



APLICAÇÃO DO MÉTODO SAPEVO-M-NC NA SELEÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS SUBMARINOS PARA A MARINHA DO BRASIL

Sérgio Mitihiro do Nascimento Maêda (CASNAV) sergio.maeda@marinha.mil.br

Adilson Vilarinho Terra (UFF) adilsonvilarinho@id.uff.br

Igor Pinheiro de Araújo Costa (CASNAV) igor.pinheiro@marinha.mil.br

Carlos Francisco Simões Gomes (UFF) cfsg1@bol.com.br

Marcos dos Santos (CASNAV) marcos.santos@marinha.mil.br

Resumo

Neste trabalho, 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). Para tanto, foram selecionadas dez alternativas, as quais foram avaliadas à luz de dez critérios, por três decisores, oficiais da Marinha do Brasil, pertencentes ao Corpo da Armada. O método SAPEVO-M-NC, possibilitou realizar uma avaliação simplificada da problemática proposta, sendo possível ordenar com clareza as alternativas consideradas. Cabe ressaltar que os resultados ficaram alinhados com a atual conjuntura de defesa, onde as alternativas que apresentaram os melhores desempenhos na ordenação, estão sendo expressivamente exploradas pelas Marinhas mais desenvolvidas do mundo.

Palavras-Chaves: Marinha do Brasil, Apoio Multicritério à Decisão, SAPEVO-M-NC.

1. Introdução

Segundo Saaty (2008), fundamentalmente, todos são tomadores de decisões. Tudo o que é feito pelas pessoas, 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).

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). 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 Apoio Multicritério à Decisão (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).

Este artigo apresenta um estudo de caso sobre a aquisição de Veículos Autônomos Submarinos (AUV) para a Marinha do Brasil (MB), abordando a aplicação do AMD no planejamento, estruturação e na otimização de processos nas organizações militares, bem como nas atribuições constitucionais da MB 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.

Para avaliar a importância relativa de cada um dos critérios envolvidos, bem como do desempenho das alternativas apresentadas, foram realizadas entrevistas e um *brainstorming* com três Oficiais da ativa pertencentes ao Corpo da Armada da MB, que já atuaram em operações de CMM. Esses militares foram convidados a realizar uma abordagem por meio do método multicritério SAPEVO-M-NC (*Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors – Non Compensatory – Multi Decision Makers*), 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.

2. Referencial teórico

2.1. 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. 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).

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 uma ameaça adversa. 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 (MARINHA DO BRASIL, 2017). Assim sendo, 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 *et al.* 2020).

2.2. 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.

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.

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, e 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).

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 1 apresenta como exemplo um AUV engajado na busca de objetos com configuração de minas subaquáticas.

Figura 1 - Exemplo de AUV engajado na busca de ameaças subaquáticas



Fonte: Yonhap (2020)

O AUV REMUS 6000, 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, empregou dois AUV REMUS 6000 na missão. Equipados com sonar de varredura lateral de dupla frequência e câmeras digitais, os pesquisadores descobriram grandes pedaços de entulho da aeronave, incluindo, motor, trem de pouso e fuselagem (Figura 2).

Figura 2 – Destroços da turbina do Airbus A330



Fonte: KONGSBERG (2011)

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.

2.3. 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 (MAÊDA *et al.*, 2021), 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.

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 dos decisores. 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 sobreclassificações 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. O método é dividido em seis etapas:

A estrutura axiomática completa do método pode ser consultada no artigo intitulado “*The SAPEVO-M-NC Method*” (MAÊDA *et al.*, 2021).

