

Seleção de um Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (SARP) para a Marinha do Brasil: um olhar sob a perspectiva do método SAPEVO-H²

Miguel Ângelo Lellis Moreira
miguellellis@hotmail.com
UFF

Marcos dos Santos
marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br
IME

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

Resumo: O presente estudo baseia-se na exploração de uma abordagem extensiva ao método SAPEVO-M, tendo por base uma análise hierárquica e híbrida, tratando variáveis de diferentes naturezas. Nomeada SAPEVO-H², a modelagem, baseada na abordagem multicritério, viabiliza a avaliação de alternativas sob a luz de múltiplos critérios, proporcionando a integração de objetivos de um problema, transcritos em atributos e estruturados em um modelo hierárquico. Integrando múltiplos decisores, é possibilitado avaliações em grupos e individuais, designando o avaliador em sua área de expertise e responsabilidade de decisão. Em busca de explorar a viabilidade de implementação do modelo, é realizado um estudo de caso baseado na aquisição de Sistemas de Aeronave Remotamente Pilotadas para a Marinha do Brasil. A análise esclarece as indicações de preferências em cada nível da hierarquia, expondo a construção dos resultados locais e global. Ao final apresenta-se os principais pontos da modelagem e trabalhos futuros.

Palavras Chave: Tomada de Decisão - Multicritério - Análise Hierárquica - Método SAPEVO-M -

1. INTRODUÇÃO

Baseando-se na Política de Defesa Nacional (PND) (BRASIL, 2020), o Brasil tem papel de destaque no meio ambiente mundial, privilegiando a paz e defendendo o diálogo e a paz para a solução de disputas entre Estados. Contudo, vale ressaltar que o país direciona suas decisões para o desenvolvimento contínuo de suas estratégias de defesa, expressas por meio do desenvolvimento político, econômico, social, militar e científico-tecnológico (BRASIL, 2020).

As tomadas de decisões em ambientes políticos e militares envolvem diferentes níveis e áreas, interconectando análises estratégicas, táticas e operacionais em prol de um direcionamento alinhado aos objetivos em uma dada situação problemática (SHORTLAND; ALISON; BARRETT-PINK, 2018). De forma complementar, faz necessário considerar que a tomada de decisão em âmbito político e militar é complexa e, em muitos dos casos, deve ser estratégica, a partir do momento em que uma dada forma de solução é definida, pode gerar influências não só na esfera militar, mas causa impactos nas outras áreas da sociedade (HAEREM *et al.*, 2011).

No cenário de tomadas de decisões de alto nível em ambientes de crescente complexidade, é comum o envolvimento de múltiplos decisores em busca de determinar e analisar aspectos relevantes ao problema, de modo que possibilite, sobre múltiplas perspectivas, viabilizar um consenso na tomada de decisão (ZHANG; XU; LIAO, 2017). Conforme abordado por Maghrabie, Beauregard e Schiffauerova (2019), com o envolvimento de múltiplos cenários e circunstâncias, torna-se perceptível o aumento de complexidade em uma dada análise, havendo diferentes pontos de vista quanto à importância ou influência de uma variável de decisão, entretanto, sendo necessário considerá-lo em prol de uma avaliação substancial e maior assertividade na decisão final.

Em tomada de decisão, a Pesquisa Operacional (PO) proporciona, mediante suas abordagens e metodologias, a análise de problemas complexos com base técnica e científica, proporcionando sua estruturação, compreensão e, em casos específicos, a viabilização de uma solução favorável para um dado problema (COSTA *et al.*, 2021). Considerando um conjunto de diversas alternativas avaliadas sobre múltiplos atributos, os modelos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), originados na PO, viabilizam o suporte no processo decisório, contemplando técnicas que permitem ao decisor, sendo este uma pessoa, grupo ou organização, a estruturação de variáveis e preferências, esclarecendo seus respectivos graus de importância em um processo interativo com outros atores (GOMES; GOMES, 2019).

Em problemas reais de tomada de decisão, variáveis de incerteza estão intrínsecas à avaliação, principalmente em ambientes envolvendo múltiplos decisores, onde os membros geralmente discordam quanto aos valores dos parâmetros, e atribuições de preferência (FERNÁNDEZ; FIGUEIRA; NAVARRO, 2019). Não obstante, conforme abordado por Zanazzi, Gomes e Dimitroff (2014), mesmo sendo comum decisões em grupos para análises de situações reais, poucos são os modelos que consideram a formação de subgrupos para o tratamento de problemas em níveis estratégicos, táticos e operacionais, de modo particular.

No contexto apresentado, o estudo baseia-se na exploração de uma abordagem extensiva ao método SAPEVO-M (*Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors Group Decision Making*), proposto por Gomes *et al.* (2020). Dada abordagem, previamente nomeada SAPEVO-H² (*SAPEVO Hybrid and Hierarchical*) aborda uma análise com múltiplos decisores, entretanto, proporcionando criar subgrupos do conjunto para análise de partes específicas da problemática construída em formato de hierarquia, não restringindo-se à avaliação de alternativas sob múltiplos critérios, mas também considerando outros atributos pertinentes a um dado problema. De forma adicional, somado ao modelo de avaliação ordinal presente no método tradicional, a modelagem também proporciona o tratamento de atribuições quantitativas, com base em entradas cardinais.

Como forma de validação da abordagem trabalhada, é explorado um estudo de caso embasado em uma tomada de decisão estratégica para aquisição hipotética de SARP (Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada) para a Marinha do Brasil (MB). Dado processo decisório, realiza a integração de múltiplos decisores em diferentes níveis hierárquicos e de conhecimento às variáveis pertinentes à situação problemática.

