

# INOVAÇÃO NA TOMADA DE DECISÃO COM O MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS-GAUSSIAN-PEARSON, SPEARMAN, AND KENDALL (AHP-GAUSSIAN-PSK): AVALIAÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS SUBMARINOS PARA A MARINHA DO BRASIL SOB A PERSPECTIVA DO PLANO ESTRATÉGICO DA MARINHA 2040

Innovation in decision-making with the analytic hierarchy process-gaussian-pearson, spearman, and kendall (ahp-gaussian-psk) method: evaluation of autonomous underwater vehicles for the Brazilian Navy from the perspective of Navy's strategic plan 2040

Thiago Fernandes Lima<sup>1</sup>, Bruno Pereira Diniz<sup>2</sup> , Marcos dos Santos<sup>3</sup> 

**Resumo:** Os veículos autônomos submarinos (*autonomous underwater vehicles* – AUVs) são de grande interesse para a defesa naval de um país, pois podem realizar missões de detecção, monitoramento e apoio a operações navais, ampliando a segurança marítima e a proteção de ativos estratégicos. Neste sentido, alinhado com o Plano Estratégico da Marinha (PEM 2040), este estudo teve como objetivo a ordenação de AUVs para a Marinha do Brasil (MB), a partir do Método de Tomada de Decisão Multicritério, *Analytic Hierarchy Process – Gaussian – Pearson – Spearman – Kendall* (AHP-Gaussiano-PSK). Para tanto, foram consultados especialistas que identificaram dez modelos de veículos como alternativas, com as características supracitadas, juntamente com seis critérios de avaliação para sua ordenação. Os resultados obtidos após a modelagem dos referidos métodos indicaram que o veículo Remus 6000 constitui a alternativa mais favorável para o cenário em estudo, uma vez que apresentou desempenho superior em três dos critérios analisados — diâmetro,

**Abstract:** Autonomous underwater vehicles are of great interest to a country's naval defense, as they can perform detection, monitoring, and support missions for naval operations, thereby increasing maritime security and protecting strategic assets. In alignment with the Navy's Strategic Plan (*Plano Estratégico da Marinha – PEM*) 2040, this study aimed to rank autonomous underwater vehicles (AUVs) for the Brazilian Navy (*Marinha do Brasil – MB*), using the Analytic Hierarchy Process-Gaussian-Pearson, Spearman, and Kendall (AHP-Gaussian-PSK) multicriteria decision-making method. To this end, experts were consulted and identified ten vehicle models with the aforementioned characteristics as alternatives, along with six evaluation criteria for ranking. The results obtained after applying these methods indicated that the Remus 6000 vehicle is the most favorable alternative for the scenario under study, as it outperformed the other AUVs in three of the criteria analyzed: diameter, depth, and range. It should

1. Escola Naval, Chefe do Centro de Ensino de Ciências Sociais, Doutor em Administração pela Universidade de Bordeaux, Bordeaux – França. E-mail: fernandes.lima@marinha.mil.br

2. Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ – Brasil. E-mail: brunopereiradiniz046@gmail.com

3. Escola Naval, Doutor em Sistemas, Apoio à Decisão e Logística pela Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ – Brasil. E-mail: marcosdossantos\_doutorado\_uff@yahoo.com.br

profundidade e autonomia — quando comparado aos demais AUVs. Ressalta-se que o critério custo não foi considerado nesta análise, pois detalhes específicos sobre esta temática podem ser mais difíceis de obter em função da natureza do objeto de estudo. No entanto, com a disponibilidade dos valores de aquisição dos AUVs, é possível realizar nova modelagem. Entretanto, é pertinente ponderar se o Brasil disporá de recursos financeiros para sua aquisição.

**Palavras-chave:** Marinha do Brasil. PEM 2040. Patrulha Marítima. Veículos Autônomos Submarinos. Tomada de Decisão.

## 1. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico nas áreas de robótica, eletrônica e sistemas embarcados tem impulsionado significativamente o desenvolvimento e a utilização de veículos autônomos submarinos (*autonomous underwater vehicles* – AUVs), que se tornaram ferramentas estratégicas para missões de cunho militar, científico e industrial (Hasan *et al.*, 2024). Capazes de operar de forma independente em ambientes complexos e de difícil acesso, esses veículos oferecem vantagens como precisão na execução de tarefas, redução de riscos à vida humana e adaptabilidade a diferentes cenários operacionais.

O emprego de veículos não tripulados no âmbito militar constitui uma tendência mundial, sejam eles aéreos, de superfície ou submarinos. A Marinha do Brasil (MB), atenta a esse novo paradigma, também desenvolveu seu veículo autônomo de superfície, conforme apresentado na Figura 1, de modo que uma tendência natural será a aquisição ou construção de um veículo submarino em futuro não muito distante.



Fonte: (Centro de Análises de Sistemas Navais - CASNAV, 2025).

**Figura 1.** Veículo de Superfície Não Tripulado (VSNT) em operação com o Navio-Aeródromo Multipropósito (NAM) “Atlântico”.

be noted that cost was not considered in this analysis, as specific details on this topic may be more difficult to obtain due to the nature of the study object. However, with the acquisition costs of the AUVs, it would be possible to develop a new model. It is also essential to consider whether Brazil will have the financial resources to acquire it.

