

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE ALEXANDRINO

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
GUERRA ELETRÔNICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SELEÇÃO DE AERONAVES NÃO TRIPULADAS PARA GUERRA ELETRÔNICA:
Uma abordagem combinada de métodos de Análise Multicritério de Decisão



PRIMEIRO-TENENTE CAIO BARCELLOS SANTOS

Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE CAIO BARCELLOS SANTOS

SELEÇÃO DE AERONAVES NÃO TRIPULADAS PARA GUERRA ELETRÔNICA: Uma
abordagem combinada de métodos de Análise Multicritério de Decisão

Monografia apresentada ao Centro de Instrução
Almirante Alexandrino como requisito parcial à
conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em
Guerra Eletrônica.

Orientadores:

Capitão de Fragata Marcelo da Silva Matias

Professor Doutor Carlos Vinicio Rodriguez Ron

CIAA
Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE CAIO BARCELLOS SANTOS

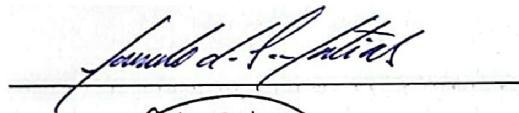
SELEÇÃO DE AERONAVES NÃO TRIPULADAS PARA GUERRA ELETRÔNICA: Uma
abordagem combinada de Análise Multicritério de Decisão

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial
à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Eletrônica.

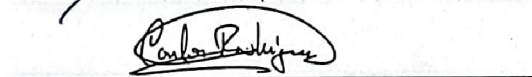
Aprovada em 21 de novembro de 2023

Banca Examinadora:

Marcelo da Silva Matias, CF-MSc – DGMM



Carlos Vinicio Rodriguez Von, DSc – PUC Rio



Guilherme Ribeiro Colen, DSc – CIAA



CIAA
Rio de Janeiro
2023

Dedico este trabalho a todos aqueles que almejam algo mais em suas carreiras, não desistem de buscar seus sonhos e encontram motivação nas adversidades. Vocês são um exemplo marcante de determinação e perseverança.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho e me acompanharam ao longo desta jornada.

Primeiramente, a Deus por permitir que chegasse até aqui guiando meus passos e iluminando os meus caminhos. Em segundo a minha amada esposa, Anne Barcellos, que carrega em seu ventre o nosso filho, merece uma expressão especial de gratidão. Seu apoio incansável, seu incentivo constante e sua compreensão paciente foram como um farol de luz em meio às tempestades que enfrentei. Sua presença foi minha força motriz e sua fé em mim, meu alicerce. Cada desafio superado é um testemunho do poder do nosso amor e da nossa união.

À minha família, que sempre acreditou em mim e me apoiou desde o momento em que decidi seguir meu sonho de servir na Marinha do Brasil, meu mais profundo agradecimento. Cada conquista que celebramos juntos é um reflexo do amor e do suporte que vocês me proporcionaram ao longo dos anos.

Ao meu filho, Victor, cujo amor incondicional foi uma fonte constante de inspiração e motivação para superar os obstáculos acadêmicos.

À família Barcellos, uma extensão da minha própria família, expresso minha sincera gratidão. Seu caloroso acolhimento e apoio inabalável foram uma dádiva que enriqueceu minha jornada.

Aos meus colegas de turma, Timothy, Agabel, Paulo Martins, Villander e Toshio Ito, pela camaradagem, companheirismo e intermináveis horas de estudo em grupo. Juntos, enfrentamos desafios acadêmicos e construímos memórias valiosas.

Ao Capitão de Corveta Fernando Zanon Barroso, meu mentor em meu primeiro navio, agradeço por sua orientação e incentivo. Suas palavras e exemplo me inspiraram a me esforçar constantemente para ser melhor.

Ao Capitão de Mar e Guerra Caio Germano Cardoso, meu primeiro Comandante, expresso minha profunda gratidão. Foi sob sua liderança exemplar que o sonho de comandar e a busca pela excelência tornaram-se minhas metas. Suas lições continuam a me guiar e inspirar.

A todos os amigos, familiares, professores e colegas que de alguma forma contribuíram para esta jornada, meu mais sincero obrigado. Este trabalho é o resultado do apoio e encorajamento de muitos, e estou imensamente grato por ter cada um de vocês em minha vida.

“O fato de você ser moderno na turma não te diz quem você é ou quem vai ser, te diz quem você foi, e você pode ser bem melhor do que isso.”

CMG Caio Germano Cardoso

SELEÇÃO DE AERONAVES NÃO TRIPULADAS PARA GUERRA ELETRÔNICA: Uma abordagem combinada de Análise Multicritério de Decisão

Resumo

Este estudo buscou demonstrar a utilidade da combinação de diferentes métodos de Análise Multicritério de Decisão (AMD) como abordagem criteriosa na seleção de Aeronaves Não Tripuladas (ANT) para aplicações em Guerra Eletrônica. Inicialmente, contextualizou-se a relevância da Guerra Eletrônica nas operações militares e a necessidade crítica de escolher as ANT mais apropriadas para esse ambiente. O objetivo central foi identificar a melhor alternativa entre várias ANT, considerando critérios específicos de Guerra Eletrônica. Foram implementadas três técnicas de AMD: o Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o AHP-Gaussiano e o *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS). Os resultados convergiram consistentemente, com a Alternativa 4 emergindo como a escolha superior em todos os métodos. Isso demonstra que a subjetividade foi minimizada, e a robustez da escolha foi garantida. Esses achados têm implicações significativas para a tomada de decisões estratégicas em operações de Guerra Eletrônica e oferecem uma estrutura sólida para a seleção de ANT. Este estudo contribui para a compreensão do processo de seleção de ANT em Guerra Eletrônica e destaca a importância contínua da AMD como uma ferramenta eficaz para escolhas estratégicas. Espera-se que este trabalho inspire pesquisas futuras na área de seleção de ANT, incluindo a expansão para aeronaves mais complexas e a alocação de sensores e materiais absorvedores de radiação para otimizar as capacidades de Guerra Eletrônica. A integração eficaz de ANT na Guerra Eletrônica é fundamental para o sucesso das operações militares modernas, e esta pesquisa fornece um roteiro sólido para alcançar esse objetivo.

Palavras-chave: Aeronaves Não Tripuladas (ANT), Guerra Eletrônica, Análise Multicritério de Decisão (AMD), Seleção de Aeronaves para Guerra Eletrônica, Estratégia de Defesa Militar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Índices da Escala Fundamental de Saaty	16
Figura 2.2 – Índices Randômicos de Saaty	18
Figura 6.1 - Avaliação dos Critérios pelo Especialista 3.....	35
Figura 6.2 - Matriz normalizada dos critérios	35
Figura 6.3 - Somatório de linhas da matriz normalizada e pesos relativos de cada critério	35
Figura 6.4 - Matriz Ponderada de Critérios	36
Figura 6.5 - Divisão da Soma Ponderada pelas Prioridades de cada critério	36
Figura 6.6 - Avaliação Consolidada dos critérios par a par	38
Figura 6.7 - Dados Inseridos na Planilha para o método AHP	39
Figura 6.8 – Dados processados pelo Método AHP	39
Figura 6.9 – Processamento dos dados pelo método AHP-Gaussiano	40
Figura 6.10 – Processamento dos dados pelo Método TOPSIS	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios Selecionados	29
Tabela 2 – Dados obtidos das ANT do Exercício REP(Mus) 2021	30
Tabela 3 – Peso das avaliações para cada Especialista	37
Tabela 4 – Classificação final das alternativas	42

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AIJ	Análise de Inconsistência de Julgamentos
AMD	Análise Multicritério de Decisão
ANT	Aeronaves Não Tripuladas
CI	Índice de Consistência (<i>Consistency Index</i>)
CGE	Capacidade de Guerra Eletrônica
CMRE	Centro de Investigação e Experimentação Marítima (<i>Centre for Maritime Research and Experimentation</i>)
CR	Consistência Relativa
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GA	Guerra Acústica
MAGE	Medidas de Apoio a Guerra Eletrônica
MGE	Medidas de Guerra Eletrônica
MUSI	<i>Maritime Unmanned Systems Initiative</i>
NATO/OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte (<i>North Atlantic Treaty Organization</i>)
REP(Mus)	<i>Robotic Experimentation and Prototyping augmented by Maritime Unmanned Systems</i>
PI	Índice de Performance (<i>Performance Index</i>)
RI	Índice Randômico (<i>Random Index</i>)
SARP	Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SIGINT	Inteligência de Sinais (<i>Signal Intelligence</i>)

STO	Organização de Ciência e Tecnologia (<i>Science and Technology Organization</i>)
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Apresentação do Problema	13
1.2 Justificativa e Relevância	13
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Métodos de Análise Multicritério de Decisão	15
2.1.1 Método AHP	16
2.1.1.1 – Método de Consistência e Concordância	17
2.1.2– Método AHP-Gaussiano	18
2.1.3 – Método TOPSIS	20
2.2 Guerra Eletrônica e MAGE	22
3 METODOLOGIA	23
3.1 Classificação da Pesquisa	23
3.1.1 Classificação Quanto aos Fins	23
3.1.2 Classificação Quanto aos Meios	23
3.2 Limitações do Método	24
3.3 Universo e Amostragem	25
3.4 Coleta e Tratamento dos Dados	26
4 EXERCÍCIO REP(MUS) E AERONAVES OBSERVADAS	28
4.1 Exercício REP(Mus) 2021	28
4.2 Dados das ANT's Observadas no REP(Mus) 2021	29
5 EMPREGO DE ANT NA GUERRA ELETRÔNICA	32
5.1 Classificação de ANT	32
5.2 Papel das ANT's na Guerra Eletrônica	32
5.3. Estudo Comparativo das ANT na Guerra Eletrônica	33

6 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
6.1 Cálculo dos Métodos	34
6.1.1 Método AHP	34
6.1.1.1 Processamento das Avaliações	34
6.1.1.2 Processamento dos Dados	38
6.1.2 Método AHP-Gaussiano	40
6.1.2.1 Processamento dos Dados	40
6.1.3 Método TOPSIS	41
6.1.3.1 Processamento dos Dados	41
6.2 Comparação dos Resultados	42
6.2.1 Escolha da Melhor Alternativa	42
7 CONCLUSÃO	44
7.1 Sugestões para Futuros Trabalhos	45
REFERÊNCIAS	46
APÊNDICE A - CÁLCULOS DO MÉTODO AIJ	51

1 INTRODUÇÃO

A constante evolução tecnológica das Aeronaves Não Tripuladas (ANT) tem adquirido uma importância crescente nas operações militares, especialmente no âmbito da Guerra Eletrônica (Maymone, 2022). Nesse contexto, a Marinha do Brasil reconhece a relevância das ANT's como ferramentas estratégicas de apoio à Guerra Eletrônica e busca uma seleção metódica e eficaz dessas unidades (Costa et al, 2022). A seleção criteriosa das ANT's que melhor se adequam às demandas específicas dessa aplicação exige uma análise detalhada e fundamentada, abrangendo diversos critérios técnicos e operacionais.

1.1 Apresentação do Problema

Em um cenário onde a tecnologia desempenha um papel crucial nas operações militares, a decisão de escolher as ANT's mais adequadas para a Guerra Eletrônica emerge como um desafio de complexidade significativa (Araújo Costa et al, 2021). Essa seleção implica na avaliação minuciosa de um conjunto diversificado de critérios, que abrangem desde aspectos técnicos até capacidades operacionais, com o objetivo de otimizar o desempenho e a eficácia das operações navais.

1.2 Justificativa e Relevância

Dadas as complexidades inerentes à seleção de ANT's para a Guerra Eletrônica, fica evidente a necessidade de metodologias robustas capazes de facilitar e fundamentar o processo de tomada de decisão. A aplicação de métodos de Análise Multicritério de Decisão (AMD) surge como uma abordagem promissora para lidar com essa complexidade (Greco et al, 2016). A combinação de diferentes métodos de AMD pode oferecer uma visão holística e fundamentada na escolha das ANT's, permitindo que critérios técnicos e operacionais sejam considerados de forma equilibrada, ressalta-se que, embora alguns métodos de AMD possam ser usados de forma híbrida através da junção de dois métodos distintos, não foi encontrado na literatura o uso comum dos três métodos utilizados nesse trabalho em conjunto para obtenção de resultados através da comparação de seus resultados individualmente.

1.3 Objetivos

Este estudo é conduzido com o propósito de alcançar metas claras e específicas, que contribuirão para uma compreensão aprofundada da aplicação dos métodos de AMD na seleção

de ANTs para a Guerra Eletrônica. Esses objetivos são desdobrados em dois níveis: o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

O cerne deste estudo é desenvolver uma metodologia robusta utilizando tanto avaliações pessoais de especialistas quanto avaliações estatísticas de forma que auxilie o processo decisório da Marinha do Brasil, na busca de soluções ao problema militar real, representado pela seleção da melhor ANT a ser empregada em ações de Guerra Eletrônica. Para ilustrar essa aplicação combinada, os métodos considerados serão utilizados para classificar as ANTs apresentados durante o Exercício *Robotic Experimentation and Prototyping augmented by Maritime Unmanned Systems* (REP(Mus)) 2021, oferecendo uma avaliação detalhada de viabilidade e utilidade para as operações da Marinha do Brasil.

1.3.2 Objetivos Específicos

Este estudo concentra-se em três objetivos específicos para proporcionar uma visão aprofundada e embasada da seleção de ANTs para a Guerra Eletrônica:

Avaliar a aplicabilidade dos métodos combinados de AMD na seleção de ANTs, com o intuito de aprimorar o processo de escolha dessas tecnologias pela Marinha do Brasil. É relevante destacar que a aplicação desses métodos poderia considerar fatores logísticos e econômicos, no entanto, este estudo priorizou exclusivamente a avaliação do desempenho dessas aeronaves em operações de Guerra Eletrônica. A aplicação combinada desses métodos visa potencializar a abrangência e a eficácia da avaliação.

Em segundo lugar, almeja-se a integração coesa de diferentes métodos de AMD para a avaliação e classificação das ANTs selecionados. Através dessa integração, pretende-se oferecer uma perspectiva holística e sólida das alternativas disponíveis, permitindo que critérios técnicos e operacionais sejam considerados de forma equilibrada.

Por fim, este estudo se propõe a investigar a viabilidade da utilização das ANTs apresentados no Exercício REP(Mus) 2021 em operações de Guerra Eletrônica, classificando-as de acordo com sua capacidade. Tal investigação envolve uma análise criteriosa de suas características e desempenho específico para essa aplicação, contribuindo para um entendimento mais amplo do potencial desses veículos em um cenário naval tático.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A AMD é uma abordagem amplamente utilizada em situações complexas de tomada de decisão, que envolvem a avaliação de múltiplas alternativas em relação a diversos critérios (Greco et al, 2016). No contexto deste estudo, serão explorados três métodos distintos de AMD: o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o AHP-Gaussiano e o *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS). Cada um desses métodos oferece uma perspectiva única sobre como lidar com a complexidade das decisões.