O artigo é estruturado em cinco seções. Após a introdução, explora-se os fundamentos teóricos do AMD e das metodologias basilares ao modelo tratado. Na seção 3 é apresentado a estrutura axiomática da modelagem SAPEVO- H^2 , apresentando suas particularidades e pontos de evolução quanto aos modelos precedentes. A seção 4 é destinada à aplicação numérica do dado modelo mediante um estudo de caso. A seção 5 apresenta as considerações finais do estudo com base em seus resultados e propostas de trabalhos futuros.

2. APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

O processo de tomada de decisão está integrado à atividade humana, caracterizando-se como o processo de análise de um conjunto de ações em busca da obtenção de uma solução favorável para um dado problema (MUNIER; HONTORIA; JIMÉNEZ-SÁEZ, 2019). Neste cenário, o AMD, proporciona a estruturação e compreensão de um problema em ambientes complexos, considerando risco e incerteza, auxiliando no esclarecimento de soluções favoráveis para problemas de natureza variada, viabilizado mediante um processo axiomático interativo e transparente (GRECO; FIGUEIRA; EHRGOTT, 2016).

Os métodos presentes no AMD buscam por proporcionar o estabelecimento das preferências entre alternativas, sob a análise de critérios muitas das vezes conflitantes entre si (GOMES *et al.*, 2008). Segundo Ishizaka e Nemery (2013) comumente, há três principais tipos de problemáticas tratadas nos modelos pertencentes ao AMD, são elas: Escolha, expondo a alternativa mais favorável em um contexto global; Ordenação, estabelecendo uma ordem das alternativas mais favoráveis até as menos favoráveis com forma de solução; e Classificação, alocando as alternativas em classes de dominância.

2.1 MÉTODO SAPEVO-M

O método SAPEVO-M (GOMES *et al.*, 2020), pode ser compreendido como uma evolução axiomática do método SAPEVO (GOMES; MURY; GOMES, 1997), introduzindo um formato de avaliação para múltiplos decisores em um processo decisório, além do aperfeiçoamento axiomático do modelo desenvolvido anteriormente, trazendo assim um incremento em sua consistência.

Gomes *et al.* (2020) ressaltam que a principal do modelo está relacionada ao processo de transformação ordinal das preferências, sendo este utilizado para obtenção dos graus de relações de preferência entre as alternativas em cada critério, e também para a obtenção dos graus de importância dos critérios, gerando assim seus respectivos pesos.

O processo axiomático do modelo baseia-se em duas partes. Preliminarmente, deve ser realizada a transformação da preferência ordinal entre critérios, a ser expressa por um vetor representando os pesos dos critérios. Em seguida, é feita a transformação ordinal da preferência entre alternativas dentro de um determinado conjunto de critérios, expressa por uma matriz. Uma série de comparações pareadas entre as opções quer seja critérios ou alternativas dentro de um determinado critério, denotam as informações de preferência individual de cada decisor.

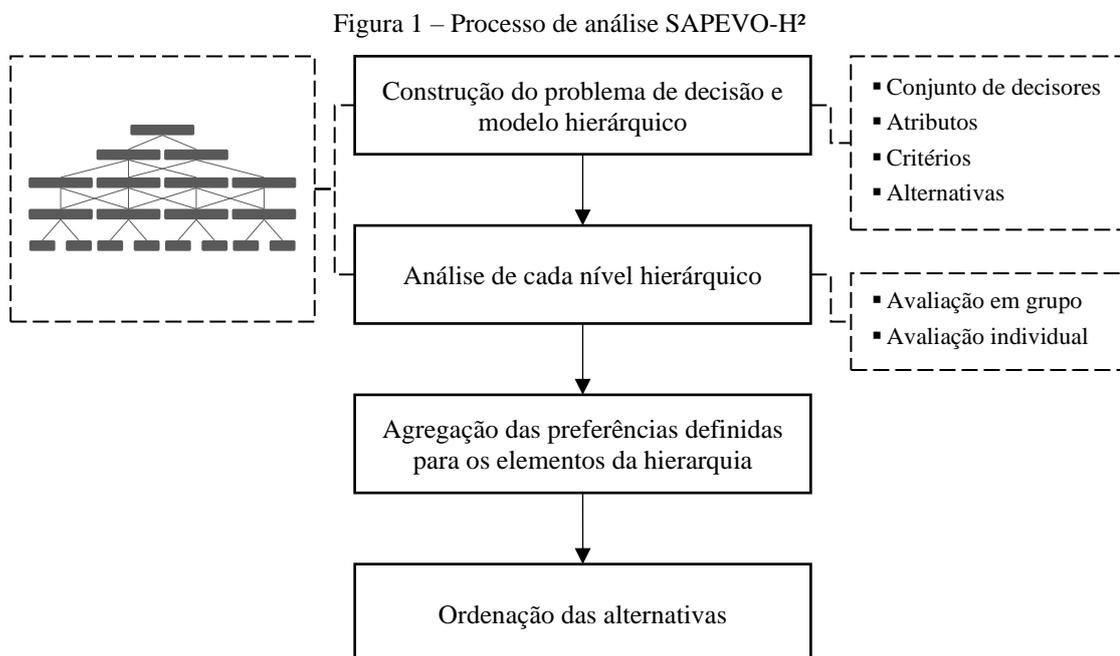
Com base em uma escala ordinal de sete pontos (-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3), variando de *absolutamente pior* a *absolutamente melhor*, as avaliações paritárias são realizadas, viabilizando a indicação de intensidade de preferências entre duas variáveis. Dado modelo sustenta as duas partes de análise do modelo, ou seja, serve de base para avaliação dos critérios e avaliação das alternativas em cada critério. O processo de normalização das variáveis (alternativas ou critérios) é dado pela equação (1), permitindo uma transformação de

pontuações ordinais em grandezas cardinais, proporcionando a agregação das preferências e ordenação das alternativas (GOMES *et al.*, 2020).

$$v = \frac{\sum a_{ij} - \min a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}} \quad (1)$$

3. MÉTODO SAPEVO-H²

A abordagem SAPEVO-H² consiste em viabilizar a avaliação de uma dada problemática para múltiplos decisores, proporcionando cada decisor avaliar a hierarquia de atributos e critérios de forma parcial ou total, ou seja, um decisor ou um grupo de decisores, podem avaliar todos os níveis da hierarquia, ou apenas parte deste nível. Ressaltando que o tipo de análise a ser realizado reflete a estruturação do problema, estando esta previamente já realizada. Conforme exposto na Figura 1, a modelagem tratada consiste em quatro etapas, estando estas divididas em subetapas.