3. Estudo de caso

3.1. Avaliação estratégica da aquisição de veículos autônomos submarinos pela Marinha do Brasil para implementação em operações de contramedidas de minagem

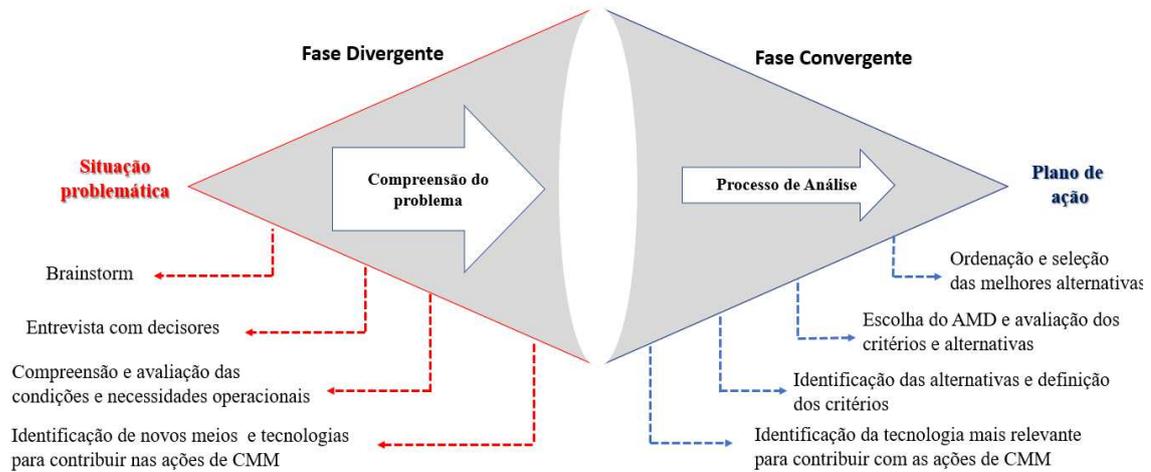
De acordo com Brasil (2020), nas operações de CMM, empregam-se os navios denominados “varredores”, responsáveis pelas ações destinadas a manter livres da ameaça de minas, as linhas do tráfego marítimo ao longo do nosso litoral, as áreas marítimas adjacentes aos portos, terminais, bem como as possíveis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

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, 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).

3.2. Compreensão do problema

A problemática em questão foi dividida em duas fases distintas: Divergente e Convergente. A figura 3 mostra de forma simplificada a divisão do escopo situacional.

Figura 3 – 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 (Comando da Força de Minagem e Varredura). 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, disponível em: https://sapevo.shinyapps.io/sapevo-m-nc_web/.

3.2.1. Definição dos critérios

C₁ - 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).



C₂ - 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).

C₃ - 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 a uma possível ameaça. Este atributo é apresentado na unidade de nós (milha náutica por hora).

C₄ - 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).

C₅ - 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).

C₆ - 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).

C₇ - 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 antisubmarina (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.

C₈ - 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.

C₉ - 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.

C₁₀ - 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.

3.2.1. Definição das alternativas

As dez alternativas pré-selecionadas são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Dados técnicos e operacionais dos AUV's



	Iver4 900	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 multifreix de abertura lateral, AML	Sonar multifreix de abertura lateral, câmera, AML, Sensores de turbidez de temperatura	Sonar multifreix de abertura lateral, câmera, AML, Sensores de turbidez de temperatura	Sonar multifreix de abertura lateral, perfilador de subfundo, MBES, câmera, AML, Sensores de turbidez de temperatura	Sonar multifreix de abertura lateral, câmera	Sonar multifreix de abertura lateral, MBES, câmera, AML, Sensores de turbidez de temperatura	Sonar multifreix de abertura lateral, câmera, sensores de turbidez, condutividade, magnetômetro, sistema de imagem holográfica	Sonar multifreix de abertura lateral, MBES, câmera, turbidez, condutividade	Sonar multifreix de abertura lateral, MBES, câmera, Sensores de condutividade, temperatura	Sonar multifreix 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 e vazamentos, de prevenção de Obstáculos, Controle Remoto Local	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	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: Autores (2023)

3.3. Avaliação da importância dos critérios pelos *Decision Makers*

A tabela 2 apresenta os valores relativos às avaliações ordinais realizadas pelos DM.