**Keywords:** Brazilian Navy. PEM 2040. Maritime Patrol. Autonomous Underwater Vehicles. Decision-Making.

No contexto de defesa, o uso desses veículos destaca-se em operações de contramedidas de minagem, reconhecimento, vigilância costeira e guerra antissubmarino, além de missões de busca e resgate. Em aplicações civis, os AUVs contribuem para estudos oceanográficos, inspeção de estruturas submersas e levantamentos batimétricos de alta resolução (Obembe; Ali, 2025).

Diante da variedade de modelos disponíveis no mercado, cada qual com diferentes especificações técnicas, capacidades operacionais e custos de aquisição e manutenção, torna-se relevante dispor de ferramentas metodológicas que auxiliem na escolha do veículo mais adequado a cada finalidade.

O estudo da pesquisa operacional (PO), nesse contexto, torna-se essencial para aprimorar a eficiência e a eficácia dessas missões vitais. A PO possibilita a análise detalhada de dados e a modelagem de cenários complexos, auxiliando na otimização de táticas, na alocação de recursos e na tomada de decisões estratégicas (Ojika *et al.*, 2023).

Nesse cenário, a utilização de métodos de apoio multicritério à decisão (AMD) mostra-se uma alternativa, permitindo ponderar simultaneamente múltiplos critérios, como alcance, autonomia, profundidade máxima de operação, carga útil e velocidade, a fim de estabelecer uma ordenação, seleção ou classificação das alternativas. A aplicação dessa abordagem possibilita maior assertividade na problemática analisada, otimizando recursos e garantindo que o AUV escolhido atenda plenamente aos requisitos estratégicos e operacionais estabelecidos (Devoti *et al.*, 2023).

As abordagens multicritério constituem ferramentas relevantes para apoiar processos de tomada de decisão, pois incorporam julgamentos de valor além de aspectos estritamente técnicos, permitindo avaliar alternativas de forma integrada e aplicável a problemas reais em contextos multidisciplinares.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho consistiu em realizar a ordenação de AUVs, utilizando o método multicritério de decisão analytical hierarchy process-Gaussian-Pearson, Spearman, and Kendall (AHP-Gaussiano-PSK).

Este estudo não apenas apresenta uma comparação técnica entre diferentes modelos de AUVs, mas também fornece subsídios estratégicos sobre as prioridades de modernização e ampliação das capacidades navais da MB. Ao alinhar requisitos operacionais a uma abordagem analítica rigorosa, a metodologia proposta contribui para decisões mais assertivas em contextos complexos de aquisição e emprego desses sistemas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta o referencial teórico, elaborado a partir de pesquisa bibliográfica, contemplando temas relacionados aos AUVs. Ademais, aborda os conceitos de Apoio Multicritério à Decisão e do Método AHP-Gaussiano-PSK.

### 2.1. VEÍCULOS AUTÔNOMOS SUBMARINOS

Os AUVs constituem uma subcategoria dos veículos submarinos não tripulados (*unmanned underwater vehicles* – UUVs), caracterizando-se pela capacidade de navegação submersa sem ligação física com uma estação de controle e sem a necessidade de operador humano direto (De Sousa, 2019).

O interesse pelo desenvolvimento e emprego dos AUVs decorre de suas vantagens operacionais, como a possibilidade de atuação em ambientes hostis, inóspitos ou de difícil acesso, a exemplo de regiões profundas, áreas contaminadas ou zonas sob controle adversário. O avanço da eletrônica, da robótica, dos sistemas embarcados e das tecnologias de armazenamento e gestão de energia ampliou sua autonomia, confiabilidade e precisão, favorecendo sua adoção nos campos militar, científico e industrial (Do Nascimento Maêda *et al.*, 2023).

Os AUVs apresentam ampla gama de usos, abrangendo desde levantamentos oceanográficos, inspeção de estruturas submersas e mapeamento do relevo marinho, até missões militares complexas, como contramedidas de minagem (CMM), reconhecimento, vigilância costeira, busca e resgate, e guerra antissubmarino. Sua atuação em CMM, por exemplo, permite detectar, classificar e identificar minas navais com elevada precisão, reduzindo a exposição de embarcações e tripulações a riscos (De Sousa, 2023).

### 2.2. APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

O AMD, também conhecido como *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA) ou *Multicriteria Decision Making* (MCDM), constitui um conjunto de métodos formais destinados a avaliar alternativas com base em múltiplos critérios concorrentes (Sahoo; Goswami, 2023). Uma vez que o problema esteja devidamente estruturado, incluindo a definição de objetivos e critérios, essas técnicas permitem a ordenação ou classificação sistemática das opções, integrando considerações quantitativas e qualitativas (Ekhlakov; Andriyanov, 2024).

Trata-se de uma abordagem fundamental para a tomada de decisões em contextos complexos, nos quais múltiplos objetivos potencialmente conflitantes devem ser considerados simultaneamente. Essa abordagem metodológica baseia-se no pressuposto de que decisões ótimas exigem avaliação sistemática das alternativas por meio de uma variedade de critérios quantitativos e qualitativos (Moreira *et al.*, 2023).