Fonte: Autores (2021)

3.1 CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO

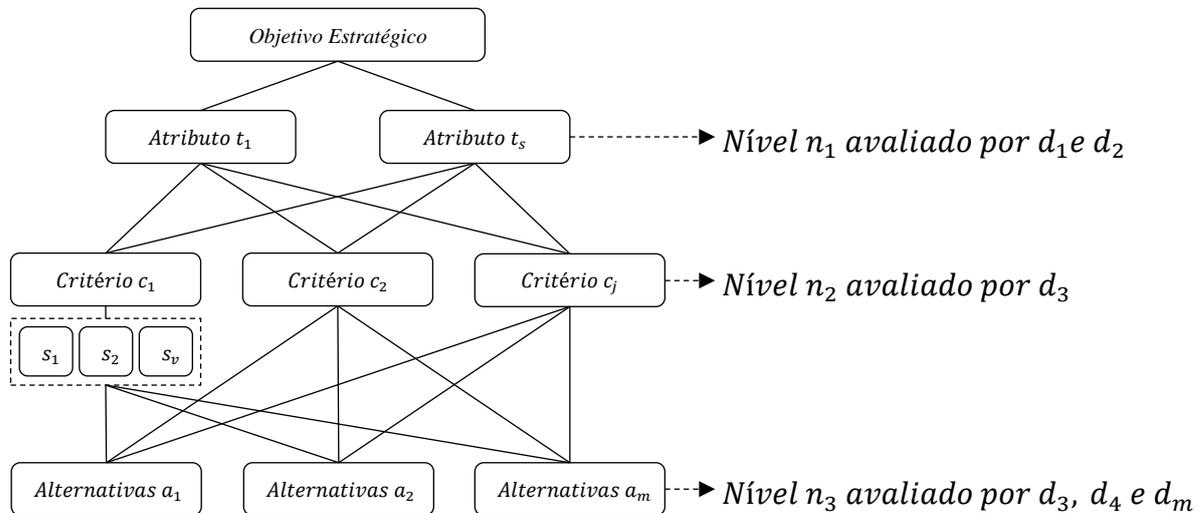
A modelagem integra um conjunto de decisores D , onde $d_m \in D, m = 1, \dots, n$, possibilitando ao decisor avaliar dada problemática baseada em um conjunto de níveis hierárquicos N , onde $n_h \in N, h = 1, \dots, l$.

Relacionado ao alcance de um dado objetivo estratégico, representando o topo da hierárquica em avaliação, para cada nível hierárquico é determinado um conjunto de elementos, podendo ser:

- Conjunto de atributos T , onde $t_r \in T, r = 1, \dots, s$.
- Conjunto de critérios C , onde $c_j \in C, j = 1, \dots, k$.
- Conjunto de subcritérios S , onde $s_u \in S, u = 1, \dots, v$.
- Conjunto de alternativas A , onde $a_i \in A, i = 1, \dots, b$.

Considerando os conjuntos possíveis de avaliação, a Figura 2 traz um exemplo de configuração para dada abordagem, ressaltando que para cada conjunto há uma necessidade mínima de dois elementos, tornando possível uma avaliação de comparação entre os elementos pertencentes a um conjunto em cada nível de análise.

Figura 2 – Exemplo de estrutura hierárquica para avaliação



Fonte: Autores (2021)

3.2 ANÁLISE DOS ELEMENTOS

Para todos conjuntos de avaliação em seus respectivos níveis, possibilita-se a avaliação por múltiplos decisores ou por um único decisor. Para análise de níveis respectivos aos conjuntos de atributos e critérios, utiliza-se de uma escala ordinal baseada em sete pontos, conforme exposto na Tabela 1.

Tabela 1 - Escala ordinal de importâncias

Descrição verbal	Pontuação
Absolutamente pior / Absolutamente menos importante	-3
Muito Pior / Muito menos importante	-2
Pior / Menos importante	-1
Equivalente / Tão importante quanto	0
Melhor / Mais importante	1
Muito melhor / Muito mais importante	2
Absolutamente melhor / Absolutamente mais importante	3

Fonte: Autores (2021)

3.2.1 ANÁLISE MULTIDECISÓRIA

Para uma análise de um dado conjunto de elementos com múltiplos decisores, utiliza-se da escala ordinal (Tabela 1) como base para avaliação par a par entre os elementos do conjunto. Para cada decisor d_m é estabelecido uma matriz com as indicações de preferências entre os elementos do conjunto. Mediante a equação (2), as somas das grandezas são estabelecidas, definindo um grau de importância para os elementos avaliados por um decisor.

$$v = \frac{\sum a_i - \min a_i}{\max a_i - \min a_i} \quad (2)$$

Com os graus obtidos para cada elemento, é realizado a soma destes graus $e_i = \sum_{m=1}^n e_{im}$ para cada decisor. Na sequência obtêm-se a normalização das somas $v = \frac{e_i}{\sum e_i}$, indicando as respectivas importâncias dos elementos para o atributo do nível superior. Neste modelo, mantendo a técnica indicada por Gomes *et al.* (2020), caso algum critério ou atributo apresente grau de importância zero, é atribuído 1% do menor valor maior que zero a este elemento.