Tabela 2 - Avaliação da importância dos critérios pelos decisores

	DM ₁										DM ₂										DM ₃									
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀
C ₁	0	0	2	1	0	2	2	-1	0	1	0	1	2	0	3	3	-1	0	1	0	1	3	2	1	3	1	-2	-2	1	
C ₂	0	0	2	1	0	2	2	-1	0	0	-1	0	2	1	0	3	3	-1	0	1	-1	0	2	2	0	2	1	-2	-1	0
C ₃	-2	-2	0	-2	-3	0	0	-2	-1	-1	-2	-2	0	0	-2	1	0	-2	-1	-1	-3	-2	0	1	-2	1	1	-2	-2	-1
C ₄	-1	-1	2	0	-1	2	2	-1	0	1	-2	-1	0	0	-2	1	1	-3	-2	0	-2	-2	-1	0	-2	1	0	-2	-2	-1
C ₅	0	0	3	1	0	3	3	1	1	1	0	0	2	2	0	3	3	-1	0	0	-1	0	2	2	0	3	1	-1	0	1
C ₆	-2	-2	0	-2	-3	0	0	-2	-2	-1	-3	-3	-1	-1	-3	0	-1	-3	-2	-2	-3	-2	-1	-1	-3	0	-1	-2	-3	-2
C ₇	-2	-2	0	-2	-3	0	0	-3	-2	-1	-3	-3	0	-1	-3	1	0	-3	-2	-1	-1	-1	0	-1	1	0	-2	-2	0	
C ₈	1	1	2	1	-1	2	3	0	1	1	1	1	2	3	1	3	3	0	1	2	2	2	2	1	2	2	0	0	2	
C ₉	0	0	1	0	-1	2	2	-1	0	0	0	0	1	2	0	2	2	-1	0	1	2	1	2	2	0	3	2	0	0	2
C ₁₀	-1	0	1	-1	-1	1	1	-1	0	0	-1	-1	1	0	0	2	1	-2	-1	0	-1	0	1	1	-1	2	0	-2	-2	0

Fonte: Autores (2023)

A tabela 3 apresenta os valores dos pesos finais dos critérios após a avaliação pelos DM.

Tabela 3 – Pesos dos critérios

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

Fonte: Autores (2023)

3.4. Avaliação dos desempenhos das alternativas pelos *Decision Makers*

A tabela 4 apresenta os valores relativos às avaliações ordinais realizadas pelos DM.

Tabela 4 – Avaliação dos desempenhos das alternativas pelos decisores

	DM ₁										DM ₂										DM ₃									
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀
A ₁	2	2	2	1	3	3	4	3	4	3	3	2	3	1	3	2	4	4	3	2	2	3	2	2	2	2	3	4	4	3
A ₂	4	2	1	1	2	3	2	2	2	3	5	2	1	1	2	2	2	3	2	2	3	3	1	2	1	2	1	3	2	3
A ₃	2	4	1	1	4	3	2	2	2	3	2	5	1	1	4	2	2	3	2	2	1	6	1	2	3	2	1	3	2	3
A ₄	2	4	3	1	6	1	1	1	1	1	2	5	4	1	7	1	1	1	1	1	1	6	3	2	5	1	1	1	1	1
A ₅	2	1	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	1	2	2	2	4	1	2	2	2	2	2	1	2	3	4	1	2
A ₆	2	4	1	1	5	3	2	2	1	2	2	4	1	1	5	2	2	2	1	2	1	6	1	2	6	2	2	2	1	2
A ₇	1	2	2	1	1	4	2	1	1	1	1	2	3	1	1	3	2	1	2	2	1	3	2	2	1	3	2	2	1	1
A ₈	5	4	1	1	3	2	3	2	2	1	5	5	2	1	3	1	2	2	1	1	4	6	1	2	2	1	2	3	1	2
A ₉	3	1	2	3	1	4	2	2	1	2	4	1	3	3	1	3	2	2	1	1	3	1	2	3	1	3	2	2	1	1
A ₁₀	1	2	2	3	2	3	1	2	1	2	2	2	3	3	2	2	1	2	1	2	1	3	2	3	1	2	1	2	1	2