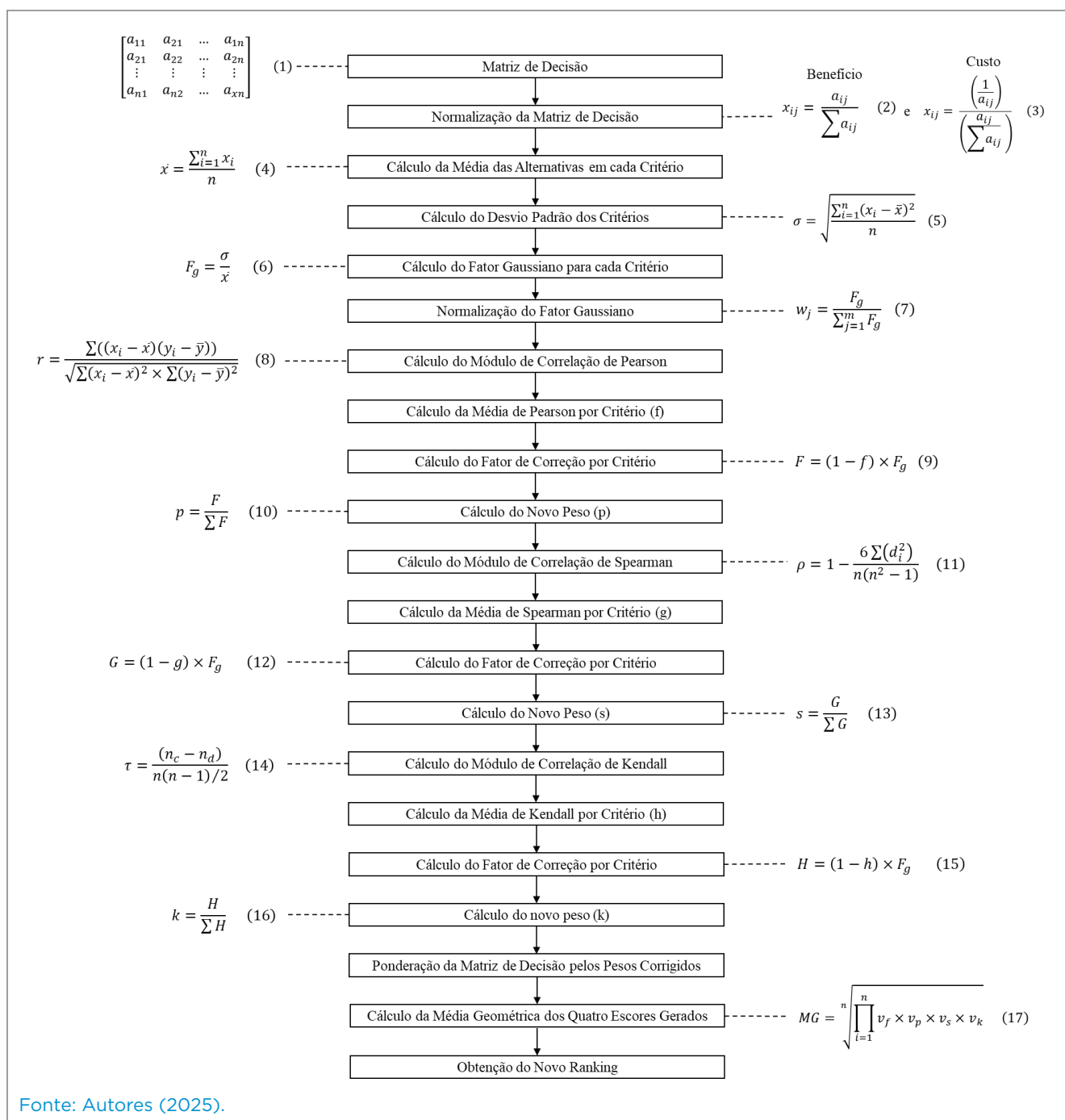
### 2.3. MÉTODO AHP-GAUSSIANO-PSK

O Método AHP-Gaussiano-PSK constitui um aprimoramento do método *Analytic Hierarchy Process – Gaussian* (AHP-Gaussiano) (Dos Santos; De Araújo Costa; Gomes, 2021), incorporando três correções estatísticas-chave de correlação: Pearson, Spearman e Kendall. Essas correções permitem ao modelo ajustar-se a relações lineares e não lineares, bem como a associações ordinais, aspectos críticos para a mensuração precisa das interdependências entre os critérios de decisão.

O AHP-Gaussiano-PSK oferece ao tomador de decisão múltiplas perspectivas ao apresentar os resultados derivados de cada variação do AHP-Gaussiano original, juntamente com um resultado agregado calculado por meio da média geométrica. Essa produção multifacetada fornece percepções detalhadas e sintetizadas, apoiando a tomada de decisão fundamentada em sólido arcabouço matemático. As etapas do método são descritas na Figura 2.