A Seção 2.1 detalha esses métodos, começando com uma explanação sobre o AHP, um dos métodos mais estabelecidos na AMD. Em seguida, será abordado o AHP-Gaussiano, que se destaca por incorporar incerteza nas comparações pareadas dos critérios (Santos et al, 2021). Por fim, discutiremos o TOPSIS, que se concentra em classificar alternativas com base na proximidade a ideais positivos e negativos (Hwang; Yoon, 1981).

Além disso, a Seção 2.2 introduzirá conceitos essenciais relacionados à Guerra Eletrônica e, mais especificamente, às Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE). A compreensão desses métodos de AMD e do contexto da Guerra Eletrônica é fundamental para o presente estudo, pois eles serão aplicados na seleção de ANTs no contexto da Guerra Eletrônica, levando em consideração a complexidade e a incerteza inerentes a essa tarefa.

2.1 Métodos de AMD

A AMD é uma abordagem complexa para avaliar alternativas em relação a vários critérios. Um dos métodos mais conhecidos, é o AHP, que permite hierarquizar alternativas, atribuindo pesos relativos aos critérios (Saaty, 1990). Um dos problemas na avaliação de alternativas com múltiplos critérios é a incerteza presente nos julgamentos de um grupo de avaliadores, foi desenvolvido um método estatístico conhecido como método AHP-Gaussiano, que utiliza distribuições de probabilidade (Santos et al, 2021). Já o método TOPSIS é um método intuitivo de classificação de alternativas com base em critérios, comparando a distância para cada alternativa referente a um ideal positivo e a um ideal negativo (Hwang; Yoon, 1981). Comparar esses três métodos oferece uma análise mais abrangente, considerando incerteza e consistência dos julgamentos.

2.1.1 Método AHP

O AHP é uma abordagem de análise multicritério que hierarquiza e avalia alternativas com base em critérios ponderados (Saaty, 1990). Os pesos são obtidos por

comparações pareadas usando uma escala de 1 a 9. Esse método é amplamente utilizado em tomadas de decisão complexas, lidando com diversos critérios e incertezas (Santos et al, 2016).

O AHP tem sido aplicado em diferentes áreas, como seleção de equipamentos e locais de instalação. Exemplos incluem a seleção de um Navio de Guerra de médio porte para a Marinha do Brasil (Santos et al, 2016), na escolha de um Veículo Aéreo não tripulado para Defesa (Hamurcu; Eren, 2020), na definição de localidade para instalação industrial (Alves e Alves, 2015), na seleção de local para instalação de um aeroporto militar (Sennaroglu; Celebi, 2018) e no estudo sobre os riscos de deslizamento de terra no Japão (Yoshimatsu; Abe, 2006). Essas aplicações demonstram a eficácia do AHP em lidar com problemas complexos e incertos, permitindo que os decisores atribuam pesos coerentes e consistentes a cada critério.

O cálculo do AHP envolve a construção de matrizes de comparação pareada, normalização e cálculo de pesos. Inicialmente, é construída uma matriz de comparação pareada dos critérios (C) de tamanho ($n \times n$), em que cada elemento da matriz (C_{ij}) representa a importância relativa do critério i em relação ao critério j e n é o número de critérios usados. Os valores da escala de 1 a 9 são usados, indicando a igualdade (1) ou a diferença extrema (9) de importância entre os critérios, como indicado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Índices da Escala Fundamental de Saaty.

Intensidade	Definição	Explicação
1	Igual importância.	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre outra.	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial.	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada.	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta.	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2,4,6,8	Valores Intermediários.	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: (Oliveira; Belderrain, 2008)

Além da matriz (C), é construída a matriz de dados das alternativas (A), de tamanho ($m \times n$) em que cada elemento (A_{ij}) representa o valor da Alternativa i em relação ao critério j e m é a quantidade de alternativas.

As matrizes (C) e (A) são posteriormente normalizadas, ao se dividir cada elemento das matrizes pelo somatório dos elementos de cada coluna. Este processo é realizado para garantir que cada critério tenha um peso relativo proporcional à sua importância. O resultado

são as matrizes normalizadas de comparação pareada dos critérios e de dados das alternativas de modo que seus elementos são expressos, respectivamente, por

$$CN_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^n c_{ij}} \quad [1]$$

$$AN_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^m A_{ij}} . \quad [2]$$

A partir da matriz dos critérios normalizada (CN) é obtido o vetor de pesos dos critérios W com dimensão $(n \times 1)$, calculando-se a média das linhas da matriz normalizada de critérios. Cada elemento do vetor de pesos (W_i) representa o peso relativo do critério i , assim:

$$W_i = \frac{\sum CN_i}{n} . \quad [3]$$

Após a obtenção do vetor de pesos dos critérios, é realizada a avaliação das alternativas em relação aos critérios. Para isso, a matriz de dados das alternativas é multiplicada pelo vetor de pesos dos critérios. Portanto,

$$P^{AHP} = AN * W \quad [4]$$

em que $(*)$ representa a multiplicação matricial. Assim, P^{AHP} é um vetor $m \times 1$ e seu elemento P_i^{AHP} indica a pontuação final da i -ésima alternativa para o método AHP. A alternativa com a maior pontuação é considerada como sendo a melhor opção.

2.1.1.1 – Método de Consistência e Concordância

O método Análise de Inconsistência de Julgamento (AIJ), proposto por (Saaty, 2008), é uma abordagem utilizada para avaliar a coerência dos julgamentos em processos de tomada de decisão. Ele se baseia em dois principais cálculos: o índice randômico (RI) e o autovalor principal da matriz de comparação pareada dos critérios ($\lambda_{\max}$), que são empregados para determinar a consistência dos julgamentos.

O $\lambda_{\max}$ representa o autovalor principal da matriz de comparação pareada dos critérios. Esse valor é expresso por

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n (C_{ij} * W_j)}{W_i} \right)}{n} . \quad [5]$$

A seguir, usando o autovalor anterior e o número de critérios, calcula-se o índice de consistência expresso por

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} . \quad [6]$$

Outro valor importante é o índice randômico correspondente ao tamanho da matriz, denominado RI. A Figura 2.2 contém uma tabela com esses índices para diferentes tamanhos de matriz (Saaty, 1990).

Figura 2.2 - Índices Randômicos de Saaty.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,0	0,0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,48	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Amorim et al (2019)

Finalmente, a consistência dos julgamentos é verificada por meio da razão de consistência que é expressa por

$$CR = \frac{CI}{RI} . \quad [7]$$

Em geral, espera-se que a CR seja inferior a 10% para considerar os julgamentos como consistentes para o método AHP. Ao aplicar o método AIJ, é possível avaliar a coerência dos julgamentos dos especialistas, para posterior utilização dessas avaliações no método AHP, proporcionando resultados de qualidade e confiabilidade no processo de tomada de decisão.

2.1.2– Método AHP-Gaussiano

O método AHP-Gaussiano é uma abordagem que lida com a incerteza nos julgamentos dos decisores ao utilizar distribuições de probabilidade, empregando uma abordagem *Bayesian Network* para modelar essa incerteza nas comparações pareadas dos critérios (Santos et al., 2021). Sua aplicabilidade em problemas complexos foi amplamente

demonstrada em diversas áreas, como na seleção de aeronaves de grande porte para a Força Aérea Brasileira (Soares et al, 2021), avaliação de sensores para escadas rolantes (Pereira et al, 2023), classificação de saneantes hospitalares (Paula et al, 2022), seleção de atordoador pneumático (Vale et al, 2022) e análise de viabilidade térmica de painéis de Poliestireno Expandido (Apolinário et al, 2022).

No método AHP-Gaussiano, os cálculos iniciais seguem a mesma estrutura do método AHP na sua forma convencional, com a diferença quando da construção da matriz de comparação pareada das alternativas. Nessa etapa, uma função do tipo gaussiana é utilizada para modelar a incerteza. Essa função atribui um valor de probabilidade a cada elemento da matriz, com base nos parâmetros como a média (μ) e o desvio padrão (σ) (Santos et al, 2021).

Primeiramente, é construída a matriz de dados das alternativas (A), similar ao método AHP. Entretanto, este método não utiliza a matriz de comparação pareada dos critérios. Em seguida, é feita a normalização dessa matriz, dividindo cada elemento pelo somatório de sua coluna, conforme a Equação 1, obtendo a matriz AN.

Em seguida, são calculados a média aritmética (μ_j) para cada critério (coluna), somando os itens de cada coluna e dividindo pelo número de linhas da coluna

$$\mu_j = \frac{\sum_{i=1}^n AN_{ij}}{n} . \quad [8]$$

O desvio padrão amostral (σ_j) para cada critério é calculado da seguinte forma:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (AN_{ij} - \mu_j)^2}{(n-1)}} . \quad [9]$$

O fator Gaussiano é um vetor $n \times 1$ denominado G. Seus elementos são calculados dividindo o desvio padrão amostral pela média aritmética de cada critério. Portanto, tem-se

$$G_j = \frac{\sigma_j}{\mu_j} . \quad [10]$$

Após esses cálculos, o vetor G é normalizado, dividindo-se cada elemento do vetor pelo somatório dos seus elementos, ou seja

$$GN_j = \frac{G_j}{\sum G_j} \quad [11]$$

Finalmente, a pontuação de cada alternativa é obtida através da multiplicação matricial de AN por GN,, portanto

$$P^{AHP-G} = AN * GN . \quad [12]$$

em que o vetor P^{AHP-G} é a pontuação para a i-ésima alternativa usando o método AHP-Gaussiano.

2.1.3 – Método TOPSIS

O TOPSIS é um método de análise multicritério que classifica alternativas com base na distância em relação a um ideal positivo e um ideal negativo. Embora intuitivo e robusto em relação a diferentes dados e escalas de avaliação, não trata explicitamente a consistência dos julgamentos dos decisores (Hwang; Yoon, 1981). O TOPSIS tem sido amplamente utilizado na aviação militar para seleção de aeronaves de treinamento (Sánchez-Lozano et al, 2015) e aeronaves de carga (Göleç et al, 2016), assim como na seleção de armas (Dağdeviren et al, 2009) e bases navais para combate à pirataria e crimes relacionados (Suharyo et al, 2021). Apesar de sua versatilidade, é necessário considerar a consistência dos julgamentos por meio de análises adicionais ou combinação com outros métodos.

O passo a passo da execução do método TOPSIS envolve o seguinte procedimento (Hwang; Yoon, 1981). Similar aos métodos anteriores, esse método também utiliza a matriz A como base inicial para o cálculo. Entretanto, a normalização é feita de forma distinta. O valor original do elemento (A_{ij}) é dividido pela raiz quadrada da soma dos quadrados de todos os elementos da mesma coluna. Isso garante que todos os critérios tenham a mesma importância relativa na análise, portanto:

$$\overline{A}_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m A_{ij}^2}} \quad [13]$$

em que, $(\overline{A}_{ij})$ é o valor normalizado do elemento A_{ij} .

Em seguida, é atribuído um peso (W_j) para cada critério, de forma que a soma do vetor de pesos totalize 1, pode-se atribuir pesos iguais para cada critério dividindo 1 pelo número de critérios ou utilizando outro método de AMD para avaliar os critérios. Utiliza-se a

fórmula do cálculo da matriz ponderada (V_{ij}), em que o peso relativo do critério (W_j) é multiplicado pelo valor ($\overline{A_{ij}}$), ou seja,

$$V_{ij} = \overline{A_{ij}} \times W_j \quad [14]$$

isso permite uma consideração adequada da importância de cada critério na classificação final das alternativas:

Posteriormente, são calculados os valores ideais positivo (V^+) e negativo (V^-) para cada critério. O valor ideal positivo representa o máximo valor normalizado encontrado em cada critério, enquanto o valor ideal negativo representa o mínimo valor normalizado. Esses valores são determinados individualmente para cada critério, como representado por

$$V_j^+ = \max (V_{ij}) \quad [15]$$

$$V_j^- = \min (V_{ij}) \quad [16]$$

Após obter os valores ideais, são calculadas as distâncias (S_i) de cada alternativa em relação a esses ideais. Utilizando a fórmula da distância euclidiana as distâncias são calculadas como a raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças entre os valores normalizados da alternativa e os valores ideais correspondentes. Portanto,

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad [17]$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad [18]$$

essas distâncias refletem a proximidade ou distância de cada alternativa em relação aos valores ideais,

Por fim, as alternativas são classificadas com base no Índice de Performance (PI). Esse índice é calculado para cada alternativa, dividindo a distância em relação ao valor ideal negativo pela soma das distâncias em relação ao valor ideal positivo e ao valor ideal negativo, assim tem-se

$$PI_i = \frac{s_i^-}{s_i^+ + s_i^-} \quad [19]$$

quanto mais próximo de 1 for o índice de preferência, melhor é a classificação da alternativa.

2.2 Guerra Eletrônica e MAGE

A Guerra Eletrônica desempenha um papel essencial no contexto militar, abrangendo as técnicas de uso de todo o espectro eletromagnético, desde raios gama até ondas de rádio e passando pelas faixas de frequência visíveis. A Capacidade de Guerra Eletrônica (CGE) representa o conjunto de meios e recursos que permitem realizar ações eficazes de GE em apoio às operações militares (CGEM, 2016).

Dentro da CGE, encontramos as Medidas de Guerra Eletrônica (MGE), entre as quais estão as MAGE. As MAGE compreendem ações que visam à análise, reconhecimento imediato de ameaças e exploração de emissões eletromagnéticas. Essas ações incluem busca, interceptação, identificação e localização eletrônica de fontes de energia eletromagnética em um ambiente eletroeletrônico específico (CGEM, 2016).

As aeronaves são ativos cruciais nas operações de Guerra Eletrônica, devido à sua versatilidade em termos de alcance, altitude e velocidade. No entanto, as aeronaves tripuladas têm limitações, como vulnerabilidade ao fogo inimigo e tempo limitado de permanência na área de operações (Venancio; Feldens, 2007).

As ANTs surgem como uma alternativa promissora para superar essas limitações. Eles oferecem vantagens, como a capacidade de permanecer em operação contínua por longos períodos, realizando missões de inteligência, vigilância e reconhecimento (IVR) sem a necessidade de pousos para troca de tripulação. Além disso, as ANTs são eficazes em missões de MAGE, incluindo a identificação de emissores inimigos (Venancio; Feldens, 2007).

No que tange a Guerra Eletrônica, as ANT possuem diversas empregabilidades nas MGE, sejam elas em Medidas de Ataque Eletrônico, Medidas de Proteção Eletrônica e MAGE (Erdemli, 2009). Em relação às MAGE, que são as medidas foco do presente trabalho, as ANTs desempenham um papel vital na obtenção de informações sobre transmissões inimigas. Essas medidas são predominantemente passivas e buscam conhecer o espectro eletromagnético. Utilizando sensores eletrônicos e eletro-ópticos, as ANTs buscam, interceptam, localizam, monitoram e identificam fontes emissoras de sinais eletromagnéticos nas faixas do infravermelho ao ultravioleta, emitidos pelo inimigo, por exemplo. Esses dados são fundamentais para a produção de inteligência de sinais (SIGINT) (Venancio; Feldens, 2007).