Fonte: Autores (2023)

A tabela 5 apresenta as relações as taxas de sobreclassificação (η_{ab}), com as relações de dominância observadas. Os elementos em vermelho e negrito representam que a primeira alternativa (elemento da linha) foi dominada pela segunda (elemento da coluna).

Tabela 5 – Taxas de sobreclassificação (η_{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: Autores (2023)

A tabela 6 apresenta as taxas de performance das alternativas, bem como a diferença entre o número de vezes que cada alternativa domina, ou é dominada pelas demais.

Tabela 6 – Diferença entre as relações de dominância das alternativas

Alternativas	Taxas de Performance (T_a)	Número de alternativas que domina	Número de alternativas em que é dominada	Total	Posição na ordenação
LAUV	0.214	9	0	9	1º
REMUS 300M	0.160	8	1	7	2º
REMUS 100M	0.166	7	2	5	3º
A9-M	0.139	6	3	3	4º
Bluefin 9	0.108	5	4	1	5º
Iver4 900	0.101	3	6	-3	6º
Bluefin 12	0.069	3	6	-3	6º
A18-M	0.072	2	7	-5	7º
Bluefin 21	0.117	2	7	-5	7º
GAVIA	0.063	0	9	-9	8º

Fonte: Autores (2023)

3.5. Análise dos resultados

Inicialmente, observa-se uma clara ordenação das alternativas até a quinta posição, estando respectivamente LAUV > REMUS 300M > REMUS 100M > A9-M > 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. 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 ($Ta = 0,117$) e A18-M ($Ta = 0,072$), com isso, a alternativa A18-M passa a assumir a 9ª posição, sendo possível obter a ordenação total das alternativas.

4. Considerações finais

Foi conduzido um estudo de caso baseado na avaliação estratégica da MB, para a aquisição de AUV, visando sua implementação no teatro de operações navais, com foco em suas operações de Contramedidas de Minagem. A partir das entrevistas e *brainstormings* com três militares, que já atuaram em operações de CMM, mas que não são necessariamente especialistas, foram selecionados como alternativas, dez AUV's disponíveis no mercado, os quais foram avaliados à luz de dez critérios definidos pelos próprios decisores, mediante aplicação do método SAPEVO-M-NC, onde empregou-se sua versão web, como ferramenta de suporte no processo decisório. Os resultados iniciais apresentaram uma ordenação incompleta, devido à 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. 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. A metodologia proposta, entrevista, *brainstorming* e SAPEVO-M-NC mostrou-se adequada atendendo as necessidades da MB. Vislumbra-se assim a sua incorporação ao processo decisório da MB para os outros problemas.

REFERÊNCIAS

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**.

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

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 Saúde Pública**, v. 54, 2020. Universidade de Sao Paulo.



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. Anais do **LIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2021. João Pessoa.

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.

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.

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: 4/1/2023.

MAÊDA, S. M. N.; BASÍLIO, M. P. COSTA, I. P. A. MOREIRA, M. A. L. SANTOS, M. GOMES, C. F. S. The SAPEVO-M-NC Method. Modern Management based on Big Data II and Machine Learning and Intelligent Systems III. **Frontiers in Artificial Intelligence and Applications**, v. 341, p. 89-95, 2021. DOI: 10.3233/FAIA210235.

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.

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.

MUNIER, N.; HONTORIA, E.; JIMÉNEZ-SÁEZ, F. Strategic Approach in Multi-Criteria Decision Making. **Cham: Springer International Publishing**, 2019.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.

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**, v. 3, p.419–430, 2014. São Paulo: Editora Edgard Blücher.

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