## 3. METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma pesquisa quantitativa, de caráter exploratório, estruturada conforme as etapas do esquema metodológico apresentado na Figura 3. Os dados foram coletados a partir de pesquisas nos sites dos principais fabricantes de AUVs do mundo. A estruturação do problema



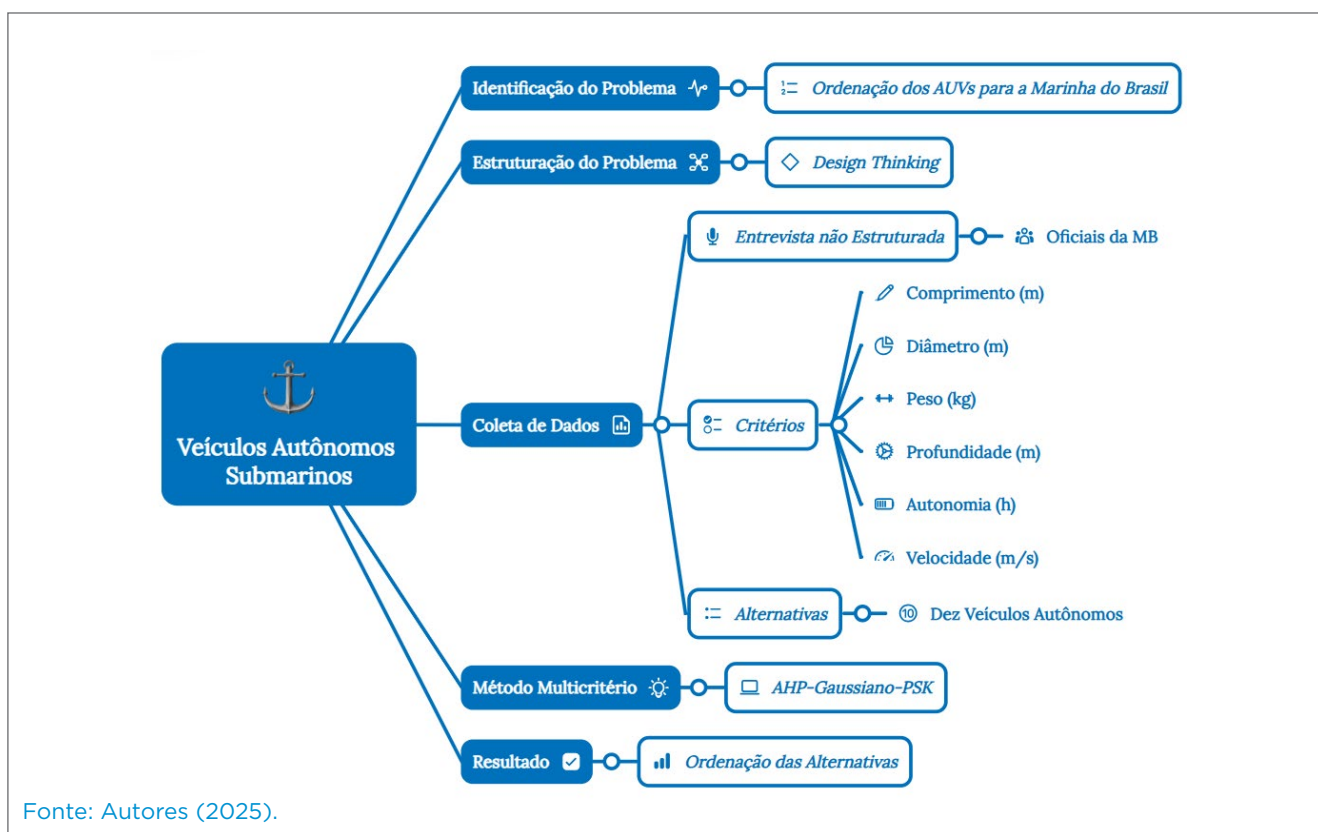
**Figura 2.** Etapas do Método AHP-Gaussiano-PSK.

foi conduzida com o apoio da abordagem *Design Thinking*, permitindo uma compreensão visual, colaborativa e centrada no usuário quanto aos elementos críticos da decisão.

Oficiais da MB foram consultados em entrevistas não estruturadas, nas quais foram levantados os critérios e

alternativas. A Tabela 1 apresenta os critérios de decisão elencados a partir das entrevistas não estruturadas com os especialistas, a saber:

Em seguida, foram pré-selecionados nove tipos de aeronaves. Essa seleção foi realizada com base nos dados encontrados



**Figura 3.** Esquema Metodológico da Pesquisa.

**Tabela 1.** Critérios do Problema

Critérios	Descrição
Comprimento (m)	Refere-se à dimensão longitudinal total do AUV, medida da proa à popa.
Diâmetro (m)	Corresponde à largura máxima da seção transversal do casco.
Peso (kg)	Representa o deslocamento ou a massa total do veículo em condição operacional.
Profundidade (m)	Indica a profundidade máxima de operação segura do AUV.
Autonomia (h)	Tempo máximo que o AUV pode operar de forma contínua antes de necessitar de recarga ou substituição de fonte de energia.
Velocidade (m/s)	Taxa de deslocamento do veículo na água.

AUV: veículo autônomo submarino.

Fonte: Autores (2025).

em sites e trabalhos da literatura (De Sousa, 2019; De Sousa, 2023; Do Nascimento Maêda *et al.*, 2023), cerca dos veículos utilizados pelas principais Marinhas dos cinco continentes, que possuem relevância estratégica regional ou global, conforme apresentado na Tabela 2.