3 METODOLOGIA

A seção de Metodologia aborda o delineamento adotado para a condução desta pesquisa, detalhando a classificação da pesquisa quanto aos fins e aos meios, as limitações do método, o universo e amostragem, bem como os procedimentos de coleta e tratamento dos dados.

3.1 Classificação da Pesquisa

A classificação da pesquisa é uma etapa fundamental para direcionar o processo de investigação e compreensão do problema em estudo. Neste trabalho, a pesquisa tem a finalidade de demonstrar a eficácia do emprego combinado de métodos diferentes de AMD na seleção de ANTs para a Guerra Eletrônica. Essa finalidade se enquadra tanto quanto aos fins quanto aos meios. Quanto aos fins, a pesquisa busca aprofundar a compreensão sobre a viabilidade das ANTs para essa aplicação específica na Marinha do Brasil. No que diz respeito aos meios, a pesquisa emprega uma abordagem mista, combinando elementos qualitativos e quantitativos para a análise.

Esta seção visa fornecer um entendimento claro da estrutura metodológica adotada, permitindo ao leitor situar-se no contexto do estudo e compreender como as diferentes abordagens foram integradas para alcançar os objetivos propostos.

3.1.2 Quanto aos fins

Quanto aos Fins, a pesquisa realizada neste trabalho tem como objetivo mostrar que o uso combinado de tipos diferentes de AMD é um método eficaz para a seleção de ANTs na Guerra Eletrônica. A aplicação desse método é exemplificada pela classificação das ANTs apresentados no Exercício REP(Mus) 2021. Esta pesquisa se enquadra como exploratória, buscando uma compreensão mais aprofundada da viabilidade das ANTs como suporte à Guerra Eletrônica na Marinha do Brasil.

3.1.3 Quanto aos meios

Quanto aos Meios, de acordo com a classificação proposta por (Creswell; Creswell, 2017), esta pesquisa pode ser caracterizada como qualitativa-quantitativa mista. Ela combina a abordagem de estudo de caso com a modelagem matemática (Bertrand; Fransoo, 2002). A escolha dessa abordagem mista permite uma análise mais completa e abrangente do problema,

aproveitando tanto elementos qualitativos quanto quantitativos para avaliar a viabilidade das ANTs na Guerra Eletrônica.

A abordagem qualitativa se manifesta na coleta de dados por meio de observações diretas realizadas por um observador da Marinha do Brasil durante o Exercício REP(Mus) 2021. Essa coleta proporcionou uma compreensão detalhada das operações das ANTs no contexto da Guerra Eletrônica, capturando nuances e contextos que contribuem para uma avaliação mais completa da viabilidade.

Por outro lado, a abordagem quantitativa é evidenciada na modelagem matemática aplicada à análise das ANTs. Essa etapa envolveu a mensuração objetiva de critérios, atribuição de pesos e pontuações para as alternativas, e a aplicação de três métodos de AMD. Esses métodos, nomeadamente o AHP convencional, AHP-Gaussiano e TOPSIS, aplicam princípios matemáticos e estatísticos para avaliar e classificar as alternativas de ANTs.

A combinação dessas abordagens permitiu uma análise holística e abrangente da viabilidade das ANTs para a Guerra Eletrônica, explorando tanto as nuances operacionais quanto os aspectos objetivos de desempenho. Dessa forma, a pesquisa aproveita a sinergia entre os métodos qualitativos e quantitativos para oferecer uma visão ampla e informada sobre a aplicação das ANTs na Marinha do Brasil.

A escolha dessa abordagem mista não apenas enriquece a compreensão do problema, mas também reforça a validade dos resultados, uma vez que múltiplas perspectivas e metodologias são consideradas na análise. A pesquisa se beneficia da complementaridade entre essas abordagens para oferecer uma avaliação mais robusta e informada da viabilidade das ANTs para a Guerra Eletrônica.

3.2 Limitações do Método

Ao conduzir uma pesquisa, é essencial reconhecer e abordar as limitações inerentes ao método adotado. Neste contexto, esta pesquisa não está isenta de limitações que podem impactar a interpretação e generalização dos resultados obtidos.

Uma primeira limitação reside na complexidade intrínseca dos critérios de avaliação considerados para a seleção das ANTs. Embora tenham sido criteriosamente definidos, os critérios ainda podem não contemplar todas as nuances do cenário de Guerra Eletrônica naval, o que poderia influenciar os resultados.

Outra limitação é a dependência das informações disponíveis sobre as ANTs e suas características técnicas e operacionais. A qualidade e abrangência dessas informações podem

variar, introduzindo um potencial viés na análise. Os dados de identificação das aeronaves foram omitidos do trabalho a fim de evitar problemas políticos com os fabricantes em virtude da pesquisa favorecer uma das ANT. Isso foi acordado com os fabricantes devido ao fato de os dados fornecidos serem unicamente para uso acadêmico.

Além disso, a escolha dos métodos específicos de Análise Multicritério de Decisão (AMD) pode introduzir suas próprias limitações. Embora os métodos tenham sido selecionados com base em suas propriedades e capacidades, cada método tem suas premissas e pressupostos subjacentes que podem impactar os resultados.

Por fim, a amostragem dos especialistas participantes pode apresentar limitações em termos de representatividade. Embora todos sejam Oficiais Superiores ou Intermediários da Marinha do Brasil, outras perspectivas poderiam enriquecer ainda mais a análise. Os nomes dos especialistas foram omitidos a pedido dos Oficiais entrevistados, devido ao fato de suas respostas representarem suas opiniões baseadas em suas experiências profissionais e acadêmicas e não a opinião formal das Organizações Militares a que representam.

Essas limitações não invalidam os resultados obtidos, mas ressaltam a importância de interpretar os resultados dentro do contexto dessas restrições. Ao reconhecer e abordar essas limitações, a pesquisa se fortalece ao fornecer uma avaliação mais precisa e realista da aplicabilidade dos métodos de AMD na seleção de ANTs para Guerra Eletrônica.

3.3 Universo e Amostragem

A definição precisa do universo de pesquisa e a seleção adequada da amostra são cruciais para garantir a representatividade e a aplicabilidade dos resultados, especialmente em um estudo que visa explorar a aplicação conjunta de diferentes métodos de AMD.

Neste estudo, o universo de pesquisa engloba as ANTs que foram selecionados inicialmente para avaliação durante o Exercício REP(Mus) 2021, com foco em potencial aplicação na Guerra Eletrônica na Marinha do Brasil. Inicialmente, seis ANTs foram escolhidas para o estudo. No entanto, as informações necessárias para a avaliação de duas ANTs não foram obtidas devido à falta de resposta dos fabricantes. Assim, as alternativas de ANT utilizadas no estudo foram somente as com informações disponibilizadas pelos fabricantes que responderam ao contato.

A amostragem foi estrategicamente realizada, considerando os especialistas da Marinha do Brasil que possuem conhecimento aprofundado em operações navais e Guerra Eletrônica. Eles foram selecionados intencionalmente, garantindo a relevância e a expertise

necessárias para a avaliação das alternativas de ANTs. Essa amostra de especialistas é crucial para a aplicação e análise dos diferentes métodos de AMD combinados, uma vez que suas opiniões embasam os julgamentos subjacentes.

No que se refere à seleção das alternativas de ANTs, os critérios foram definidos com base nas características técnicas e operacionais dos veículos, visando capturar a diversidade de opções disponíveis. Isso contribui para que a amostra de alternativas represente adequadamente o espectro de possibilidades relevantes para a escolha da Marinha do Brasil.

A definição clara do universo e a seleção criteriosa da amostra são fundamentais para a aplicação dos diferentes métodos de AMD combinados e para a obtenção de resultados sólidos e confiáveis. A estratégia de universo e amostragem visa garantir que as conclusões deste estudo sejam aplicáveis ao contexto específico da seleção de ANTs na Guerra Eletrônica, permitindo assim que as recomendações embasem decisões eficazes e informadas.

3.4 Coleta e Tratamento de Dados

A etapa de coleta e tratamento de dados desempenha um papel fundamental na condução de uma pesquisa que busca avaliar a viabilidade das ANTs como suporte à Guerra Eletrônica na Marinha do Brasil, por meio da aplicação combinada de diferentes métodos de AMD.

Os dados coletados foram submetidos a um processo de tratamento rigoroso, visando garantir a integridade e a consistência das informações. Foram realizadas análises de consistência, identificação de possíveis discrepâncias e validação cruzada das informações fornecidas pelos fabricantes. Essa etapa é crucial para assegurar que os dados utilizados nos métodos de AMD reflitam com precisão as características das ANTs avaliadas.

No contexto da metodologia aplicada, os dados foram utilizados na atribuição de pesos e pontuações aos critérios de avaliação, conforme definido na estruturação do processo de decisão. A aplicação dos métodos de AMD, incluindo o AHP convencional, AHP-Gaussiano e TOPSIS, requer um tratamento consistente e padronizado dos dados, de modo a garantir resultados comparáveis e robustos.

O rigor na coleta e tratamento de dados é fundamental para a confiabilidade e validade dos resultados alcançados. A aplicação combinada de diferentes métodos de AMD depende diretamente da qualidade das informações utilizadas para avaliar as alternativas de ANTs. Portanto, o processo de coleta e tratamento de dados adotado neste estudo assegura que

as conclusões obtidas sejam sólidas, embasadas em informações precisas e aplicáveis ao contexto da seleção de ANTs para Guerra Eletrônica na Marinha do Brasil.

4 EXERCÍCIO REP(MUS) E AERONAVES OBSERVADAS

O Exercício REP(Mus), é uma iniciativa de experimentação voltada para Sistemas Marítimos Não Tripulados (Marinha..., 2021). Essa colaboração internacional desempenha um papel fundamental no desenvolvimento e aprimoramento dessas tecnologias.

Nesta seção, aprofundar-se-á a compreensão sobre o exercício REP(Mus) 2021 e seu contexto internacional. Em seguida, serão examinadas as ANTs observadas durante o exercício, fornecendo informações cruciais sobre suas características e desempenho, que são fundamentais para o escopo deste estudo centrado na seleção criteriosa de ANT para operações de Guerra Eletrônica.

4.1 Exercício REP(Mus) 2021

O REP(Mus) 2021 é um evento que tem suas raízes no ano de 2010, quando foi estabelecido um protocolo de cooperação entre a Marinha Portuguesa e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Desde então, este exercício tem crescido de forma consistente, despertando o interesse de várias entidades nacionais e internacionais. A edição de 2021 foi coorganizada por uma coalizão de organizações notáveis, incluindo a Marinha Portuguesa, a Faculdade de Engenharia da FEUP, o Centro da Organização de Ciência e Tecnologia da Organização do Tratado do Atlântico Norte (NATO / OTAN) para a Investigação e Experimentação Marítima (NATO STO CMRE) e a *NATO Maritime Unmanned Systems Initiative* (NATO MUSI).

O REP(Mus) representa um marco significativo na promoção da colaboração internacional, reunindo mais de 40 entidades, entre as quais se destacam 17 Marinhas, incluindo as dos EUA e do Reino Unido, 15 Entidades de Investigação & Desenvolvimento, 1 Universidade e 8 organismos da OTAN. Além disso, a presença da Marinha do Brasil como observadora neste exercício abre perspectivas para a participação de diversas entidades nacionais, como o Exército Brasileiro, a Força Aérea Brasileira, empresas e universidades em edições futuras do REP(Mus) (Marinha..., 2021).

A importância desse exercício vai além do cenário nacional, uma vez que seu foco principal reside na pesquisa e experimentação de sistemas autônomos marítimos. O REP(Mus) desempenha um papel fundamental na evolução dessas tecnologias, promovendo a colaboração multinacional, a inovação e a interoperabilidade entre sistemas, elementos essenciais para o aprimoramento das capacidades navais. Por meio desse exercício, nações aliadas compartilham recursos, conhecimento e engenhosidade para criar sistemas marítimos não tripulados mais

flexíveis, versáteis e capazes, que podem trabalhar em conjunto com ativos tripulados, tornando as frotas navais mais adaptáveis e eficazes (Maritime..., 2022).

A seguir, será abordado em detalhes as ANTs observadas durante o REP(Mus) 2021, fornecendo informações essenciais sobre suas características e desempenho. Esses dados são fundamentais para o escopo deste estudo, que se concentra na seleção criteriosa de ANT para operações de Guerra Eletrônica.

4.2 Dados das ANTs Observadas no REP(Mus) 2021

Nesta seção, serão apresentados os critérios de seleção e a metodologia usada para obter os dados das ANT que participaram do exercício REP(Mus) 2021. Para avaliar e comparar as capacidades das ANTs no contexto das operações de Guerra Eletrônica, foram definidos onze critérios essenciais. Cada um desses critérios descreve uma característica crucial que impacta o desempenho das ANTs em cenários de Guerra Eletrônica. Esses critérios foram cuidadosamente selecionados para compreender as capacidades dessas aeronaves em operações que envolvem a detecção e identificação visual de emissores de sinais eletromagnéticos, empregando-se sensores eletro-ópticos e infravermelhos de alta resolução disponibilizados nas configurações dessas ANTs.

Os critérios são os seguintes: Alcance máximo (km), Autonomia (Horas), Teto máximo (Pés), Velocidade máxima (Nós), Carga útil (kg), Possui Radar (Sim ou Não), Resolução do sensor Eletro-Óptico (MP), Alcance do sensor Eletro-Óptico (km), Resolução do sensor infravermelho (MP), Alcance do sensor infravermelho (km) e Possui sensor AIS (Sim ou Não).

Esses critérios foram elencados na Tabela 1 para facilitar a identificação e referência posterior.

Tabela 1– Critérios Selecionados.

CRITÉRIO	DEFINIÇÃO
C1	Alcance máximo (km): Distância máxima que o VANT pode percorrer em uma única missão.
C2	Autonomia (horas): Tempo máximo que o VANT pode permanecer em voo sem precisar de reabastecimento.
C3	Teto máximo (pés): Altitude máxima que o VANT pode alcançar durante suas operações.

C4	Velocidade máxima (nós): Velocidade máxima que o VANT pode atingir em voo.
C5	Carga útil (kg): Peso máximo de equipamentos e dispositivos que o VANT pode transportar.
C6	Possui Radar (sim ou não): Indica se o VANT possui um sistema de radar embarcado.
C7	Resolução do sensor Eletro óptico (MP): Capacidade de capturar imagens com alta definição.
C8	Alcance do sensor Eletro óptico (km): Distância máxima em que o sensor eletro óptico pode identificar objetos.
C9	Resolução do sensor infravermelho (MP): Capacidade de capturar imagens térmicas com alta definição.
C10	Alcance do sensor infravermelho (km): Distância máxima em que o sensor infravermelho pode identificar objetos.
C11	Possui sensor AIS (sim ou não): Indica se o VANT possui um sistema de identificação automática de embarcações.