3.2.2 ANÁLISE MONODECISÓRIA

Para análise por apenas um decisor em determinado nível, utiliza-se de uma variação axiomática, proposta por Moreira *et al.* (2021). Neste contexto utiliza-se na criação de uma escala baseada em um limite superior e inferior, definidos como *soma máxima* (3) e *soma mínima* (4), respectivamente.

$$\text{soma máxima} = (n - 1)3 \quad (3)$$

$$\text{soma mínima} = (n - 1)(-3) \quad (4)$$

Utilizando como base a escala ordinal (Tabela 1), as pontuações dos elementos de dado conjunto em avaliação são obtidas, onde a normalização das pontuações é viabilizada pela equação (5), gerando os graus de importância dos elementos. Posteriormente utiliza-se de $v = \frac{e_i}{\sum e_i}$ para normalização dos graus obtidos.

$$v = \frac{\sum a_i - \text{soma mínima}}{\text{soma máxima} - \text{soma mínima}} \quad (5)$$

3.2.3 ANÁLISE QUANTITATIVA

Por tratar de uma modelagem híbrida, o modelo viabiliza não só avaliar elementos com base em atribuições qualitativas como também análise quantitativa, sendo esta respectiva a avaliação de alternativas em critérios de natureza quantitativa, onde as alternativas já possuem atribuições numéricas cardinais em cada critério.

Neste modelo de avaliação, para cada critério quantitativo determina-se um limite mínimo L_{min} e máximo L_{max} . Para cada alternativa, os graus de importância a_{ij} são obtidos mediante a equação (6).

$$a_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{se } a_{ij} \leq L_{min} \\ \frac{a_{ij} - L_{min}}{L_{max} - L_{min}} & \text{se } L_{min} < a_{ij} < L_{max} \\ 1 & \text{se } a_{ij} \geq L_{max} \end{cases} \quad (6)$$

3.3 AGREGAÇÃO E ORDENAÇÃO DOS ELEMENTOS

Estando todos os elementos da hierarquia atribuídos com seus respectivos graus de importância, os valores são agregados, indicando a relativa importância do elemento e_i no elemento do nível superior s_j por $e_{ij} = e_i s_j$. Para cada dois níveis acima de um dado elemento k_l , sua importância é obtida mediante o modelo de agregação aditiva indicado na equação (7).

$$e_{ijl} = \sum_{l=1}^n e_{ij} k_l \quad (7)$$

Com o procedimento de agregação aditiva, permite-se a obtenção dos desempenhos das alternativas levando a ordenação destas em um formato global e local. Por se tratar de um modelo hierárquico, é possível analisar o desempenho das alternativas em cada critério ou atributo, esclarecendo o resultado global baseado nas atribuições dos decisores em diferentes níveis da hierarquia. Ressalta-se que além da obtenção de desempenho das alternativas, os critérios e atributos em análise, podem ser esclarecidos indicando suas respectivas importâncias no contexto de decisão, representando as relações de preferência de um grupo de decisores, como também de cada decisor em caráter individual.

4. ESTUDO DE CASO

Um SARP, muitas das vezes tratados como “drone”, são sistemas de aeronaves remota que vem despertado o interesse de organizações civis e militares, nacionais e internacionais, mediante suas múltiplas formas de implementação em operações táticas e estratégicas, relacionadas à defesa e segurança de um país (BRAGA, 2019). Atualmente as SARPs apresentam a integração de tecnologias de alto nível, comportando sensores, radares, câmeras e radares, possibilitando o emprego para em operações de logística, vigilância e combate (MOREIRA *et al.*, 2020).