O problema em questão foi caracterizado como uma problemática de ordenação, pertencente ao paradigma de agregação, com entradas cardinais (dados quantitativos), do tipo monodecisor e utilizando um método compensatório, sendo todos os critérios de maximização. Após o levantamento das

**Tabela 2. Alternativas do Problema**

Alternativas	AUVs	Alternativas	AUVs
Bluefin-12		Remus 100	
Bluefin-21		Remus 600	
Gavia		Remus 6000	
Iver 3		SeaCat	
Iver 4 - 900		SeaRaptor	

AUVs: veículos autônomos submarinos.  
 Fonte: Autores (2025).

informações para a estruturação do problema, foi selecionado o Método AHP-Gaussiano-PSK. Com a definição do método a ser utilizado, realizou-se a modelagem do problema por meio de plataforma computacional em Python com integração em HTML (Diniz *et al.*, 2025).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, realizou-se a estruturação do problema a partir do *Design Thinking*, contemplando a definição e caracterização de critérios e alternativas com base nas necessidades operacionais da MB e nas diretrizes do Plano Estratégico da Marinha (PEM) 2040.

A partir dessas informações, procedeu-se à aplicação do método AHP-Gaussiano-PSK para realizar a ordenação dos AUVs, com o objetivo de identificar a alternativa mais favorável ao atendimento dos requisitos estratégicos e operacionais estabelecidos.

### 4.1. DESCRIÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

A vasta extensão da Amazônia Azul, estimada atualmente em cerca de 3,5 milhões de km<sup>2</sup>, podendo se estender até 4,5 milhões com o prolongamento da plataforma continental, concentra mais de 85% da extração de petróleo, 75% do gás natural e 45% do pescado nacional (Brasil, 2025a). Paralelamente, mais de 95% do comércio exterior brasileiro transita por essas águas, consolidando-as como pilares estratégicos da economia, ciência e segurança nacionais.

O PEM 2040 destaca a necessidade de intensificar a defesa dessas áreas, por meio do uso de sensores ativos, sejam veículos não tripulados aéreos, marítimos ou subaquáticos, integrados a sistemas colaborativos de monitoramento em regiões mais distantes (Brasil, 2025b). Nesse sentido, os AUVs oferecem uma solução eficaz para balizar a vigilância e a proteção da Amazônia Azul, complementando iniciativas como o Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz), que promove a integração de satélites, radares,

sensores e redes de comando para aprimorar o monitoramento do espaço marítimo brasileiro (Andrade; Da Rocha; Franco, 2019).

Além disso, o Projeto Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO), fruto de parceria entre Marinha e Petrobras, está expandindo o uso de veículos autônomos submarinos do tipo *glider* e de superfície *sailbuoy* para coleta de dados em áreas extensas e profundas, reforçando a capacidade de resposta a emergências ambientais e garantindo maior precisão nas operações navais (Agência Gov, 2025). Para uma estruturação mais detalhada do problema em tela, a Figura 4 mostra o processo de aplicação do método multicritério AHP-Gaussiano-PSK para apoiar a ordenação dos AUVs. A abordagem está estruturada em duas fases: Fase Divergente e Fase Convergente.

Na Fase Divergente, ocorre a ampliação do entendimento sobre o problema, utilizando os chamados Métodos de Estruturação de Problemas (*Problem Structuring Methods* – PSM), partindo da identificação da situação inicial até a estruturação detalhada. Essa etapa envolve o levantamento de informações por meio de entrevistas com oficiais da MB, análise das exigências operacionais da instituição, incorporação de conceitos previstos no PEM 2040 e mapeamento das capacidades necessárias. Esses elementos convergem para a

formulação de uma estrutura conceitual do problema, servindo de base para a etapa seguinte.

Na Fase Convergente, o foco é a análise e resolução do problema, seguindo um processo estruturado de apoio à decisão. Inicia-se com a definição de objetivos e critérios de avaliação, seguida da identificação das alternativas viáveis. Em seguida, aplica-se o método multicritério AHP-Gaussiano-PSK para estabelecer a ordenação das alternativas. A fase é concluída com a elaboração de uma proposta de estratégias, que compõe o plano de ação final, integrando os resultados obtidos à tomada de decisão.

## 4.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP-GAUSSIANO-PSK

A Figura 5 apresenta a matriz de decisão utilizada na etapa inicial de aplicação do método AHP-Gaussiano-PSK para a ordenação dos AUVs. Nela, estão listadas dez alternativas de AUVs, acompanhadas dos respectivos valores quantitativos para cada critério definido na fase de estruturação do problema.

Dando continuidade à aplicação, a Figura 6 apresenta a matriz de decisão normalizada. Nessa etapa, os valores originais de cada critério, organizados na matriz inicial, foram transformados em proporções relativas, passando todos os critérios a ter a mesma escala de comparação.