Fonte: Autor (2023)

Com base nesses critérios, procedeu-se à coleta de dados das ANT que participaram do exercício REP(Mus) 2021. O observador da Marinha do Brasil obteve esses dados através das apresentações dos fornecedores participantes e de folhetos, e alguns dados foram complementados e obtidos através de contato telefônico para a conclusão do estudo. Conforme mencionado na seção 3 deste trabalho, foram selecionadas seis ANT para o estudo, mas apenas os fornecedores de quatro delas responderam à solicitação de dados adicionais.

Os dados obtidos foram organizados na Tabela 2, que apresenta as informações detalhadas de cada uma das ANT observadas no exercício. Quando uma aeronave não possuía um determinado equipamento, foi atribuído o valor zero no critério correspondente.

Tabela 2 – Dados obtidos das ANT do Exercício REP(Mus) 2021.

Critérios / Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	33,33	11,5	10500	45	4	0	13	23	0	0	0
A2	60	6,5	1000	76	2,36	1	15	27	0,33	25	0
A3	100	16	10000	75	4	0	15	30	0,31	25	1

A4	1056	12	13000	95	50	1	20	40	0,35	30	1
-----------	------	----	-------	----	----	---	----	----	------	----	---

Fonte: Autor (2023)

A análise detalhada desses dados será fundamental para a seleção das aeronaves mais adequadas às operações de Guerra Eletrônica em cenários específicos, um aspecto que será discutido na próxima seção deste trabalho.

5 EMPREGO DE ANT NA GUERRA ELETRÔNICA

A Guerra Eletrônica é uma área crítica das operações militares que envolve a gestão do espectro eletromagnético para obter uma vantagem tática (Costa et al, 2022). Nesse contexto, as ANTs emergem como ativos cruciais para coletar informações estratégicas e apoiar operações de Guerra Eletrônica (Venancio e Feldens, 2007). Esta seção se concentra na aplicação de ANT no cenário da Guerra Eletrônica naval, com ênfase nas aeronaves observadas no exercício REP(Mus) 2021.

5.1 Classificação de ANTs

Uma classificação padronizada de ANT, como proposta pela OTAN e mencionada por (Soares, 2023), é essencial para compreender as capacidades e aplicações dessas aeronaves. A categorização com base no peso máximo de decolagem, que varia de micro (menor que 2kg) a grande/tático (Maior que 600kg), desempenha um papel importante na seleção da ANT apropriada para uma determinada missão de Guerra Eletrônica.

As aeronaves presentes no presente estudo estão alocadas entre as categorias mini e médio porte, variando o seu peso máximo de decolagem de 4 a 180kg. Essa alocação torna-se essencial, tendo em vista que, para a atividade proposta, as aeronaves devem ser capazes de serem lançadas e recolhidas por plataformas navais.

5.2 Papel das ANTs na Guerra Eletrônica

O estudo apresentado por (Lima; Lucchini, 2018) destaca a aplicação prática das lições aprendidas com o emprego de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) em operações de MAGE. Embora focado em operações de Garantia da Lei e da Ordem, o estudo destaca a necessidade de adaptar as capacidades das aeronaves às necessidades específicas das operações de Guerra Eletrônica, reforçando a importância de conduzir testes de campo para avaliar o desempenho e a viabilidade de empregar essas plataformas em cenários de Guerra Eletrônica.

As ANT representam uma extensão valiosa das capacidades de coleta de informações em operações de Guerra Eletrônica (Erdemli, 2009). No entanto, por mais que realizados diversos contatos junto aos fabricantes das ANT estudadas, não foram obtidas informações que permitissem conhecer as configurações e acessórios que conferissem às aeronaves utilizadas no exercício REP(Mus) 2021 a capacidade de Guerra Eletrônica, especificamente nas atividades de reconhecimento eletrônico (RETRON), empregando-se

equipamentos de MAGE. Dado esse motivo, o trabalho em lide visa analisar os dados de desempenho tático dos equipamentos, obtidos de fontes abertas, de forma a verificar as capacidades de detecção desses em relação a outras plataformas, como navios e aeronaves tripuladas, no que tange a identificação visual de emissores de sinais eletromagnéticos. A aplicação de sensores eletro-ópticos e infravermelhos de alta resolução permite que essas aeronaves realizem a identificação precisa dos emissores, o que é vital para a compreensão do ambiente eletromagnético. Essa abordagem também reduz a exposição direta das tripulações humanas a possíveis ameaças, aumentando a segurança operacional.

5.3. Estudo Comparativo das ANT na Guerra Eletrônica

É crucial realizar um estudo comparativo abrangente das ANT para determinar qual aeronave é a mais adequada para atender aos requisitos específicos das operações de Guerra Eletrônica (Araújo Costa et al, 2021). Isso envolve a avaliação de diversas capacidades individuais das aeronaves, incluindo autonomia, carga útil, qualidade dos sensores, entre outros.

Ao aplicar a AMD a esses critérios, é possível determinar com maior precisão qual ANT é a mais adequada para uma operação de Guerra Eletrônica específica. Isso garante uma seleção criteriosa da aeronave mais eficiente e adaptável, otimizando o uso de recursos disponíveis e, ao mesmo tempo, garantindo a eficácia e segurança das missões de Guerra Eletrônica. Portanto, a AMD desempenha um papel central no processo de seleção de ANT, garantindo que a decisão seja sólida e bem fundamentada.

6 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados individuais dos três métodos de AMD foram comparados para determinar o melhor VANT para a Guerra Eletrônica dentre os avaliados. Essa abordagem possibilitará uma avaliação consolidada que subsidiará de forma concreta a escolha final.

6.1 Cálculo dos Métodos

Cada método foi calculado individualmente para que, posteriormente, seus resultados fossem comparados.

6.1.1 Método AHP

Conforme explicado anteriormente na Seção 2.1.1, o Método AHP consiste na avaliação dos critérios baseada nas opiniões de especialistas. Para a avaliação dos dados coletados, as opiniões dos critérios foram obtidas de seis especialistas, considerando critérios como a patente (mínimo Oficial Intermediário), a formação acadêmica (mínimo Mestrado), a vinculação a Organizações Militares Técnicas da Marinha do Brasil e a experiência técnica ou operacional na área de Guerra Eletrônica.

6.1.1.1 Processamento das Avaliações

Primeiramente, calculou-se a Razão de Consistência (CR) individual para cada avaliação através do método de Análise de Inconsistência de Julgamentos (AIJ), como descrito por (Saaty, 2008). Conforme descrito na seção 2.1.1.1, para uma CR ser dita consistente o seu valor deve ser inferior a 10%. Com base nas CR individuais, as avaliações foram ponderadas para estabelecer pesos. Avaliações com CR inferior a 10% receberam peso 3, aquelas com CR entre 10% e 15% receberam peso 2 e as com CR acima de 15% receberam peso 1. Essa abordagem enfatiza as avaliações mais consistentes, visando alcançar uma avaliação final mais coerente.

A Figura 6.1 apresenta a matriz de comparação pareada (C) feita pelo Especialista 3, seguindo a Escala Fundamental de Saaty (Saaty, 1990), em que o Especialista preenche cada célula C_{ij} de acordo com a importância do critério i em relação ao critério j . Note que para esse especialista o critério 2 tem 5 vezes mais importância que o critério 1. Consequentemente, o critério 1 tem importância de $1/5$ do critério 2.

Figura 6.1 - Avaliação dos Critérios pelo Especialista 3.

Especialista 3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1	5	4	7	3	1/3	1/3	1	1	1	7
C2	1/5	1	2	2	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	7
C3	1/4	1/2	1	3	5	1/3	1/5	1/3	1	1	7
C4	1/7	1/2	1/3	1	1/3	1/7	1/2	1/2	1/3	1/3	2
C5	1/3	1/2	1/5	3	1	1/5	1/2	1/2	1/2	1/2	2
C6	3	2	3	7	5	1	1	2	2	1	7
C7	3	2	5	2	2	1	1	1/2	1	1	3
C8	1	2	3	2	2	1/2	2	1	1	1	6
C9	1	2	1	3	2	1/2	1	1	1	1	7
C10	1	2	1	3	2	1	1	1	1	1	7
C11	1/7	1/7	1/7	1/2	1/2	1/7	1/3	1/6	1/7	1/7	1

Fonte: Autor (2023)

A matriz de comparação pareada (C) dos critérios foi normalizada dividindo-se cada elemento pelo somatório dos elementos de sua coluna, como demonstrado na Seção 2.1.1.1 deste trabalho. A Figura 6.2 ilustra a matriz normalizada (CN).

Figura 6.2 - Matriz normalizada dos critérios.

Especialista 3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,0903	0,2834	0,1935	0,2090	0,1208	0,0590	0,0398	0,1176	0,1055	0,1180	0,1250
C2	0,0181	0,0567	0,0967	0,0597	0,0805	0,0885	0,0598	0,0588	0,0528	0,0590	0,1250
C3	0,0226	0,0283	0,0484	0,0896	0,2013	0,0590	0,0239	0,0392	0,1055	0,1180	0,1250
C4	0,0129	0,0283	0,0161	0,0299	0,0134	0,0253	0,0598	0,0588	0,0352	0,0393	0,0357
C5	0,0301	0,0283	0,0097	0,0896	0,0403	0,0354	0,0598	0,0588	0,0528	0,0590	0,0357
C6	0,2710	0,1134	0,1451	0,2090	0,2013	0,1769	0,1195	0,2353	0,2111	0,1180	0,1250
C7	0,2710	0,1134	0,2418	0,0597	0,0805	0,1769	0,1195	0,0588	0,1055	0,1180	0,0536
C8	0,0903	0,1134	0,1451	0,0597	0,0805	0,0885	0,2390	0,1176	0,1055	0,1180	0,1071
C9	0,0903	0,1134	0,0484	0,0896	0,0805	0,0885	0,1195	0,1176	0,1055	0,1180	0,1250
C10	0,0903	0,1134	0,0484	0,0896	0,0805	0,1769	0,1195	0,1176	0,1055	0,1180	0,1250
C11	0,0129	0,0081	0,0069	0,0149	0,0201	0,0253	0,0398	0,0196	0,0151	0,0169	0,0179

Fonte: Autor (2023)

Em seguida, realizou-se o somatório dos elementos de cada linha da matriz normalizada e dividiu-se esse somatório pelo número de critérios, obtendo as prioridades, isto é, os pesos relativos de cada critério (W_i). A Figura 6.3 mostra que cada critério possui um peso relativo (W_i) de acordo com o somatório de seus critérios ($\sum CN_i$).

Figura 6.3 - Somatório de linhas da matriz normalizada e pesos relativos de cada critério.

Especialista 3	Somatório	Pesos Relativos
C1	1,4619	0,1329
C2	0,7555	0,0687
C3	0,8608	0,0783
C4	0,3547	0,0322
C5	0,4994	0,0454
C6	1,9255	0,1750
C7	1,3988	0,1272
C8	1,2648	0,1150
C9	1,0963	0,0997
C10	1,1847	0,1077
C11	0,1975	0,0180

Fonte: Autor (2023)

Posteriormente, separou-se o cálculo de $\lambda_{\max}$ expresso pela Equação 5 em algumas etapas. Primeiro, multiplicou-se cada elemento da matriz de comparação pareada dos critérios (C) da Figura 6.1 pelo peso relativo de seu respectivo critério (W_i), gerando a matriz ponderada de critérios, como mostrado na Figura 6.4.

Figura 6.4 - Matriz Ponderada de Critérios.

Especialista 3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,1329	0,3434	0,3130	0,2257	0,1362	0,0583	0,0424	0,1150	0,0997	0,1077	0,1257
C2	0,0266	0,0687	0,1565	0,0645	0,0908	0,0875	0,0636	0,0575	0,0498	0,0539	0,1257
C3	0,0332	0,0343	0,0783	0,0967	0,2270	0,0583	0,0254	0,0383	0,0997	0,1077	0,1257
C4	0,0190	0,0343	0,0261	0,0322	0,0151	0,0250	0,0636	0,0575	0,0332	0,0359	0,0359
C5	0,0443	0,0343	0,0157	0,0967	0,0454	0,0350	0,0636	0,0575	0,0498	0,0539	0,0359
C6	0,3987	0,1374	0,2348	0,2257	0,2270	0,1750	0,1272	0,2300	0,1993	0,1077	0,1257
C7	0,3987	0,1374	0,3913	0,0645	0,0908	0,1750	0,1272	0,0575	0,0997	0,1077	0,0539
C8	0,1329	0,1374	0,2348	0,0645	0,0908	0,0875	0,2543	0,1150	0,0997	0,1077	0,1077
C9	0,1329	0,1374	0,0783	0,0967	0,0908	0,0875	0,1272	0,1150	0,0997	0,1077	0,1257
C10	0,1329	0,1374	0,0783	0,0967	0,0908	0,1750	0,1272	0,1150	0,0997	0,1077	0,1257
C11	0,0190	0,0098	0,0112	0,0161	0,0227	0,0250	0,0424	0,0192	0,0142	0,0154	0,0180

Fonte: Autor (2023)

Os elementos de cada linha foram somados, resultando em um vetor com a soma ponderada de cada critério. Essa soma ponderada de cada critério foi dividida pelo peso relativo de cada critério. A Figura 6.5 exibe o vetor soma ponderada, os pesos de cada critério e o resultado da divisão entre os dois valores para cada critério. Assim, somando os termos da coluna A/B tem-se o numerador da Equação 5.

Figura 6.5 - Divisão da Soma Ponderada pelas Prioridades de cada critério.

Especialista 3	Soma Ponderada (A)	Peso Relativo (B)	A/B
C1	1,7000	0,1329	12,7914
C2	0,8450	0,0687	12,3031
C3	0,9247	0,0783	11,8168
C4	0,3779	0,0322	11,7190
C5	0,5321	0,0454	11,7208
C6	2,1884	0,1750	12,5018
C7	1,7036	0,1272	13,3967
C8	1,4322	0,1150	12,4559
C9	1,1988	0,0997	12,0283
C10	1,2863	0,1077	11,9428
C11	0,2129	0,0180	11,8608

Fonte: Autor (2023)

Em seguida, calculou-se a média aritmética dos valores obtidos na etapa anterior, chamada $\lambda_{\max}$ utilizada para calcular o Índice de Consistência (CI) conforme apresentado na seção 2.1.1.1. Para o Especialista 3, o valor de $\lambda_{\max}$ foi de 12,2307. Esse valor de $\lambda_{\max}$ foi inserido na Equação 6 para obter o valor de CI. Como previamente explicado na seção 2, o

valor de n para essa equação é igual ao número de critérios, ou seja, 11. Portanto, usando a Equação 6 tem-se

$$CI = \frac{(12,2307-11)}{(11-1)} \quad [20]$$

O cálculo resultou em um CI de 0,1231. Esse CI foi dividido pelo Índice Randômico (IR), obtido através da Figura 2.1, resultando na Razão de Consistência (CR). Como indicado na Figura 2.1, o IR para n igual a 11 é 1,51. Ao inserir esses valores na Equação 7, obteve-se um CR de 0,0815 ou 8,15%. Dessa forma, a avaliação feita pelo Especialista 3 foi ponderada com Peso 3 para o cálculo da avaliação final.