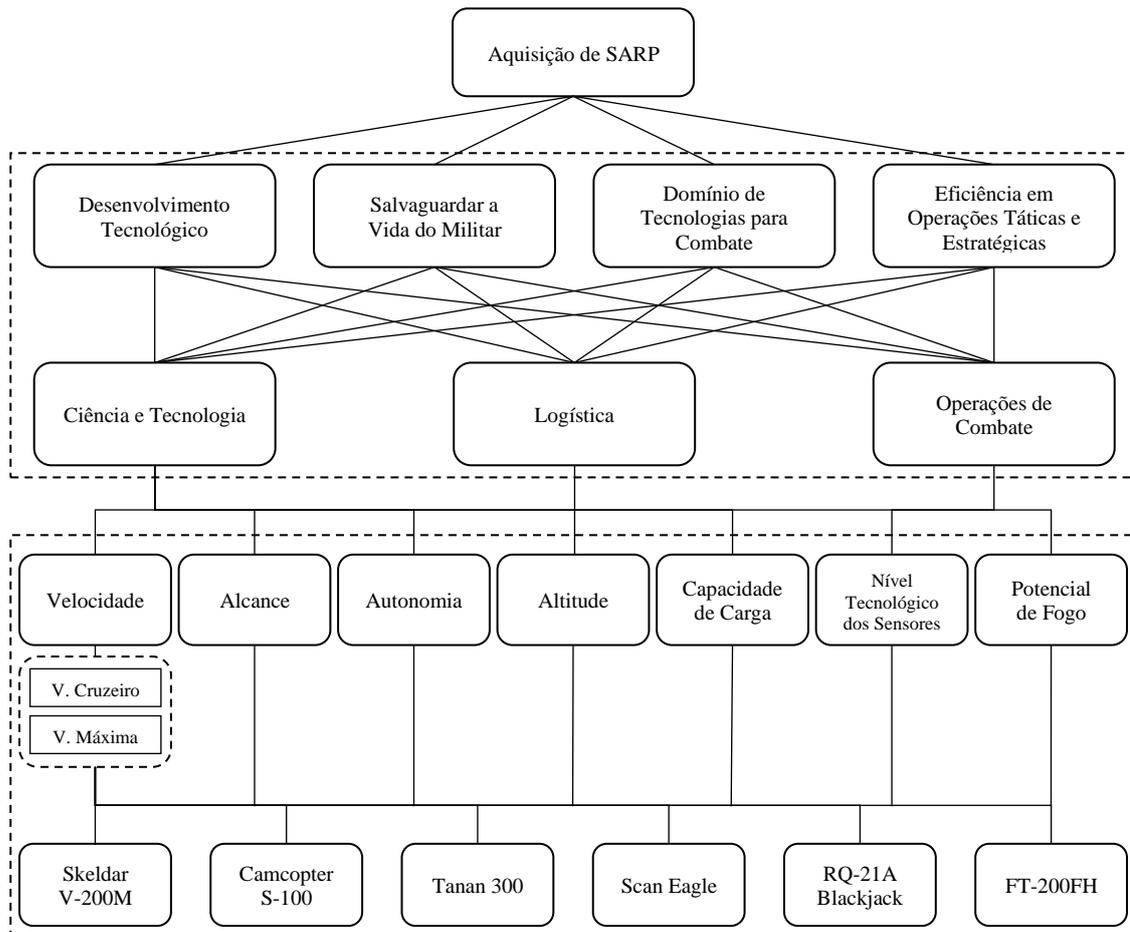
Entretanto, é necessário ressaltar que a aquisição ou desenvolvimento de dada tecnologia, não restringe-se em analisar apenas atributos operacionais, mas muitas das vezes se faz necessário o alinhamento com as políticas e objetivos estratégicos de uma dada situação problemática (COSTA *et al.*, 2021).

Neste contexto, o estudo de caso sustenta-se em uma hipotética análise para aquisição de SARPs para a MB, estando esta aquisição alinhada as estratégias da situação problemática, transcritas em quatro níveis de análise, são eles:

- Nível 1: Representação de objetivos estratégicos da MB;
- Nível 2: Determinação das áreas de importância para emprego da tecnologia;
- Nível 3: Conjunto de critérios e subcritérios para mensuração de desempenho dos sistemas;
- Nível 4: Representa o conjunto de alternativas para análise.

A Figura 3 expõem a estrutura do problema.

Figura 3 – Estrutura representativa da situação problemática



Fonte: Autores (2021)

Dada análise foi realizada mediante o apoio um grupo de cinco stakeholders, ambos oficiais de carreira da MB, apresentado vasta experiência no estudo e implementação de SARP. Em dado contexto, dois decisores avaliaram os níveis 1 e 2 da hierarquia, representando a abordagem estratégica do problema. Relacionada a avaliação operacional do problema, níveis 3 e 4, utilizou-se do apoio dos outros três decisores, entretanto deve-se ressaltar que nesta avaliação será tratada uma abordagem monodecisória, em que cada decisor realizará uma avaliação em sua área de expertise, ou seja, avaliando critérios e alternativas para *Ciência e Tecnologia*, *Logística* e *Operações de Combate*, respectivamente.

A primeira parte de avaliação sustenta-se em analisar os elementos do conjunto do primeiro nível, realizado pelos decisores D_1 e D_2 . Conforme apresentado na tabela 2, tendo por base a escala ordinal de atribuição (Tabela 1), os decisores avaliam o *Desenvolvimento Tecnológico* (DT), *Salvaguardar a Vida do Militar* (SV), *Domínio de Tecnologias para Combate* (DTC) e *Eficiência em Operações Táticas e Estratégicas* (EO).

Tabela 2 – Avaliação dos elementos do nível 1 pelos decisores D_1 e D_2

		DT	SV	DTC	EO				
D_1	DT	0	0	1	1	Pontuação	2	Pt. Normalizada	1
	SV	0	0	1	1		2		1
	DTC	-1	-1	0	-1		-3		0
	EO	-1	-1	1	0		-1		0,4
∴									
D_2	DT	0	-2	0	-1	Pontuação	-3	Pt. Normalizada	0,111
	SV	2	0	2	1		5		1
	DTC	0	-2	0	-2		-4		0
	EO	1	-1	2	0		2		0,667
∴									
		Utilidade Final							
		DT	0,265						
		SV	0,478						
		DTC	0,003						
		EO	0,255						

Fonte: Autores (2021)

Dado prosseguimento à avaliação, é necessário a avaliação do nível 2. Para dado nível, serão avaliadas as áreas de emprego em *Ciência e Tecnologia*, *Logística* e *Operações de Combate*, onde os três elementos serão avaliados com base em cada situação (elemento) do nível superior, avaliadas anteriormente. As avaliações são expostas nas tabelas 3, 4, 5 e 6.