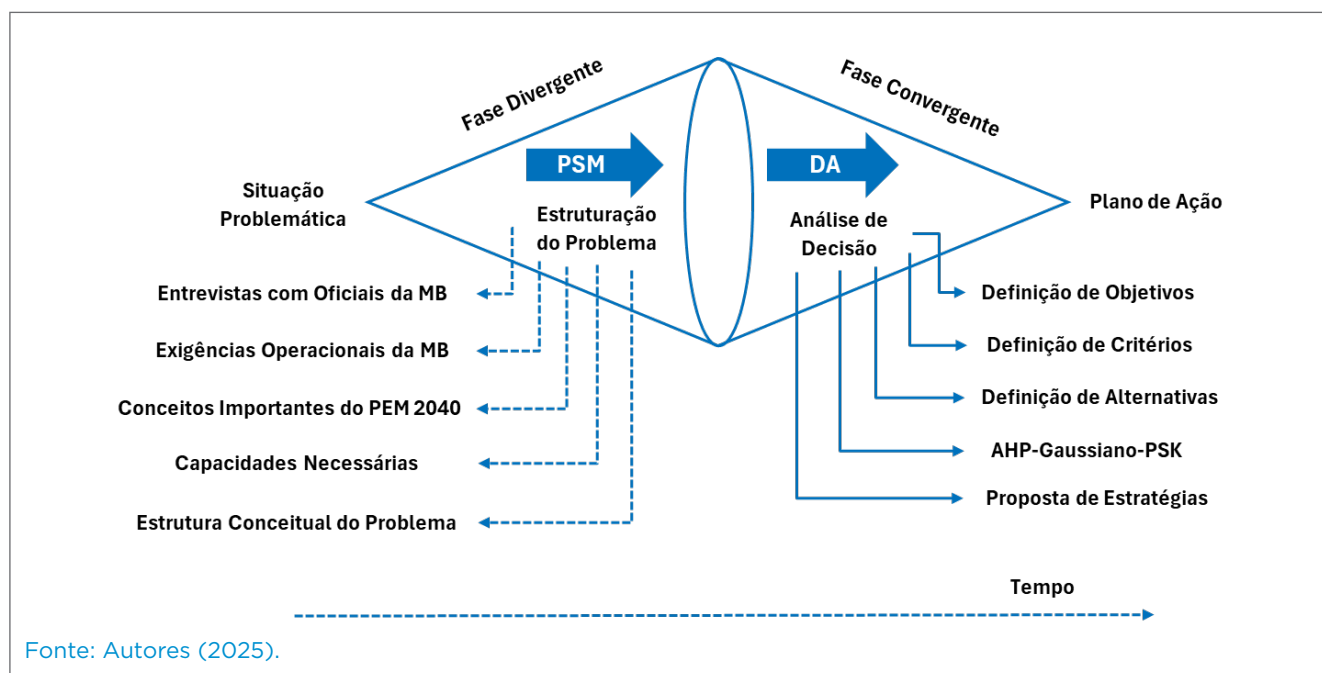


Figura 4. Design Thinking para a Estruturação do Problema.

Alternativa/Critério	Comprimento (m)	Diâmetro (m)	Peso (kg)	Profundidade (m)	Autonomia (h)	Velocidade (m/s)
Bluefin-12	4.83	0.32	250.00	200.00	20.00	3.08
Bluefin-21	4.93	0.53	750.00	4500.00	25.00	2.32
Gavia	4.50	0.20	130.00	1000.00	8.00	2.82
Iver 3	2.19	0.14	39.00	200.00	14.00	2.06
Iver 4 - 900	2.50	0.23	104.00	300.00	20.00	2.57
Remus 100	1.85	0.19	38.60	100.00	10.00	2.30
Remus 620	5.60	0.32	347.00	600.00	12.00	4.12
Remus 6000	5.20	0.80	1630.00	6000.00	25.00	1.50
SeaCat	3.00	0.32	180.00	600.00	10.00	3.10
SeaRaptor	5.50	0.63	1200.00	6000.00	24.00	2.06

Fonte: Autores (2025).

**Figura 5.** Matriz de Decisão.

Alternativa/Critério	Comprimento (m)	Diâmetro (m)	Peso (kg)	Profundidade (m)	Autonomia (h)	Velocidade (m/s)
Bluefin-12	0.1204	0.0868	0.0476	0.0103	0.1190	0.1188
Bluefin-21	0.1229	0.1437	0.0159	0.2308	0.1488	0.0895
Gavia	0.1122	0.0542	0.0915	0.0513	0.0476	0.1088
Iver 3	0.0546	0.0380	0.3050	0.0103	0.0833	0.0794
Iver 4 - 900	0.0623	0.0624	0.1144	0.0154	0.1190	0.0991
Remus 100	0.0461	0.0515	0.3081	0.0051	0.0595	0.0887
Remus 620	0.1397	0.0879	0.0343	0.0308	0.0714	0.1589
Remus 6000	0.1297	0.2169	0.0073	0.3077	0.1488	0.0578
SeaCat	0.0748	0.0879	0.0661	0.0308	0.0595	0.1196
SeaRaptor	0.1372	0.1708	0.0099	0.3077	0.1429	0.0794

Fonte: Autores (2025).

**Figura 6.** Matriz de Decisão Normalizada.

A Figura 7 apresenta um conjunto de dados referentes ao cálculo de pesos para diferentes critérios, obtidos a partir de distintas abordagens estatísticas. A análise dos pesos obtidos demonstra que, no cálculo Gaussiano, a Profundidade apresentou maior relevância (0,3158) e a Velocidade o menor peso (0,0695). No ajuste de Pearson, o Peso foi o mais importante (0,3178) e a Autonomia o menos relevante (0,1025). Na correlação de Spearman, a Profundidade destacou-se (0,3082) e o Comprimento apresentou o menor peso (0,0944). No ajuste

Kendall, a Profundidade manteve-se como a mais relevante (0,3063) e o Comprimento como o menos expressivo (0,0920).

Finalizando a aplicação do método, a Figura 8 apresenta a ordenação das alternativas de acordo com o resultado obtido, após o cálculo da média geométrica. Diante do exposto, verifica-se que o Método AHP-Gaussiano-PSK indicou como alternativa mais favorável o Remus 6000, com uma pontuação de 0,155206. Por outro lado, a alternativa menos favorável foi o Bluefin-12, com pontuação de 0,064021.