Na Tabela 3, encontram-se os valores de CR obtidos por cada Especialista e os pesos atribuídos a cada um. As avaliações de cada Especialista e os detalhes sobre os cálculos de CR para cada um dos seis especialistas podem ser encontrados no Apêndice A deste trabalho.

Tabela 3 – Peso das avaliações para cada Especialista.

Especialista	CR	Peso
Especialista 1	73,53%	1
Especialista 2	66,34%	1
Especialista 3	8,15%	3
Especialista 4	4,54%	3
Especialista 5	11,44%	2
Especialista 6	8,11%	3

Fonte: Autor (2023)

Para aplicar o Método AHP de maneira unificada, foi necessário consolidar as avaliações dos seis especialistas de forma coerente. Seguindo a sugestão de (Costa et al., 2008), a Média Geométrica foi escolhida como método de agregação devido à sua eficácia para o problema em questão.

Com base nos pesos listados na Tabela 3, as avaliações dos seis especialistas foram consolidadas em uma única avaliação. Cada célula da avaliação final corresponde à média geométrica ponderada das respectivas células nas tabelas das avaliações dos Especialistas. Um exemplo de cálculo para a célula a_{21} da matriz de avaliações consolidadas é expresso por

$$a_{21} = \sqrt[13]{1^1 + (1/8)^1 + (1/5)^3 + (1/6)^3 + (1/3)^2 + 5^3} \quad [21]$$

O resultado desse cálculo é 0,4759 para a célula a_{21} . Na Figura 6.6, encontra-se a matriz com as avaliações consolidadas dos seis especialistas, que será usada no cálculo do método AHP. Os detalhes dos cálculos dos valores dessa matriz estão disponíveis no Apêndice A deste trabalho.

Figura 6.6 - Avaliação Consolidada dos critérios par a par.

Avaliação Consolidada	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1	2,1011	2,5286	2,5619	2,1269	0,6339	1,2160	1,3570	1,3223	1,3895	2,2546
C2	0,4759	1	1,7356	1,7226	1,3294	0,7413	0,8522	0,9490	0,8286	0,8286	1,0876
C3	0,3955	0,5762	1	2,0887	1,1311	0,2833	0,5567	0,7562	1,2810	1,0141	1,5668
C4	0,3903	0,5805	0,4788	1	0,6301	0,4253	0,5328	0,5611	0,4852	0,4980	0,6876
C5	0,4702	0,7522	0,8841	1,5870	1	0,4501	0,7328	0,7203	0,8872	0,6796	1,3634
C6	1,5776	1,3490	3,5294	2,3515	2,2218	1	1,8576	2,0512	2,1798	1,8220	3,8260
C7	0,8224	1,1735	1,7962	1,8768	1,3646	0,5383	1	1,1720	1,4966	1,2639	2,8019
C8	0,7369	1,0537	1,3223	1,7821	1,3882	0,4875	0,8532	1	1,0141	1,3591	3,2880
C9	0,7562	1,2068	0,7807	2,0609	1,1272	0,4588	0,6682	0,9861	1	1,3591	2,1085
C10	0,7197	1,2068	0,9861	2,0082	1,4715	0,5488	0,7912	0,7358	0,7358	1	3,3325
C11	0,4435	0,9195	0,6382	1,4543	0,7335	0,2614	0,3569	0,3041	0,4743	0,3001	1

Fonte: Autor (2023)

Executando os passos descritos anteriormente para obter a Razão de Consistência das avaliações consolidadas, obteve-se o valor de 1,73%. Esse valor é considerado satisfatório, de acordo com (Saaty, 2008), que indica que a RC deve ser inferior a 10%. Isso indica um alto grau de consistência nas avaliações consolidadas, reforçando a confiabilidade dos resultados obtidos por meio do método AIJ.

6.1.1.2 Processamento dos Dados

Para processar os dados coletados e executar o método AHP, utilizou-se a planilha pré-desenvolvida por (Baldini et al., 2021) no *software* Microsoft Excel. Essa planilha permite a inserção dos dados das ANT's e das avaliações, fornecendo uma avaliação hierárquica para cada um deles após o cálculo. A Figura 6.7 ilustra os dados inseridos no *software* para a execução do método. Note que foram inseridas as matrizes A, dada na Tabela 2, e C, dada na Figura 6.6.

Figura 6.7 - Dados Inseridos na Planilha para o método AHP.

AHP - GAUSSIANO

Número de Alternativas

4

Número de Critérios

11

Limpar Tudo

GERAR BASE

AHP-Gaussiano

PROCESSAR

AHP-Gaussiano

GERAR BASE

AHP-Gaussiano + AHP

PROCESSAR

AHP-Gaussiano + AHP

Tipo	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	33,33	11,5	10500	45	4	0	13	23	0	0	0
A2	60	6,5	1000	76	2,36	1	15	27	0,33	25	0
A3	100	16	10000	75	4	0	15	30	0,31	25	1
A4	1056	12	13000	95	50	1	20	40	0,35	30	1

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1	2,1011	2,5286	2,5619	2,1269	0,6339	1,2160	1,3570	1,3223	1,3895	2,2546
C2	0,4759	1	1,7356	1,7226	1,3294	0,7413	0,8522	0,9490	0,8286	0,8286	1,0876
C3	0,3955	0,5762	1	2,0887	1,1311	0,2833	0,5567	0,7562	1,2810	1,0141	1,5668
C4	0,3903	0,5805	0,4788	1	0,6300	0,4300	0,5300	0,5600	0,4900	0,5000	0,6900
C5	0,4702	0,7522	0,8841	1,5873	1	0,4501	0,7328	0,7203	0,8872	0,6796	1,3634
C6	1,5776	1,3490	3,5294	2,3256	2,2218	1	1,8576	2,0512	2,1798	1,8220	3,8260
C7	0,8224	1,1735	1,7962	1,8868	1,3646	0,5383	1	1,1720	1,4966	1,2639	2,8019
C8	0,7369	1,0537	1,3223	1,7857	1,3882	0,4875	0,8532	1	1,0141	1,3591	3,2880
C9	0,7562	1,2068	0,7807	2,0408	1,1272	0,4588	0,6682	0,9861	1	1,3591	2,1085
C10	0,7197	1,2068	0,9861	2,0000	1,4715	0,5488	0,7912	0,7358	0,7358	1	3,3325
C11	0,4435	0,9195	0,6382	1,4493	0,7335	0,2614	0,3569	0,3041	0,4743	0,3001	1

Fonte: Baldini et al (2021)

A Figura 6.8 apresenta o cálculo do método AHP utilizando a planilha de (Baldini et al., 2021) e exibe os resultados obtidos. Esses cálculos foram descritos na subseção 2.1.1 e vetor na coluna AHP representa o vetor P^{AHP} com a pontuação final de cada alternativa para o método AHP.

Figura 6.8 – Dados processados pelo Método AHP.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Soma	Normalização
C1	0,128	0,176	0,161	0,125	0,146	0,109	0,129	0,128	0,113	0,121	0,097	1,434	0,130
C2	0,061	0,084	0,111	0,084	0,092	0,127	0,091	0,090	0,071	0,072	0,047	0,928	0,084
C3	0,051	0,048	0,064	0,102	0,078	0,049	0,059	0,071	0,109	0,088	0,067	0,787	0,072
C4	0,050	0,049	0,031	0,049	0,043	0,074	0,056	0,053	0,042	0,043	0,030	0,519	0,047
C5	0,060	0,063	0,056	0,078	0,069	0,077	0,078	0,068	0,076	0,059	0,058	0,743	0,068
C6	0,203	0,113	0,225	0,114	0,153	0,171	0,197	0,194	0,186	0,158	0,164	1,878	0,171
C7	0,106	0,098	0,115	0,092	0,094	0,092	0,106	0,111	0,128	0,110	0,120	1,172	0,107
C8	0,095	0,088	0,084	0,087	0,096	0,084	0,091	0,094	0,087	0,118	0,141	1,064	0,097
C9	0,097	0,101	0,050	0,100	0,078	0,079	0,071	0,093	0,085	0,118	0,090	0,962	0,087
C10	0,092	0,101	0,063	0,098	0,101	0,094	0,084	0,069	0,063	0,087	0,143	0,996	0,091
C11	0,057	0,077	0,041	0,071	0,050	0,045	0,038	0,029	0,041	0,026	0,043	0,517	0,047

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	AHP	RANK
A1	0,027	0,250	0,304	0,155	0,066	0,000	0,206	0,192	0,000	0,000	0,000	0,099	4,000
A2	0,048	0,141	0,029	0,261	0,039	0,500	0,238	0,225	0,333	0,313	0,000	0,225	2,000
A3	0,080	0,348	0,290	0,258	0,066	0,000	0,238	0,250	0,313	0,313	0,500	0,206	3,000
A4	0,845	0,261	0,377	0,326	0,828	0,500	0,317	0,333	0,354	0,375	0,500	0,470	1,000

Fonte: Baldini et al (2021)

Como é possível observar na Figura 6.8, os resultados do método AHP indicam que a Alternativa 4 é a mais indicada, com uma pontuação de 47%. A Alternativa 2 fica em segundo lugar, com uma pontuação de 22,5%. Esse resultado evidencia uma preferência sólida pela Alternativa 4 por meio deste método.

6.1.2 Método AHP-Gaussiano

Conforme explicado na Seção 2.1.2 deste trabalho, o método AHP-Gaussiano, desenvolvido por (Santos et al., 2021), é uma extensão do método AHP convencional que incorpora a incerteza dos julgamentos. Isso é realizado por meio do cálculo do Desvio Padrão e do Fator Gaussiano, visando a determinação da melhor alternativa. A abordagem desse método tem como objetivo eliminar a necessidade das avaliações dos critérios por parte de especialistas, tornando-o totalmente estatístico e impessoal.

6.1.2.1 Processamento dos Dados

Para processar os dados utilizando o método AHP-Gaussiano, foi empregada a planilha desenvolvida por (Baldini et al., 2021). Os dados são inseridos da mesma forma que no método AHP convencional, excetuando-se a matriz de comparação pareada dos critérios (C), que não é necessária para essa abordagem. Na Figura 6.9, são apresentados os dados da matriz (A) inseridos e processados pela planilha. A coluna AHP-G representa o vetor P^{AHP-G} com a pontuação final de cada alternativa para o método AHP-Gaussiano.

Figura 6.9 – Processamento dos dados pelo método AHP-Gaussiano.

AHP - GAUSSIANO											
Número de Alternativas		4		Limpar Tudo		GERAR BASE AHP-Gaussiano		GERAR BASE AHP-Gaussiano + AHP		PROCESSAR AHP-Gaussiano	
Número de Critérios		11								PROCESSAR AHP-Gaussiano + AHP	
Tipo	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	33,33	11,5	10500	45	4	0	13	23	0	0	0
A2	60	6,5	1000	76	2,36	1	15	27	0,33	25	0
A3	100	16	10000	75	4	0	15	30	0,31	25	1
A4	1056	12	13000	95	50	1	20	40	0,35	30	1
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	0,0266783	0,25	0,3043478	0,1546392	0,0662691	0	0,2063492	0,1916667	0	0	0
A2	0,0480257	0,1413043	0,0289855	0,2611684	0,0390987	0,5	0,2380952	0,225	0,3333333	0,3125	0
A3	0,0800429	0,3478261	0,2898551	0,257732	0,0662691	0	0,2380952	0,25	0,3131313	0,3125	0,5
A4	0,8452531	0,2608696	0,3768116	0,3264605	0,8283632	0,5	0,3174603	0,3333333	0,3535354	0,375	0,5
Média	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Desvio Padrão	0,3974409	0,0846617	0,1521739	0,0710033	0,3857881	0,2886751	0,0473981	0,0604765	0,1674809	0,1692508	0,2886751
Fator Gaussiano	1,5897636	0,338647	0,6086957	0,2840132	1,5431524	1,1547005	0,1895923	0,241906	0,6699237	0,6770032	1,1547005
Fator G. Norma.	0,188091	0,0400666	0,0720171	0,0336027	0,1825763	0,136617	0,0224314	0,0286208	0,0792612	0,0800988	0,136617
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
AHP-G	0,0643627	0,164237	0,2012803	0,57012							
RANK	4	3	2	1							

Fonte: Baldini et al (2021)

Conforme observado na Figura 6.9, a Alternativa 4 obteve uma pontuação mais elevada, com 57,01%, destacando-se consideravelmente da Alternativa 3, que alcançou a

segunda posição com 20,13%. Isso evidencia uma preferência significativa pela Alternativa 4 em relação às demais opções.

6.1.3 Método TOPSIS

O TOPSIS, desenvolvido por (Hwang e Yoon, 1981), classifica as alternativas com base em suas distâncias em relação a um ideal positivo e a um ideal negativo, como explicado na Seção 2.1.3 deste trabalho. As pontuações são atribuídas com base na proximidade da alternativa ao ideal positivo e à distância do ideal negativo, avaliando essa relação para cada critério de decisão. A alternativa mais favorável será aquela que obtiver a maior pontuação.

6.1.3.1 Processamento dos Dados

Para execução do método TOPSIS, foi utilizada a planilha desenvolvida por (Mathew, 2018) para o *software* Microsoft Excel que permite a inserção dos dados das ANTs e calcula as pontuações de cada alternativa. A Figura 6.10 apresenta os dados inseridos na planilha e o resultado do processamento dos dados. Note que a matriz na parte superior representa a matriz de dados dos critérios (A), a matriz do meio representa a matriz normalizada ($\bar{A}$), e a matriz na parte inferior representa a matriz ponderada (V).

Figura 6.10 – Processamento dos dados pelo Método TOPSIS.