Tabela 3 – Avaliação do nível 2 para *Desenvolvimento Tecnológico* pelos decisores D_1 e D_2

		CT	LO	OC					
D_1	CT	0	3	2	Pontuação	5	Pt. Normalizada	1	
	LO	-3	0	-1		-4		0	
	OC	-2	1	0		-1		0,333	
∴									
D_2	CT	0	2	2	Pontuação	4	Pt. Normalizada	1	
	LO	-2	0	1		-1		0,286	
	OC	-2	-1	0		-3		0	
∴									
		Utilidade Final							
		CT	0,764						
		LO	0,109						
		OC	0,127						

Fonte: Autores (2021)

Tabela 4 – Avaliação do nível 2 para *Salvaguardar a Vida do Militar* pelos decisores D_1 e D_2

		CT	LO	OC					
D_1	CT	0	-1	-3	Pontuação	-4	Pt. Normalizada	0	
	LO	1	0	-2		-1		0,333	
	OC	3	2	0		5		1	
∴									
D_2	CT	0	1	-2	Pontuação	-1	Pt. Normalizada	0,333	
	LO	-1	0	-3		-4		0	
	OC	2	3	0		5		1	
∴									
		Utilidade Final							
		CT	0,125						
		LO	0,125						
		OC	0,750						

Fonte: Autores (2021)

Tabela 5 – Avaliação do nível 2 para *Domínio de Tecnologias de Combate* pelos decisores D_1 e D_2

		CT	LO	OC				
D_1	CT	0	2	-1	Pontuação	Pt. Normalizada	Utilidade Final	
	LO	-2	0	-3	1	0,667		
	OC	1	3	0	-5	0		
		∴						
D_2	CT	0	3	0	Pontuação	Pt. Normalizada	Utilidade Final	
	LO	-3	0	-3	3	1		
	OC	0	3	0	-6	0		
		∴						
		∴						
		∴						
		∴						

Fonte: Autores (2021)

Tabela 6 – Avaliação do nível 2 para *Eficiência em Op. Táticas e Estratégicas* pelos decisores D_1 e D_2

		CT	LO	OC				
D_1	CT	0	-3	-3	Pontuação	Pt. Normalizada	Utilidade Final	
	LO	3	0	0	-6	0		
	OC	3	0	0	3	1		
		∴						
D_2	CT	0	-3	-2	Pontuação	Pt. Normalizada	Utilidade Final	
	LO	3	0	1	-5	0		
	OC	2	-1	0	4	1		
		∴						
		∴						
		∴						
		∴						

Fonte: Autores (2021)

Realizadas as avaliações dos níveis 2 e 3, é iniciada a avaliação dos atributos mais operacionais do problema, avaliando assim os critérios de influência, são eles: *Velocidade (Vel)*, *Alcance (Alc)*, *Autonomia (Aut)*, *Altitude (Alti)*, *Capacidade de Carga (CG)*, *Nível Tecnológico dos Sensores (NTS)* e *Potencial de Fogo (PF)*.

A avaliação dos critérios será realizada de forma singular para cada área de implementação estabelecidas no nível 2 da hierarquia. Entretanto, ao invés de uma análise em grupo, será tratada uma avaliação individual para cada decisor em sua expertise. No contexto de avaliação monodecisória, explorado na seção 3.2.2., serão consideradas as variáveis *soma máxima* = 18 e *soma mínima* = -18. As avaliações são expostas nas tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7 – Avaliação dos critérios do nível 3 para *Ciência e Tecnologia* pelo decisor D_3

		Vel	Alc	Aut	Alti	CG	NTS	PF			
D_3	Vel	0	0	-1	0	-1	-3	-2	Pontuação	Pt. Normalizada	Peso
	Alc	0	0	-1	0	-1	-3	-2	-7	0,305	0,087
	Aut	1	1	0	1	0	-2	-1	0	0,500	0,143
	Alti	0	0	-1	0	-1	-3	-2	-7	0,305	0,087
	CG	1	1	0	1	0	-2	-1	0	0,500	0,143
	NTS	3	3	2	3	2	0	1	14	0,889	0,254
	PF	2	2	1	2	1	-1	0	7	0,694	0,198
		∴									

Fonte: Autores (2021)

Tabela 8 – Avaliação dos critérios do nível 3 para *Logística* pelo decisor D_4

		Vel	Alc	Aut	Alti	CG	NTS	PF			
D_4	Vel	0	1	-3	1	-3	-3	2	Pontuação	Pt. Normalizada	Peso
	Alc	-1	0	-3	0	-3	-3	1	-5	0,361	0,098
	Aut	3	3	0	3	0	0	3	-9	0,250	0,068
	Alti	-1	0	-3	0	-3	-3	1	12	0,833	0,227
	CG	3	3	0	3	0	0	3	-9	0,250	0,068
	NTS	3	3	0	3	0	0	3	12	0,833	0,227
	PF	2	1	-3	-1	-3	-3	0	12	0,833	0,227
		∴									
		∴									
		∴									
		∴									

Fonte: Autores (2021)

Tabela 9 – Avaliação dos critérios do nível 3 para *Operações de Combate* pelo decisor D_5

		<i>Vel</i>	<i>Alc</i>	<i>Aut</i>	<i>Alti</i>	<i>CG</i>	<i>NTS</i>	<i>PF</i>		<i>Pontuação</i>	<i>Pt. Normalizada</i>	<i>Peso</i>
D_5	<i>Vel</i>	0	0	0	0	1	-1	-2	∴	-2	0,444	0,127
	<i>Alc</i>	0	0	0	0	1	-1	-2		-2	0,444	0,127
	<i>Aut</i>	0	0	0	0	1	-1	-2		-2	0,444	0,127
	<i>Alti</i>	0	0	0	0	1	-1	-2		-2	0,444	0,127
	<i>CG</i>	-1	-1	-1	-1	0	-2	-3		-9	0,250	0,071
	<i>NTS</i>	1	1	1	1	2	0	-1		5	0,639	0,183
	<i>PF</i>	2	2	2	2	3	1	0		12	0,833	0,238

Fonte: Autores (2021)

Obtidos os pesos dos critérios em cada cenário avaliado, necessita-se a avaliação das alternativas. Para análise dos critérios qualitativos, utiliza-se da escala ordinal e normalização das pontuações, sendo este procedimento realizado para os critérios *Nível Tecnológico dos Sensores* e *Potencial de Fogo*. Para os demais critérios, ambos de natureza quantitativa, é realizado o procedimento de avaliação quantitativa explorado na seção 3.2.3, definindo os valores cardinais das alternativas em cada critério, e cada decisor, em sua expertise, define um limite mínimo e máximo, L_{min} e L_{max} para cada critério. Os dados numéricos são apresentados na tabela 10.