Critério	Média	Desvio Padrão	Fator Gaussiano	Peso Gaussiano
Comprimento (m)	0.1000	0.0346	0.3456	0.0898
Diâmetro (m)	0.1000	0.0555	0.5548	0.1442
Peso (Kg)	0.1000	0.1085	1.0846	0.2819
Profundidade (m)	0.1000	0.1215	1.2149	0.3158
Autonomia (h)	0.1000	0.0380	0.3800	0.0988
Velocidade (m/s)	0.1000	0.0267	0.2672	0.0695

Critério	Média Pearson	Fator Correção	Peso Ajustado
Comprimento (m)	0.5563	0.0399	0.1040
Diâmetro (m)	0.7039	0.0427	0.1114
Peso (Kg)	0.5679	0.1218	0.3178
Profundidade (m)	0.6936	0.0968	0.2524
Autonomia (h)	0.6023	0.0393	0.1025
Velocidade (m/s)	0.3829	0.0429	0.1118

Critério	Média Spearman	Fator Correção	Peso Ajustado
Comprimento (m)	0.6040	0.0356	0.0944
Diâmetro (m)	0.6782	0.0464	0.1231
Peso (Kg)	0.7065	0.0827	0.2195
Profundidade (m)	0.6322	0.1162	0.3082
Autonomia (h)	0.5656	0.0429	0.1139
Velocidade (m/s)	0.2350	0.0531	0.1410

Critério	Média Kendall	Fator Correção	Peso Ajustado
Comprimento (m)	0.4926	0.0456	0.0920
Diâmetro (m)	0.5385	0.0666	0.1343
Peso (Kg)	0.5930	0.1148	0.2316
Profundidade (m)	0.5194	0.1518	0.3063
Autonomia (h)	0.4135	0.0579	0.1169
Velocidade (m/s)	0.1525	0.0589	0.1188

Fonte: Autores (2025).

**Figura 7.** Estatísticas Gaussianas, Métricas de Ajuste Pearson, Spearman e Kendall.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi a ordenação de AUVs com base no Método Multicritério de Decisão AHP-Gaussiano-PSK, alinhado às necessidades operacionais previstas no PEM 2040. A abordagem permitiu integrar dados objetivos, provenientes de fabricantes e especialistas, a um processo

estruturado de apoio à decisão, resultando em uma avaliação das alternativas disponíveis no mercado sob a égide de uma abordagem estritamente científica.

Os resultados indicaram que o Remus 6000 destacou-se como a opção mais adequada, obtendo melhor desempenho em critérios como diâmetro, profundidade e autonomia. Essa ordenação reforça a importância da adequação

Alternativa	AHP-Gaussiano	Rank	AHP-Gaussiano-Pearson	Rank	AHP-Gaussiano-Spearman	Rank	AHP-Gaussiano-Kendall	Rank	AHP-Gaussiano-PSK	Rank
Remus 6000	0.160875	1	0.139368	1	0.160463	1	0.161289	1	0.155206	1
SeaRaptor	0.156549	2	0.137647	2	0.158435	2	0.158260	2	0.152461	2
Bluefin-21	0.130030	3	0.117351	5	0.133447	3	0.133011	3	0.128287	3
Iver 3	0.113351	4	0.126855	3	0.100626	4	0.103083	4	0.110512	4
Remus 100	0.112107	5	0.125788	4	0.099202	5	0.101601	5	0.109188	5
Gavia	0.072148	6	0.076780	7	0.073909	6	0.072997	6	0.073938	6
Iver 4 - 900	0.070340	7	0.076951	6	0.070935	8	0.071009	7	0.072260	7
Remus 620	0.062686	8	0.068063	8	0.071534	7	0.069242	8	0.067802	8
SeaCat	0.061920	9	0.065808	9	0.065495	10	0.064578	10	0.064432	9
Bluefin-12	0.059995	10	0.065389	10	0.065954	9	0.064929	9	0.064021	10

Fonte: Autores (2025).

**Figura 8.** Comparação dos Métodos e Ranking Final AHP-Gaussiano-PSK.

estratégica do equipamento às demandas nacionais de defesa e vigilância da Amazônia Azul. Ao mesmo tempo, veículos com menor pontuação, como o Bluefin-12, revelam limitações que os tornam menos favoráveis para o contexto analisado.

Outro ponto relevante foi a constatação de que critérios como profundidade e peso tendem a exercer maior influência no resultado final, enquanto velocidade e comprimento, em geral, apresentam menor peso decisório. Ressalta-se que o critério de custo de aquisição dos AUVs não foi incluído na presente análise, pois o foco central do estudo concentrou-se na capacidade operacional das alternativas para atender às exigências estratégicas da MB.

Espera-se que este estudo contribua para apoiar a MB na ordenação de AUVs destinados a missões de patrulha, vigilância e outras operações estratégicas. Para pesquisas futuras, vislumbra-se a possibilidade de explorar novas alternativas e critérios de avaliação, bem como aplicar outros métodos de tomada de decisão ao referido problema. Além disso, recomenda-se a realização de análises de sensibilidade dos métodos empregados, visando reforçar a robustez da escolha do modelo proposto neste trabalho. Ressalta-se que o método, no estado da arte, e aplicado no problema em tela, bem como o Sistema de Apoio à Decisão (SAD) desenvolvido, podem ser aplicados a outros problemas de tomada de decisão da Alta Administração Naval.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA GOV. Marinha e Petrobras firmam parceria para monitoramento preciso da Amazônia Azul. *Agência Gov*, 2025. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202502/marinha-e-petrobras-firmam-parceria-para-monitoramento-preciso-da-amazonia-azul>. Acesso em: 9 ago. 2025.