Método AMD TOPSIS															
	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.				
weightage	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091				
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11				
A1	33,33	11,5	10500	45	4	0	13	23	0	0	0				
A2	60	6,5	1000	76	2,36	1	15	27	0,33	25	0				
A3	100	16	10000	75	4	0	15	30	0,31	25	1				
A4	1056	12	13000	95	50	1	20	40	0,35	30	1				
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11				
A1	0,0314	0,4798	0,5385	0,3003	0,0794	0,0000	0,4072	0,3752	0,0000	0,0000	0,0000				
A2	0,0564	0,2712	0,0513	0,5072	0,0468	0,7071	0,4699	0,4404	0,5766	0,5392	0,0000				
A3	0,0941	0,6675	0,5128	0,5005	0,0794	0,0000	0,4699	0,4894	0,5417	0,5392	0,7071				
A4	0,9935	0,5007	0,6667	0,6340	0,9926	0,7071	0,6265	0,6525	0,6116	0,6470	0,7071				
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Si+	Si-	Pi	Rank
A1	0,0029	0,0437	0,0490	0,0273	0,0072	0,0000	0,0371	0,0341	0,0000	0,0000	0,0000	0,1783	0,0483	0,21319	4
A2	0,0051	0,0247	0,0047	0,0462	0,0043	0,0643	0,0428	0,0401	0,0525	0,0491	0,0000	0,1551	0,0986	0,38866	3
A3	0,0086	0,0607	0,0467	0,0455	0,0072	0,0000	0,0428	0,0445	0,0493	0,0491	0,0643	0,1366	0,1121	0,45072	2
A4	0,0904	0,0456	0,0607	0,0577	0,0903	0,0643	0,0570	0,0594	0,0557	0,0589	0,0643	0,0152	0,1883	0,92536	1
V+	0,09041	0,06075	0,0607	0,0577	0,09032	0,0643	0,05701	0,0594	0,0557	0,0589	0,06435				
V-	0,00285	0,02468	0,0047	0,0273	0,00426	0	0,03706	0,0341	0	0	0				

Fonte: Mathew (2018)

Como pode-se observar na Figura 6.10, a Alternativa 4 obteve mais pontuação com PI de 0,92 seguida pela Alternativa 3 com PI de 0,45. Esse resultado mostra a Alternativa 4 consolidada como melhor alternativa pelo método TOPSIS.

6.2 Comparação dos Resultados

Analisando os resultados obtidos através dos três métodos, pode-se observar que a Alternativa 4 manteve-se com a maior pontuação em todos os métodos aplicados. Similarmente, a Alternativa 1 permaneceu como a menos pontuada. Isso demonstra uma completa convergência nos resultados para ambas as alternativas.

Em relação às Alternativas 2 e 3, houve concordância nos resultados entre os métodos TOPSIS e AHP-Gaussiano, porém divergência destes em relação ao método AHP convencional. Essa divergência evidencia que a subjetividade dos decisores no método AHP afetou os resultados para essas duas alternativas.

6.2.1 Escolha da Melhor Alternativa

Levando em consideração a consistência dos resultados em relação à Alternativa 4 através dos três métodos de AMD, essa alternativa posicionou-se consistentemente como a melhor escolha de ANT para aplicações em Guerra Eletrônica. Apesar da discrepância resultante da subjetividade presente no método AHP, que influenciou os resultados das Alternativas 2 e 3, a Alternativa 4 manteve uma pontuação significativamente maior, com uma margem considerável em relação à segunda posição, em todos os métodos empregados. A Tabela 4 sintetiza os resultados dos três métodos e apresenta a classificação final das alternativas.

Tabela 4 – Classificação final das alternativas.

	AHP	AHP-Gaussiano	TOPSIS	Classificação Final
Alternativa 1	4	4	4	4
Alternativa 2	2	3	3	3
Alternativa 3	3	2	2	2
Alternativa 4	1	1	1	1

Fonte: Autor (2023)

Ao examinar a classificação apresentada na Tabela 4, observa-se que a Alternativa 4 se estabeleceu como a melhor opção de ANT para aplicações em Guerra Eletrônica, seguida pela Alternativa 3, que manteve a segunda posição em dois dos três métodos de AMD utilizados. Assim, com base na análise dos dados, a Alternativa 4 se destaca como a escolha mais favorável de ANT para atender às necessidades da Guerra Eletrônica.

7 CONCLUSÃO

O objetivo central deste trabalho consistiu em demonstrar a utilidade da combinação de diferentes métodos de AMD como uma abordagem criteriosa na seleção de ANT para aplicações em Guerra Eletrônica. Dessa forma buscou-se criar , empregando-se a opinião de especialistas. Os resultados obtidos ao longo desta pesquisa demonstraram-se altamente satisfatórios, uma vez que os três métodos de AMD aplicados convergiram para uma mesma alternativa como a mais indicada, podendo dessa forma apoiar a Alta Administração da Marinha em processos de aquisição de sistemas e sensores de Guerra Eletrônica, o que pode incrementar a capacidade de defesa do nacional.

Através da análise criteriosa e da comparação detalhada de cada alternativa, a Alternativa 4 emergiu como a escolha superior para ANT em cenários de Guerra Eletrônica. Esta alternativa demonstrou consistentemente seu desempenho destacado, estabelecendo-se firmemente como a melhor opção. Seguindo de perto, a Alternativa 3 manteve sua posição como a segunda alternativa mais promissora, ocupando a segunda posição em dois dos três métodos de AMD utilizados, enquanto no método AHP figurou como a terceira melhor escolha.

Portanto, com base na análise aprofundada realizada ao longo deste estudo, a Alternativa 4 se destaca como a escolha mais favorável de ANT para atender às necessidades específicas e complexas da Guerra Eletrônica. Este resultado é de grande relevância, uma vez que a seleção de ANT desempenha um papel crucial nas operações de Guerra Eletrônica, e a abordagem conjunta de múltiplos métodos de AMD se mostrou uma ferramenta eficaz na tomada de decisão estratégica. Essa pesquisa contribui significativamente para a compreensão do processo de seleção de ANT em um contexto tão crítico quanto a Guerra Eletrônica. Além disso, destaca a importância contínua da aplicação criteriosa de AMD como uma metodologia sólida e confiável na tomada de decisões complexas e estratégicas em vários campos de estudo.

No entanto, é importante destacar as limitações inerentes a este estudo. A complexidade dos critérios de avaliação, a dependência das informações disponíveis sobre as ANT, as limitações dos métodos de AMD escolhidos e a amostragem dos especialistas são fatores que podem influenciar os resultados e devem ser considerados.

Em última análise, este trabalho contribui para aprimorar a tomada de decisões na seleção de ANT para Guerra Eletrônica, oferecendo uma estrutura sólida e métodos rigorosos para orientar escolhas estratégicas. O uso combinado de diferentes tipos de AMD revelou-se satisfatório, fornecendo resultados consistentes e confiáveis. À medida que as operações de

Guerra Eletrônica e o uso de ANT continuam a evoluir, a abordagem apresentada aqui pode ser fundamental para garantir que as forças navais estejam equipadas com as ferramentas mais adequadas para enfrentar ameaças e desafios futuros.

7.1 Sugestões para Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros empregando esse método, propõe-se quatro direções promissoras. Primeiramente, a ampliação da seleção de ANT, empregados em conjunto com aeronaves de combate de maior capacidade de Guerra Eletrônica, pode proporcionar insights adicionais e expandir a aplicabilidade desse método combinado. Em segundo lugar, a seleção de sensores para alocar no *payload* das ANT representa um próximo passo valioso na otimização das capacidades de Guerra Eletrônica. Uma terceira vertente, seria empregar o método para a seleção do melhor navio autônomo submarino não tripulado, participante do evento REP(Mus), a ser empregado em ações de Guerra Acústica (GA), dado a sinergia, similaridade e a correspondência de parâmetros a serem analisados por especialistas de GA e Guerra Eletrônica. Por fim, sugere-se que este modelo de ordenação possa ser expandido em outras aplicações, servindo de base para tomadas de decisão nos setores público e privado.

REFERÊNCIAS

ALVES, José Roberto Xavier; ALVES, João Murta. **Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP)**. Production, v. 25, n. 1, p. 13-26, jan./mar. 2015

AMORIM, Alanne Barros; LIMA, Alex de Oliveira; MARTINS, Harley dos Santos. (2019). **Aplicação do Método AHP no Setor de Gestão Hoteleira**: Proposta de Melhorias em Empresas no Município de Abaetetuba. In: XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais... Santos, São Paulo, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2019.

APOLINÁRIO, Bruna de Souza; KOWALSKI, Luiz Fernando; SANTOS, Marcos dos. **Feasibility of Thermal Analysis of Constructive Systems Using the AHP-Gaussian Method**. In: International Symposium on the Analytic Hierarchy Process. Conferência Online, 15 a 18 de dezembro de 2022.

ARAÚJO COSTA, Arthur Pinheiro de; CORRIÇA, José Victor de Pina; ALVES, Edgard Braz; MAÊDA, Sérgio Mitihiro do Nascimento; TEIXEIRA, Luiz Frederico Horácio de Souza de Barros; ARAÚJO COSTA, Igor Pinheiro de; GOMES, Carlos Francisco Simões; SANTOS, Marcos dos. **Ranqueamento de drones de Guerra Eletrônica para a Marinha do Brasil por meio do método híbrido AHP-TOPSIS-2N**. In: Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa (SIGE), 2021, São José dos Campos. Anais do Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa, 2021.

BALDINI, Fabio; SANTOS, Marcos.; COELHO, Leandro dos Santos; MARIANI, Viviana Cocco. **AHP-GAUSSIANO em VBA** (v.1) 2021.

BERTRAND, Will M. J.; FRANSOO, J. C. **Operations management research methodologies using quantitative modeling**. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 22, No. 2, pp. 241-264, 2002.

COSTA, Igor Pinheiro de Araújo; TEIXEIRA, Lucas Aguiar Amaral Klier; COLÉN, Guilherme Ribeiro; RODRIGUES, William de Carvalho; SANTOS, Marcos dos. **A evolução**

dos sistemas de Guerra Eletrônica na Marinha Do Brasil. Revista SIMEP, João Pessoa, v. 2, n. 1, p. 143-157, 2022.

COSTA, José Fabiano da Serra; RODRIGUES, Monique de Menezes; FELIPE, Ada Priscila Machado. **Utilização do método de análise hierárquica (AHP) para escolha de interface telefônica.** In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais... Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

CRESWELL, J. David; CRESWELL, John W. **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches.** 5ª edição. 27 de novembro de 2017.

DAĞDEVİREN, Metin; YAVUZ, Serkan; KILINÇ, Nevzat. **Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment.** Expert Systems with Applications, v. 36, p. 8143-8151, 2009.

ERDEMLİ, Mustafa Gokhan. **General use of UAS in EW environment: EW concepts and tactics for single or multiple UAS over the Net-Centric Battlefield.** 2009. Tese (Master of Science in Electronic Warfare Systems Engineering) - Naval Postgraduate School, California, 2009.

GÖLEÇ, Adem; GÜRBÜZ, Feyza; ŞENYİĞİT, Ercan. **Determination of Best Military Cargo Aircraft with Multi-Criteria Decision-Making Techniques.** MANAS Journal of Social Studies, v. 5, n. 5, 2016.

GRECO, Salvatore.; EHRGOTT, Matthias.; FIGUEIRA, José Rui. **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys.** Springer New York, NY, 2016.

HAMURCU, Mustafa; EREN, Tamer. **Selection of Unmanned Aerial Vehicles by Using Multicriteria Decision-Making for Defence.** Journal of Mathematics, v. 2020, Article ID 4308756, 11 pages, 2020

HWANG, C. L.; YOON, K. **Multiple attribute decision making: methods and applications.** Berlin: Springer-Verlag, 1981

LIMA, Ivo Leandro Botelho; LUCCHINI, Eduardo Bordignon. **A Utilização do Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada para as Atividades de MAGE nas Operações de GLO no Rio de Janeiro**. 2018. 17 p. Monografia (Especialização em Ciências Militares com ênfase na Gestão Operacional) - Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, Rio de Janeiro, 2018.

MARINHA DO BRASIL. **GE 101 Conceitos Básicos de Guerra Eletrônica**. Centro de Guerra Eletrônica da Marinha. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

MARINHA participa do exercício Robotic Experimentation and Prototyping augmented by Maritime Unmanned Systems. **Marinha do Brasil**, [S. l.], 23 set. 2021. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/noticias/marinha-participa-do-exercicio-robotic-experimentation-and-prototyping-augmented-maritime>. Acesso em: 6 abr. 2023.

MARITIME Unmanned Systems (MUS). **North Atlantic Treaty Organization Factsheet**, [S. l.], p. 1, 2 fev. 2022. Disponível em: https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2021/2/pdf/2102-factsheet-mus.pdf. Acesso em: 6 abr. 2023.

MATHEW, Manoj. **Example TOPSIS Excel file**. Disponível em: <https://mathewmanoj.files.wordpress.com/2018/08/example-topsis.xlsx>. Acesso em: 24. jul. 2023.

MAYMONE, Rodolfo de Azevedo. **O SARP como plataforma de guerra eletrônica: Uma lacuna a ser preenchida**. Revista do Exército Brasileiro, v. 158, n. 2, 2022.

OLIVEIRA, C. A. de; BELDERRAIN, M. C. N. **Considerações sobre a obtenção de vetores de prioridades do AHP**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), 2008.

PAULA, Natália Oliveira Barbosa de; SANTOS, Marcos dos; GOMES, Carlos Francisco Simões; RODRIGUES, Lorrán. **Classificação de Saneantes de Larga Escala para Limpeza Hospitalar Através dos Métodos VFT e AHP-Gaussiano**. In: Anais do LIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Juiz de Fora, MG, 8 a 11 de novembro de 2022.

PEREIRA, Ruan Carlos Alves; SILVA JR., Orivalde Soares da; BANDEIRA, Renata Albergaria de Mello; SANTOS, Marcos dos; ROCHA JR., Claudio de Souza; CASTILLO, Cristian dos Santos; GOMES, Carlos Francisco Simões; PEREIRA, Daniel Augusto de Moura; MURADAS, Fernando Martins. **Evaluation of Smart Sensors for Subway Electric Motor Escalators through AHP-Gaussian Method**. *Sensors*, v. 23, n. 8, p. 4131, 2023.

SAATY, T. L. **Decision Making With The Analytic Hierarchy Process**. In: *International Journal Of Services Sciences*, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAATY, T. L. **How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process**. In: *European Journal of Operational Research*, v. 48, p. 9-26, 1990

SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; SERNA, J.; DOLÓN-PAYÁN, A. **Evaluating military training aircrafts through the combination of multi-criteria decision making processes with fuzzy logic**: A case study in the Spanish Air Force Academy. *Aerospace Science and Technology*, v. 42, p. 58-65, 2015.

SANTOS, Marcos dos; COSTA, Igor Pinheiro de Araujo; GOMES, Carlos Francisco Simões. **Multicriteria decision-making in the selection of warships**: a new approach to the AHP method. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 13(1). 2021

SANTOS, Marcos dos; GOMES, Carlos Francisco Simões; OLIVEIRA, Altina Silva; COSTA, Helder Gomes. **Uma abordagem multicritério para seleção de um navio de guerra de médio porte a ser construído no Brasil**. In: *Anais do XLVIII SBPO: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Vitória, ES, 27 a 30 de setembro de 2016. Vitória, ES: [s.n.], 2016.

SENNAROGLU, Bahar; VARLIK CELEBI, Gulsay. **A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods**. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 59, p. 160–173, 2018.

SOARES, Leandro de Mattos Bento; SANTOS, Marcos dos; GOMES, Andrei Eduardo de Souza. **Quadro para Tomada de Decisões Estratégicas e o Método AHP Gaussiano**: Uma Abordagem Multi-Metodológica na Seleção de um Modelo de Aeronave Cargueira de Grande

Porte para a Força Aérea Brasileira. In: XVIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Conferência online, 01 e 02 de dezembro de 2021.