Tabela 10 – Atribuições quantitativas às alternativas em cada critério de avaliação

		<i>Vel. Cruzeiro</i>	<i>Vel. Máxima</i>	<i>Alcance</i>	<i>Autonomia</i>	<i>Altitude</i>	<i>Cap. de Carga</i>
	Skeldar	130	150	200	5	9842	40
	Camcopter	185	222	200	6	18000	50
	Tanan 300	100	150	180	12	13000	80
	Scan Eagle	110	148	100	24	19500	3,4
	RQ-21A	112	167	93	16	20000	17,7
	FT-200FH	80	110	100	12	12000	50
D_3	L_{min}	100	100	0	0	10000	10
	L_{max}	180	200	150	24	20000	70
D_4	L_{min}	120	120	50	6	5000	0
	L_{max}	200	250	150	18	12000	80
D_5	L_{min}	140	140	60	6	12000	0
	L_{max}	220	250	120	18	20000	30

Fonte: Autores (2021)

Estabelecidos os conjuntos de dados e preferências, é realizado o processo de agregação. Um ponto de interesse da modelagem trabalhada, está vinculado da viabilidade de analisar os desempenhos das alternativas de modo global e local, ou seja, em cada nível da hierarquia e atributo. Neste cenário, é obtida uma utilidade das alternativas em todos atributos da hierarquia, nos níveis 1 e 2. A Tabela 11 expõem as utilidades das alternativas respectivas aos atributos.

Tabela 11 – Utilidades das alternativas nos níveis 1 e 2 da hierarquia

	<i>Ciência e Tecnologia</i>	<i>Logística</i>	<i>Operações de Combate</i>	<i>Desenvolvimento Tecnológico</i>	<i>Salvaguardar a Vida do militar</i>	<i>Domínio de Tec. para Combate</i>	<i>Eficiência em Op. Tát. e Est.</i>
Skeldar	0,481	0,496	0,443	0,478	0,454	0,460	0,472
Camcopter	0,696	0,588	0,801	0,697	0,761	0,752	0,685
Tanan 300	0,452	0,533	0,469	0,463	0,475	0,462	0,504
Scan Eagle	0,443	0,384	0,345	0,424	0,362	0,389	0,367
RQ-21A	0,496	0,495	0,602	0,509	0,575	0,554	0,543
FT-200FH	0,699	0,593	0,495	0,661	0,533	0,588	0,549

Fonte: Autores (2021)

Considerando os atributos do nível 2 na tabela 11, entende-se que a alternativa FT-200FH mostrou-se como mais favorável nas áreas de *Ciência e Tecnologia* e *Logística*, precedida pelas aeronaves Camcopter e RQ-21A na primeira área e Camcopter e Tanan 300 na segunda área. Entretanto, com maior distanciamento entre as pontuações, a SARP Camcopter apresentou-se mais favorável ao contexto de *Operações de Combate*, precedida por RQ-21A e FT-200FH.

Avaliando o nível 1, ainda na tabela 11, a alternativa Camcopter mostrou-se a mais favorável nos quatro atributos do nível em questão. A alternativa RQ-21A manteve-se em segunda posição em três atributos e em terceiro em um atributo. Por outro lado, a alternativa FT-200FH obteve a terceira posição em três atributos e a segunda posição em um atributo, apresentando uma redução nas pontuações quando comparado ao seu desempenho no nível 2.

Complementando a análise da hierarquia, a tabela 12 expõem o resultado em sua forma global, ou seja, as pontuações obtidas após o processo de agregação, juntamente com a ordenação final das alternativas, considerando todos os atributos e critérios do problema.

Tabela 12 – Utilidades das alternativas de forma global no contexto de decisão

	<i>Utilidade Global</i>	<i>Ranking</i>
Skeldar	0,465	5°
Camcopter	0,725	1°
Tanan 300	0,479	4°
Scan Eagle	0,380	6°
RQ-21A	0,550	3°
FT-200FH	0,571	2°

Fonte: Autores (2021)

Ao final da análise compreende-se que a alternativa Camcopter torna-se a mais favorável nos principais pontos da decisão. Ressalta-se que mesmo dada alternativa expondo o melhor desempenho, é viável considerar outros sistemas em casa de uma futura inviabilidade da alternativa principal. Também foi identificado alternativas não favoráveis como solução ao problema, por exemplo a SARP Scan Eagle, estabelecendo a menor pontuação em todos os níveis avaliados.

Além do ranking final obtido, também se possibilitou a construção de ordenações para cada nível e contexto de avaliação, podendo assim realizar a indicação de diferentes tipos de soluções para cada cenário a ser implementada, podendo também analisar a viabilidade de emprego combinado das soluções esclarecidas no modelo de decisão proposto.

5. CONCLUSÃO

O estudo proposto abrangeu uma abordagem extensiva ao método SAPEVO-M, esta nomeada SAPEVO-H², sustentando uma análise hierárquica e análise de variáveis de diferentes naturezas. Dado modelo, além de viabilizar a análise e avaliação de critérios e alternativas em uma problemática de ordenação, possibilita a integração de atributos em diferentes níveis hierárquicos, tornando possível a construção e avaliação de problemas de decisão de alto nível, integrando múltiplos decisores em diferentes partes da situação problemática.

