the LAUV, enabling extended connection range. It allows multiple operators to control and monitor multiple vehicles in a networked environment.

Battery powered for full autonomy and portability and comes in a rugged waterproof enclosure that allows installation in a buoy and/or operation in open vessels such as RHIBs. Serves as a communication, navigation and tracking tool, helping the operator to remotely track, monitor, command and interact with the LAUV while in full operation mode.

The Manta Gateway may integrate several capabilities and accessories:

- Wi-Fi - This is the primary mean that enables long range, high-throughput communication with the vehicle when it is not





HOME LAUV GALLERY PROJECTS ABOUT CONTACTS BLOG Q

- HSDPA/GSM modem – provides direct connection to the internet when GSM network coverage is available.
- Iridium SBD Modem – supports satellite communications with worldwide coverage.
- GPS Receiver – provides the device's real-time position. This feature allows the operator to understand its own location in the mission map. It's particularly useful when the operations are conducted from a ship.



## OPERATOR CONSOLE

The operator console is a regular or a rugged computer, usually a laptop, that runs Neptus – the command and control user interface. When connected to a Manta Communications Gateway the operator can interact with all the vehicles connected to that gateway's wireless network.

## NEPTUS

Neptus provides a distributed command and control user interface specifically tailored for the operation of one or multiple LAUV vehicles. LAUV support under Neptus covers all the different stages of the mission life cycle: configuration, planning, simulation, execution and post-mission analysis. For this purpose Neptus includes two distinct tools, the Operator Console and the Mission and Review and Analysis tool.