SOARES, Willian Sathler Lino. **Detecção por Radar e Classificação de Aeronaves Remotamente Pilotadas**. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações) - Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações, Niterói, 2023.

SUHARYO, Okol Sri; NURYASIN, Eko; NUGROHO, Anton. **Analysis of the selection of naval bases in the handling of piracy and piracy crimes by means of fuzzy AHP, TOPSIS and GIS**. International Journal of ASRO, v. 12, n. 03, p. 40-50, set. 2021.

VALE, Rodolpho Mendes; VIEIRA, Mateus Lima; SILVA, Mateus José de Siqueira; DINIZ, Bruno Pereira; TOMAZ, Pedro Paulo Mendes. **Seleção de um Atordoador Pneumático para um Processo Agroindustrial de Carne Bovina Usando os Métodos AHP e AHP-Gaussiano**. Revista SIMEP, João Pessoa, v. 2, n. 2, p. 39-47, dez. 2022.

VENÂNCIO, A.G., FELDENS, J.F. **VANT em Missões de Guerra Eletrônica**. In: IX SIMPÓSIO DE GUERRA ELETRÔNICA, São José dos Campos, 2007.

WANG, Jianrong; FAN, Kai; SU, Yingying; LIANG, Shuang; WANG, Wanshan. **Air Combat Effectiveness Assessment of Military Aircraft Using a Fuzzy AHP and TOPSIS Methodology**. In: 2008 Asia Simulation Conference — 7th Intl. Conf. on Sys. Simulation and Scientific Computing. 2008.

YOSHIMATSU, H.; ABE, S. **A review of landslide hazards in Japan and assessment of their susceptibility using an analytical hierarchic process (AHP) method**. Landslides, v. 3, p. 149–158, 2006.

APÊNDICE A - CÁLCULOS DO MÉTODO AIJ

Cálculos do método AIJ para as avaliações dos seis Especialistas e para a avaliação consolidada através do *software* Microsoft Excel.

1 AVALIAÇÕES DOS CRITÉRIOS PAR A PAR PELOS ESPECIALISTAS

Cada especialista avaliou a importância dos critérios par a par de acordo com a escala fundamental de Saaty (Saaty, 1990):

Especialista 1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1	1	1	9	9	1	1	1	1	9	7
C2	1	1	7	1	9	7	1	7	1	1	1/9
C3	1	1/7	1	1/9	1/7	1/5	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5
C4	1/9	1	9	1	5	9	1	1	1	1	9
C5	1/9	1/9	7	1/5	1	7	1/5	1/5	3	1/8	9
C6	1	1/7	5	1/9	1/7	1	1/9	1/9	1/9	1/9	7
C7	1	1	7	1	5	9	1	9	3	3	9
C8	1	1/7	7	1	5	9	1/9	1	1/5	9	9
C9	1	1	5	1	1/3	9	1/3	5	1	9	9
C10	1/9	1	5	1	8	9	1/3	1/9	1/9	1	9
C11	1/7	9	5	1/9	1/9	1/7	1/9	1/9	1/9	1/9	1

Especialista 2	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1	8	4	1/5	3	9	7	5	7	5	3
C2	1/8	1	1/5	3	4	8	5	5	6	6	1/5
C3	1/4	5	1	3	1/7	4	6	5	5	6	1/5
C4	5	1/3	1/3	1	1/3	6	7	7	7	5	1/3
C5	1/3	1/4	7	3	1	3	5	4	4	3	2
C6	1/9	1/8	1/4	1/6	1/3	1	9	8	9	7	5
C7	1/7	1/5	1/6	1/7	1/5	1/9	1	7	7	7	4
C8	1/5	1/5	1/5	1/7	1/4	1/8	1/7	1	6	6	4
C9	1/7	1/6	1/5	1/7	1/4	1/9	1/7	1/6	1	6	4
C10	1/5	1/6	1/6	1/5	1/3	1/7	1/7	1/6	1/6	1	3
C11	1/3	5	5	3	1/2	1/5	1/4	1/4	1/4	1/3	1

Especialista 3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1	5	4	7	3	1/3	1/3	1	1	1	7
C2	1/5	1	2	2	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	7
C3	1/4	1/2	1	3	5	1/3	1/5	1/3	1	1	7
C4	1/7	1/2	1/3	1	1/3	1/7	1/2	1/2	1/3	1/3	2
C5	1/3	1/2	1/5	3	1	1/5	1/2	1/2	1/2	1/2	2
C6	3	2	3	7	5	1	1	2	2	1	7
C7	3	2	5	2	2	1	1	1/2	1	1	3
C8	1	2	3	2	2	1/2	2	1	1	1	6
C9	1	2	1	3	2	1/2	1	1	1	1	7
C10	1	2	1	3	2	1	1	1	1	1	7
C11	1/7	1/7	1/7	1/2	1/2	1/7	1/3	1/6	1/7	1/7	1

Especialista 4	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1	6	3	8	5	1	1	3	3	2	3
C2	1/6	1	1/3	1	1/4	1/7	1/5	1/6	1/6	1/6	1/4
C3	1/3	3	1	4	3	1/5	1	1	1	1	1
C4	1/8	1	1/4	1	1	1/6	1/4	1/4	1/4	1/4	1/5
C5	1/5	4	1/3	1	1	1/6	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4
C6	1	7	5	6	6	1	4	4	4	4	4
C7	1	5	1	4	4	1/4	1	1	1	1	3
C8	1/3	6	1	4	4	1/4	1	1	1	1	3
C9	1/3	6	1	4	4	1/4	1	1	1	1	3
C10	1/2	6	1	4	4	1/4	1	1	1	1	3
C11	1/3	4	1	5	4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1

Especialista 5	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1	3	5	9	5	1	7	7	5	5	5
C2	1/3	1	5	7	3	1	5	5	5	5	5
C3	1/5	1/5	1	5	3	1/5	3	1	5	1	5
C4	1/9	1/7	1/5	1	1/5	1/7	1/7	1/5	1/7	1/5	1/5
C5	1/5	1/3	1/3	5	1	1/5	3	3	3	3	5
C6	1	1	5	7	5	1	7	5	7	7	7
C7	1/7	1/5	1/3	7	1/3	1/7	1	1	3	1	5
C8	1/7	1/5	1	5	1/3	1/5	1	1	1	1	5
C9	1/5	1/5	1/5	7	1/3	1/7	1/3	1	1	1	5
C10	1/5	1/5	1	5	1/3	1/7	1	1	1	1	5
C11	1/5	1/5	1/5	5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1

Especialista 6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/5
C2	5	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
C3	1	1/5	1	1	1/5	1/5	1/5	1	1	1	1
C4	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C5	5	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
C6	5	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
C7	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
C8	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C9	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/8
C10	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C11	5	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1

2 NORMALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES

As avaliações são normalizadas seguindo a Equação 1, em que cada célula é dividida pelo somatório dos valores de sua respectiva coluna:

Especialista 1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,13376	0,06435	0,01695	0,57940	0,21062	0,01630	0,18717	0,04052	0,09317	0,26828	0,10099
C2	0,13376	0,06435	0,11864	0,06438	0,21062	0,11411	0,18717	0,28367	0,09317	0,02981	0,00160
C3	0,13376	0,00919	0,01695	0,00715	0,00334	0,00326	0,02674	0,00579	0,01863	0,00596	0,00289
C4	0,01486	0,06435	0,15254	0,06438	0,11701	0,14672	0,18717	0,04052	0,09317	0,02981	0,12985
C5	0,01486	0,00715	0,11864	0,01288	0,02340	0,11411	0,03743	0,00810	0,27950	0,00373	0,12985
C6	0,13376	0,00919	0,08475	0,00715	0,00334	0,01630	0,02080	0,00450	0,01035	0,00331	0,10099
C7	0,13376	0,06435	0,11864	0,06438	0,11701	0,14672	0,18717	0,36472	0,27950	0,08943	0,12985
C8	0,13376	0,00919	0,11864	0,06438	0,11701	0,14672	0,02080	0,04052	0,01863	0,26828	0,12985
C9	0,13376	0,06435	0,08475	0,06438	0,00780	0,14672	0,06239	0,20262	0,09317	0,26828	0,12985
C10	0,01486	0,06435	0,08475	0,06438	0,18722	0,14672	0,06239	0,00450	0,01035	0,02981	0,12985
C11	0,01911	0,57916	0,08475	0,00715	0,00260	0,00233	0,02080	0,00450	0,01035	0,00331	0,01443

Especialista 2	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,12758	0,39136	0,21602	0,01429	0,29006	0,28400	0,17208	0,11742	0,13355	0,09554	0,11222
C2	0,01595	0,04892	0,01080	0,21436	0,38674	0,25244	0,12291	0,11742	0,11447	0,11465	0,00748
C3	0,03189	0,24460	0,05401	0,21436	0,01381	0,12622	0,14750	0,11742	0,09539	0,11465	0,00748
C4	0,63788	0,01631	0,01800	0,07145	0,03223	0,18933	0,17208	0,16438	0,13355	0,09554	0,01247
C5	0,04253	0,01223	0,37804	0,21436	0,09669	0,09467	0,12291	0,09393	0,07631	0,05732	0,07481
C6	0,01418	0,00611	0,01350	0,01191	0,03223	0,03156	0,22125	0,18787	0,17170	0,13376	0,18703
C7	0,01823	0,00978	0,00900	0,01021	0,01934	0,00351	0,02458	0,16438	0,13355	0,13376	0,14963
C8	0,02552	0,00978	0,01080	0,01021	0,02417	0,00394	0,00351	0,02348	0,11447	0,11465	0,14963
C9	0,01823	0,00815	0,01080	0,01021	0,02417	0,00351	0,00351	0,00391	0,01908	0,11465	0,14963
C10	0,02552	0,00815	0,00900	0,01429	0,03223	0,00451	0,00351	0,00391	0,00318	0,01911	0,11222
C11	0,04253	0,24460	0,27003	0,21436	0,04834	0,00631	0,00615	0,00587	0,00477	0,00637	0,03741

Especialista 3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,09034	0,28340	0,19346	0,20896	0,12081	0,05897	0,03984	0,11765	0,10553	0,11798	0,12500
C2	0,01807	0,05668	0,09673	0,05970	0,08054	0,08846	0,05976	0,05882	0,05276	0,05899	0,12500
C3	0,02259	0,02834	0,04836	0,08955	0,20134	0,05897	0,02390	0,03922	0,10553	0,11798	0,12500
C4	0,01291	0,02834	0,01612	0,02985	0,01342	0,02527	0,05976	0,05882	0,03518	0,03933	0,03571
C5	0,03011	0,02834	0,00967	0,08955	0,04027	0,03538	0,05976	0,05882	0,05276	0,05899	0,03571
C6	0,27103	0,11336	0,14509	0,20896	0,20134	0,17692	0,11952	0,23529	0,21106	0,11798	0,12500
C7	0,27103	0,11336	0,24182	0,05970	0,08054	0,17692	0,11952	0,05882	0,10553	0,11798	0,05357
C8	0,09034	0,11336	0,14509	0,05970	0,08054	0,08846	0,23904	0,11765	0,10553	0,11798	0,10714
C9	0,09034	0,11336	0,04836	0,08955	0,08054	0,08846	0,11952	0,11765	0,10553	0,11798	0,12500
C10	0,09034	0,11336	0,04836	0,08955	0,08054	0,17692	0,11952	0,11765	0,10553	0,11798	0,12500
C11	0,01291	0,00810	0,00691	0,01493	0,02013	0,02527	0,03984	0,01961	0,01508	0,01685	0,01786

Especialista 4	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,18779	0,12245	0,20112	0,19048	0,13793	0,25470	0,09063	0,23077	0,23077	0,16667	0,13825
C2	0,03130	0,02041	0,02235	0,02381	0,00690	0,03639	0,01813	0,01282	0,01282	0,01389	0,01152
C3	0,06260	0,06122	0,06704	0,09524	0,08276	0,05094	0,09063	0,07692	0,07692	0,08333	0,04608
C4	0,02347	0,02041	0,01676	0,02381	0,02759	0,04245	0,02266	0,01923	0,01923	0,02083	0,00922
C5	0,03756	0,08163	0,02235	0,02381	0,02759	0,04245	0,02266	0,01923	0,01923	0,02083	0,01152
C6	0,18779	0,14286	0,33520	0,14286	0,16552	0,25470	0,36254	0,30769	0,30769	0,33333	0,18433
C7	0,18779	0,10204	0,06704	0,09524	0,11034	0,06367	0,09063	0,07692	0,07692	0,08333	0,13825
C8	0,06260	0,12245	0,06704	0,09524	0,11034	0,06367	0,09063	0,07692	0,07692	0,08333	0,13825
C9	0,06260	0,12245	0,06704	0,09524	0,11034	0,06367	0,09063	0,07692	0,07692	0,08333	0,13825
C10	0,09390	0,12245	0,06704	0,09524	0,11034	0,06367	0,09063	0,07692	0,07692	0,08333	0,13825
C11	0,06260	0,08163	0,06704	0,11905	0,11034	0,06367	0,03021	0,02564	0,02564	0,02778	0,04608

Especialista 5	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,26809	0,44936	0,25952	0,14286	0,26690	0,23179	0,24410	0,27559	0,15953	0,19685	0,10373
C2	0,08936	0,14979	0,25952	0,11111	0,16014	0,23179	0,17436	0,19685	0,15953	0,19685	0,10373
C3	0,05362	0,02996	0,05190	0,07937	0,16014	0,04636	0,10462	0,03937	0,15953	0,03937	0,10373
C4	0,02979	0,02140	0,01038	0,01587	0,01068	0,03311	0,00498	0,00787	0,00456	0,00787	0,00415
C5	0,05362	0,04993	0,01730	0,07937	0,05338	0,04636	0,10462	0,11811	0,09572	0,11811	0,10373
C6	0,26809	0,14979	0,25952	0,11111	0,26690	0,23179	0,24410	0,19685	0,22334	0,27559	0,14523
C7	0,03830	0,02996	0,01730	0,11111	0,01779	0,03311	0,03487	0,03937	0,09572	0,03937	0,10373
C8	0,03830	0,02996	0,05190	0,07937	0,01779	0,04636	0,03487	0,03937	0,03191	0,03937	0,10373
C9	0,05362	0,02996	0,01038	0,11111	0,01779	0,03311	0,01162	0,03937	0,03191	0,03937	0,10373
C10	0,05362	0,02996	0,05190	0,07937	0,01779	0,03311	0,03487	0,03937	0,03191	0,03937	0,10373
C11	0,05362	0,02996	0,01038	0,07937	0,01068	0,03311	0,00697	0,00787	0,00638	0,00787	0,02075