Como aplicação prática da modelagem, realizou-se uma avaliação baseada em na aquisição hipotética de SARP para a MB. Na avaliação foi estruturado uma hierarquia de quatro níveis, com atributos (objetivos/áreas de aplicação), critérios e alternativas, estando estes alinhados ao objetivo estratégico de aquisição de dada tecnologia. Havendo cinco decisores, utilizou-se de avaliações em grupos e individuais, em prol do esclarecimento das alternativas mais favoráveis.

A abordagem tratada mostrou-se favorável ao contexto de decisão, podendo ser adaptada para outros problemas tomada de decisão multicritério com múltiplos decisores em

diferentes áreas de avaliação da problemática. Para trabalhos futuros, busca-se a avaliação de outros problemas em prol da identificação de pontos de melhorias e maior robustez do modelo, juntamente com o desenvolvimento de uma plataforma computacional de acesso web, explorando recursos, numéricos, gráficos e a possibilidade de integração dos avaliadores em uma plataforma online.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, C. C.** A ação de drones na guerra naval. *Revista Marítima Brasileira*. 139th ed. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2019. p. 79–110.
- BRASIL.** Política Nacional de Defesa - Estratégia Nacional de Defesa. 1st ed. Brasília: Ministério da Defesa, 2020.
- COSTA, I. P. A.; SANSEVERINO, A. M.; BARCELOS, M. R. S.; BELDERRAIN, M. C. N.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M.** *Choosing flying hospitals in the fight against the COVID-19 pandemic: structuring and modeling a complex problem using the VFT and ELECTRE-MOr methods*. *IEEE Latin America Transactions*, vol. 19, no. 6, p. 1099–1106, 2021. .
- FERNÁNDEZ, E.; FIGUEIRA, J. R.; NAVARRO, J.** *An interval extension of the outranking approach and its application to multiple-criteria ordinal classification*. *Omega*, vol. 84, p. 189–198, 2019. .
- GOMES, C. F. S.; NUNES, K. R. A.; XAVIER, L. H.; CARDOSO, R.; VALLE, R.** *Multicriteria decision making applied to waste recycling in Brazil*. *Omega*, vol. 36, no. 3, p. 395–404, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.07.009>.
- GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. dos; TEIXEIRA, L. F. H. de S. de B.; SANSEVERINO, A. M.; BARCELOS, M.** *SAPEVO-M a group multicriteria ordinal ranking method*. *Pesquisa Operacional*, vol. 40, p. 1–20, 2020.
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.** *Princípios e Métodos para Tomada de Decisão Enfoque Multicritério*. Edição: 6. Rio de Janeiro: Atlas, 2019.
- GOMES, L. F. A. M.; MURY, A. R.; GOMES, C. F. S.** *Multicriteria ranking with ordinal data*. *Systems Analysis Modelling Simulation*, vol. 27, no. 2–3, p. 139–145, 1997. .
- GRECO, S.; FIGUEIRA, J.; EHRGOTT, M.** *Multiple Criteria Decision Analysis*. New York, NY: Springer New York, 2016. vol. 233, (International Series in Operations Research & Management Science). <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4>.
- HAEREM, T.; KUVAAS, B. R.; BAKKEN, B. T.; KARLSEN, T.** *Do Military Decision Makers Behave as Predicted by Prospect Theory?* *Journal of Behavioral Decision Making*, vol. 24, p. 482–497, 2011. <https://doi.org/10.1002/bdm>.
- ISHIZAKA, A.; NEMERY, P.** *Multi-Criteria Decision Analysis*. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd, 2013. DOI 10.1002/9781118644898.
- MAGHRABIE, H. F.; BEAUREGARD, Y.; SCHIFFAUEROVA, A.** *Grey-based Multi-Criteria Decision Analysis approach: Addressing uncertainty at complex decision problems*. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 146, no. June, p. 366–379, 2019. DOI 10.1016/j.techfore.2019.05.031.
- MOREIRA, M. Â. L.; ARAÚJO COSTA, I. P.; PEREIRA, M. T.; DOS SANTOS, M.; GOMES, C. F.; MURADAS, F. M.** *PROMETHEE-SAPEVO-M1 a Hybrid Approach Based on Ordinal and Cardinal Inputs: Multi-Criteria Evaluation of Helicopters to Support Brazilian Navy Operations*. *Algorithms*, vol. 14, no. 5, 2021. <https://doi.org/10.3390/a14050140>.
- MOREIRA, M. Â. L.; GOMES, C. F. S.; DOS SANTOS, M.; DO CARMO SILVA, M.; ARAUJO, J. V. G. A.** *PROMETHEE-SAPEVO-M1 a Hybrid Modeling Proposal: Multicriteria Evaluation of Drones for Use in Naval Warfare*. *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*. 1st ed. Cham: Springer, 2020. p. 381–393. DOI 10.1007/978-3-030-56920-4_31.
- MUNIER, N.; HONTORIA, E.; JIMÉNEZ-SÁEZ, F.** *Strategic Approach in Multi-Criteria Decision Making*. 1st ed. Cham: Springer International Publishing, 2019. vol. 275, (International Series in Operations Research &

Management Science). DOI 10.1007/978-3-030-02726-1.

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*, vol. 19, no. 6, p. 752–772, 2 Nov. 2018. DOI 10.1080/1463922X.2018.1497726.

ZANAZZI, J. L.; GOMES, L. F. A. M.; DIMITROFF, M. *Group decision making applied to preventive maintenance systems*. *Pesquisa Operacional*, vol. 34, no. 1, p. 91–105, 8 Apr. 2014. DOI 10.1590/S0101-74382014005000003.

ZHANG, Y.; XU, Z.; LIAO, H. *A consensus process for group decision making with probabilistic linguistic preference relations*. *Information Sciences*, vol. 414, p. 260–275, 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.06.006>.