ANDRADE, I. O.; DA ROCHA, A. J. R.; FRANCO, L. G. A. *Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul: soberania, vigilância e defesa das águas jurisdicionais brasileiras*. (Texto para Discussão). Rio de Janeiro: Ipea, 2019.

BRASIL. Marinha do Brasil. *Amazônia Azul*. 2025a. Disponível em: [https://www.marinha.mil.br/cgcfm/amazonia\\_azul](https://www.marinha.mil.br/cgcfm/amazonia_azul). Acesso em: 9 ago. 2025.

BRASIL. Marinha do Brasil. *Plano Estratégico da Marinha 2040 - PEM 2040*. Brasília: Marinha do Brasil, 2025b. Disponível em: [https://www.marinha.mil.br/sites/all/modules/pub\\_pem\\_2040/files/basic-html/page21.html](https://www.marinha.mil.br/sites/all/modules/pub_pem_2040/files/basic-html/page21.html). Acesso em: 9 ago. 2025.

CENTRO DE ANÁLISES DE SISTEMAS NAVAIS - CASNAV. Veículo de Superfície Não Tripulado (VSNT) desenvolvido pelo Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) participa da comissão ADEREX. CASNAV, 2025. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/casnav/noticias/2025/07/veiculo-de-superficie-nao-tripulado-vsnt-desenvolvido-pelo-centro-de-analises-de>. Acesso em: 9 ago. 2025.

- DE SOUSA, J. Vi. N. Características gerais dos veículos autônomos submarinos. *Revista Marítima Brasileira*, v. 139, n. 10/12, p. 185-191, 2019.
- DE SOUSA, J. V. N. Veículos submarinos não tripulados de grande deslocamento. *Revista Marítima Brasileira*, v. 143, n. 01/03, p. 222-227, 2023.
- DEVOTI, F.; MURSIA, P.; SCIANCALEROPE, V.; COSTA-PÉREZ, X. Taming aerial communication with flight-assisted smart surfaces in the 6G era: Novel use cases, requirements, and solutions. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, v. 18, n. 3, p. 38-47, 2023. <https://doi.org/10.1109/MVT.2023.3274329>
- DINIZ, B. P.; RODRIGUES, M. V. G.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. *AHP-Gaussiano-PSK em Python (v.1) 2025: Certificado de Registro de Programa de Computador*. Brasil: Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 2025.
- DO NASCIMENTO MAËDA, S. M.; DE ARAÚJO COSTA, I. P.; DE BARROS TEIXEIRA, L. F. H. Veículos autônomos submarinos: Novas possibilidades para a Marinha do Brasil. *Revista Marítima Brasileira*, v. 143, n. 04/06, p. 190-199, 2023.
- DOS SANTOS, M.; DE ARAÚJO COSTA, I. P.; GOMES, C. F. S. Multicriteria decision-making in the selection of warships: a new approach to the AHP method. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, v. 13, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v13i1.833>
- EKHLAKOV, R.; ANDRIYANOV, N. Multicriteria assessment method for network structure congestion based on traffic data using advanced computer vision. *Mathematics*, v. 12, n. 4, p. 555, 2024. <https://doi.org/10.3390/math12040555>
- HASAN, K.; AHMAD, S.; LIAF, A. F.; KARIMI, M.; AHMED, F.; SHAWON, M. A. Oceanic challenges to technological solutions: A review of autonomous underwater vehicle path technologies in biomimicry, control, navigation, and sensing. *IEEE Access*, v. 12, p. 46202-46231, 2024. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3380458>
- MOREIRA, M. Â. L.; SILVA, F. C. A.; COSTA, I. P. A.; GOMES, C. F. S.; DOS SANTOS, M. SAPEVO-H<sup>2</sup> a Multi-Criteria Systematic Based on a Hierarchical Structure: Decision-Making Analysis for Assessing Anti-RPAS Strategies in Sensing Environments. *Processes*, v. 11, n. 2, p. 352, 2023. <https://doi.org/10.3390/pr11020352>
- OBEMBE, E.; ALI, B. Evaluating the Applications and the Growing Importance of Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) in Marine Geophysical Survey. *Journal of Science Innovation and Technology Research*, v. 7, n. 9, p. 307-329, 2025. <https://doi.org/10.70382/ajsitr.v7i9.032>
- OJIKA, F. U.; ONAGHINOR, O.; ESAN, O. J.; DARAOJIMBA, A. I.; UBAMADU, B. C. A predictive analytics model for strategic business decision-making: A framework for financial risk minimization and resource optimization. *IRE Journals*, v. 7, n. 2, p. 764-766, 2023.
- SAHOO, S. K.; GOSWAMI, S. S. A comprehensive review of multiple criteria decision-making (MCDM) methods: advancements, applications, and future directions. *Decision Making Advances*, v. 1, n. 1, p. 25-48, 2023. <https://doi.org/10.31181/dma1120237>