Especialista 6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,02326	0,02128	0,03704	0,01961	0,02128	0,02128	0,09804	0,01961	0,01163	0,01961	0,02145
C2	0,11628	0,10638	0,18519	0,09804	0,10638	0,10638	0,09804	0,09804	0,05814	0,09804	0,10724
C3	0,02326	0,02128	0,03704	0,09804	0,02128	0,02128	0,01961	0,09804	0,05814	0,09804	0,10724
C4	0,11628	0,10638	0,03704	0,09804	0,10638	0,10638	0,09804	0,09804	0,05814	0,09804	0,10724
C5	0,11628	0,10638	0,18519	0,09804	0,10638	0,10638	0,09804	0,09804	0,05814	0,09804	0,10724
C6	0,11628	0,10638	0,18519	0,09804	0,10638	0,10638	0,09804	0,09804	0,05814	0,09804	0,10724
C7	0,02326	0,10638	0,18519	0,09804	0,10638	0,10638	0,09804	0,09804	0,05814	0,09804	0,10724
C8	0,11628	0,10638	0,03704	0,09804	0,10638	0,10638	0,09804	0,09804	0,05814	0,09804	0,10724
C9	0,11628	0,10638	0,03704	0,09804	0,10638	0,10638	0,09804	0,09804	0,05814	0,09804	0,01340
C10	0,11628	0,10638	0,03704	0,09804	0,10638	0,10638	0,09804	0,09804	0,05814	0,09804	0,10724
C11	0,11628	0,10638	0,03704	0,09804	0,10638	0,10638	0,09804	0,09804	0,46512	0,09804	0,10724

3 CÁLCULO DO VETOR DE PESOS

Em seguida, seguindo a Equação 2, são calculados os vetores de pesos das avaliações, somando os elementos de cada linha e dividindo pelo número de critérios:

Especialista 1	Somatório	Pesos Relativos
C1	1,7115	0,1556
C2	1,3013	0,1183
C3	0,2337	0,0212
C4	1,0404	0,0946
C5	0,7497	0,0682
C6	0,3945	0,0359
C7	1,6955	0,1541
C8	1,0678	0,0971
C9	1,2581	0,1144
C10	0,7992	0,0727
C11	0,7485	0,0680

Especialista 2	Somatório	Pesos Relativos
C1	1,9541	0,1776
C2	1,4061	0,1278
C3	1,1673	0,1061
C4	1,5432	0,1403
C5	1,2638	0,1149
C6	1,0111	0,0919
C7	0,6760	0,0615
C8	0,4902	0,0446
C9	0,3658	0,0333
C10	0,2356	0,0214
C11	0,8867	0,0806

Especialista 3	Somatório	Pesos Relativos
C1	1,4619	0,1329
C2	0,7555	0,0687
C3	0,8608	0,0783
C4	0,3547	0,0322
C5	0,4994	0,0454
C6	1,9255	0,1750
C7	1,3988	0,1272
C8	1,2648	0,1150
C9	1,0963	0,0997
C10	1,1847	0,1077
C11	0,1975	0,0180

Especialista 4	Somatório	Pesos Relativos
C1	1,9516	0,1774
C2	0,2103	0,0191
C3	0,7937	0,0722
C4	0,2457	0,0223
C5	0,3289	0,0299
C6	2,7245	0,2477
C7	1,0922	0,0993
C8	0,9874	0,0898
C9	0,9874	0,0898
C10	1,0187	0,0926
C11	0,6597	0,0600

Especialista 5	Somatório	Pesos Relativos
C1	2,5983	0,2362
C2	1,8330	0,1666
C3	0,8680	0,0789
C4	0,1507	0,0137
C5	0,8402	0,0764
C6	2,3723	0,2157
C7	0,5606	0,0510
C8	0,5129	0,0466
C9	0,4820	0,0438
C10	0,5150	0,0468
C11	0,2670	0,0243

Especialista 6	Somatório	Pesos Relativos
C1	0,3141	0,0286
C2	1,1781	0,1071
C3	0,6032	0,0548
C4	1,0300	0,0936
C5	1,1781	0,1071
C6	1,1781	0,1071
C7	1,0851	0,0986
C8	1,0300	0,0936
C9	0,9362	0,0851
C10	1,0300	0,0936
C11	1,4370	0,1306

4 CÁLCULO DA MATRIZ PONDERADA DE CRITÉRIOS

Cada linha da matriz de avaliação dos critérios par a par é multiplicada pelo elemento correspondente do vetor de pesos relativos dos critérios, obtendo, assim, a matriz ponderada de critérios:

Especialista 1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,15559	0,11830	0,02124	0,85122	0,61336	0,03586	0,15414	0,09707	0,11437	0,65387	0,47631
C2	0,15559	0,11830	0,14870	0,09458	0,61336	0,25101	0,15414	0,67950	0,11437	0,07265	0,00756
C3	0,15559	0,01690	0,02124	0,01051	0,00974	0,00717	0,02202	0,01387	0,02287	0,01453	0,01361
C4	0,01729	0,11830	0,19118	0,09458	0,34076	0,32273	0,15414	0,09707	0,11437	0,07265	0,61240
C5	0,01729	0,01314	0,14870	0,01892	0,06815	0,25101	0,03083	0,01941	0,34311	0,00908	0,61240
C6	0,15559	0,01690	0,10621	0,01051	0,00974	0,03586	0,01713	0,01079	0,01271	0,00807	0,47631
C7	0,15559	0,11830	0,14870	0,09458	0,34076	0,32273	0,15414	0,87364	0,34311	0,21796	0,61240
C8	0,15559	0,01690	0,14870	0,09458	0,34076	0,32273	0,01713	0,09707	0,02287	0,65387	0,61240
C9	0,15559	0,11830	0,10621	0,09458	0,02272	0,32273	0,05138	0,48536	0,11437	0,65387	0,61240
C10	0,01729	0,11830	0,10621	0,09458	0,54521	0,32273	0,05138	0,01079	0,01271	0,07265	0,61240
C11	0,02223	1,06469	0,10621	0,01051	0,00757	0,00512	0,01713	0,01079	0,01271	0,00807	0,06804

Especialista 2	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,17765	1,02265	0,42448	0,02806	0,34467	0,82725	0,43015	0,22280	0,23281	0,10710	0,24183
C2	0,02221	0,12783	0,02122	0,42088	0,45956	0,73534	0,30725	0,22280	0,19955	0,12853	0,01612
C3	0,04441	0,63916	0,10612	0,42088	0,01641	0,36767	0,36870	0,22280	0,16629	0,12853	0,01612
C4	0,88823	0,04261	0,03537	0,14029	0,03830	0,55150	0,43015	0,31192	0,23281	0,10710	0,02687
C5	0,05922	0,03196	0,74284	0,42088	0,11489	0,27575	0,30725	0,17824	0,13303	0,06426	0,16122
C6	0,01974	0,01598	0,02653	0,02338	0,03830	0,09192	0,55306	0,35648	0,29933	0,14995	0,40306
C7	0,02538	0,02557	0,01769	0,02004	0,02298	0,01021	0,06145	0,31192	0,23281	0,14995	0,32245
C8	0,03553	0,02557	0,02122	0,02004	0,02872	0,01149	0,00878	0,04456	0,19955	0,12853	0,32245
C9	0,02538	0,02131	0,02122	0,02004	0,02872	0,01021	0,00878	0,00743	0,03326	0,12853	0,32245
C10	0,03553	0,02131	0,01769	0,02806	0,03830	0,01313	0,00878	0,00743	0,00554	0,02142	0,24183
C11	0,05922	0,63916	0,53060	0,42088	0,05745	0,01838	0,01536	0,01114	0,00831	0,00714	0,08061

Especialista 3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,13290	0,34341	0,31301	0,22573	0,13620	0,05835	0,04239	0,11498	0,09966	0,10770	0,12567
C2	0,02658	0,06868	0,15651	0,06449	0,09080	0,08752	0,06358	0,05749	0,04983	0,05385	0,12567
C3	0,03323	0,03434	0,07825	0,09674	0,22699	0,05835	0,02543	0,03833	0,09966	0,10770	0,12567
C4	0,01899	0,03434	0,02608	0,03225	0,01513	0,02501	0,06358	0,05749	0,03322	0,03590	0,03591
C5	0,04430	0,03434	0,01565	0,09674	0,04540	0,03501	0,06358	0,05749	0,04983	0,05385	0,03591
C6	0,39871	0,13737	0,23476	0,22573	0,22699	0,17505	0,12716	0,22997	0,19933	0,10770	0,12567
C7	0,39871	0,13737	0,39126	0,06449	0,09080	0,17505	0,12716	0,05749	0,09966	0,10770	0,05386
C8	0,13290	0,13737	0,23476	0,06449	0,09080	0,08752	0,25432	0,11498	0,09966	0,10770	0,10772
C9	0,13290	0,13737	0,07825	0,09674	0,09080	0,08752	0,12716	0,11498	0,09966	0,10770	0,12567
C10	0,13290	0,13737	0,07825	0,09674	0,09080	0,17505	0,12716	0,11498	0,09966	0,10770	0,12567
C11	0,01899	0,00981	0,01118	0,01612	0,02770	0,02501	0,04239	0,01916	0,01424	0,01539	0,01795

Especialista 4	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,17741	0,11472	0,21646	0,17866	0,14948	0,24768	0,09929	0,26929	0,26929	0,18522	0,17992
C2	0,02957	0,01912	0,02405	0,02233	0,00747	0,03538	0,01986	0,01496	0,01496	0,01543	0,01499
C3	0,05914	0,05736	0,07215	0,08933	0,08969	0,04954	0,09929	0,08976	0,08976	0,09261	0,05997
C4	0,02218	0,01912	0,01804	0,02233	0,02990	0,04128	0,02482	0,02244	0,02244	0,02315	0,01199
C5	0,03548	0,07648	0,02405	0,02233	0,02990	0,04128	0,02482	0,02244	0,02244	0,02315	0,01499
C6	0,17741	0,13384	0,36077	0,13400	0,17938	0,24768	0,39716	0,35906	0,35906	0,37044	0,23989
C7	0,17741	0,09560	0,07215	0,08933	0,11958	0,06192	0,09929	0,08976	0,08976	0,09261	0,17992
C8	0,05914	0,11472	0,07215	0,08933	0,11958	0,06192	0,09929	0,08976	0,08976	0,09261	0,17992
C9	0,05914	0,11472	0,07215	0,08933	0,11958	0,06192	0,09929	0,08976	0,08976	0,09261	0,17992
C10	0,08871	0,11472	0,07215	0,08933	0,11958	0,06192	0,09929	0,08976	0,08976	0,09261	0,17992
C11	0,05914	0,07648	0,07215	0,11166	0,11958	0,06192	0,03310	0,02992	0,02992	0,03087	0,05997

Especialista 5	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,23621	0,49992	0,39453	0,12327	0,38193	0,21566	0,35677	0,32641	0,21908	0,23409	0,12135
C2	0,07874	0,16664	0,39453	0,09588	0,22916	0,21566	0,25483	0,23315	0,21908	0,23409	0,12135
C3	0,04724	0,03333	0,07891	0,06848	0,22916	0,04313	0,15290	0,04663	0,21908	0,04682	0,12135
C4	0,02625	0,02381	0,01578	0,01370	0,01528	0,03081	0,00728	0,00933	0,00626	0,00936	0,00485
C5	0,04724	0,05555	0,02630	0,06848	0,07639	0,04313	0,15290	0,13989	0,13145	0,14045	0,12135
C6	0,23621	0,16664	0,39453	0,09588	0,38193	0,21566	0,35677	0,23315	0,30671	0,32773	0,16988
C7	0,03374	0,03333	0,02630	0,09588	0,02546	0,03081	0,05097	0,04663	0,13145	0,04682	0,12135
C8	0,03374	0,03333	0,07891	0,06848	0,02546	0,04313	0,05097	0,04663	0,04382	0,04682	0,12135
C9	0,04724	0,03333	0,01578	0,09588	0,02546	0,03081	0,01699	0,04663	0,04382	0,04682	0,12135
C10	0,04724	0,03333	0,07891	0,06848	0,02546	0,03081	0,05097	0,04663	0,04382	0,04682	0,12135
C11	0,04724	0,03333	0,01578	0,06848	0,01528	0,03081	0,01019	0,00933	0,00876	0,00936	0,02427

Especialista 6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,02855	0,02142	0,05484	0,01873	0,02142	0,02142	0,09865	0,01873	0,01702	0,01873	0,02613
C2	0,14276	0,10710	0,27419	0,09364	0,10710	0,10710	0,09865	0,09364	0,08511	0,09364	0,13063
C3	0,02855	0,02142	0,05484	0,09364	0,02142	0,02142	0,01973	0,09364	0,08511	0,09364	0,13063
C4	0,14276	0,10710	0,05484	0,09364	0,10710	0,10710	0,09865	0,09364	0,08511	0,09364	0,13063
C5	0,14276	0,10710	0,27419	0,09364	0,10710	0,10710	0,09865	0,09364	0,08511	0,09364	0,13063
C6	0,14276	0,10710	0,27419	0,09364	0,10710	0,10710	0,09865	0,09364	0,08511	0,09364	0,13063
C7	0,02855	0,10710	0,27419	0,09364	0,10710	0,10710	0,09865	0,09364	0,08511	0,09364	0,13063
C8	0,14276	0,10710	0,05484	0,09364	0,10710	0,10710	0,09865	0,09364	0,08511	0,09364	0,13063
C9	0,14276	0,10710	0,05484	0,09364	0,10710	0,10710	0,09865	0,09364	0,08511	0,09364	0,01633
C10	0,14276	0,10710	0,05484	0,09364	0,10710	0,10710	0,09865	0,09364	0,08511	0,09364	0,13063
C11	0,14276	0,10710	0,05484	0,09364	0,10710	0,10710	0,09865	0,09364	0,68085	0,09364	0,13063

5 CÁLCULO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DAS AVALIAÇÕES

Os elementos da matriz ponderada de critérios são somados, resultando na soma ponderada dos critérios. Em seguida, cada elemento do vetor de soma ponderada é dividido pelo seu correspondente no vetor de pesos relativos. A média aritmética desse vetor resultante fornece o valor de $\lambda_{\max}$, que é o autovalor.

Em seguida o $\lambda_{\max}$ é inserido na Equação 4 para calcular o IC que, por sua vez, é inserido na Equação 5 com o valor de IR de 1,51, de acordo com a Figura 2.1, para obter o valor de CR.

Especialista 1	Soma Ponderada (A)	Peso Relativo (B)	A/B
C1	3,2913	0,1556	21,1536
C2	2,4098	0,1183	20,3701
C3	0,3081	0,0212	14,5018
C4	2,1355	0,0946	22,5785
C5	1,5320	0,0682	22,4800
C6	0,8598	0,0359	23,9774
C7	3,3819	0,1541	21,9406
C8	2,4826	0,0971	25,5750
C9	2,7375	0,1144	23,9358
C10	1,9642	0,0727	27,0363
C11	1,3331	0,0680	19,5911
		Autovalor	22,1037

$$IC = \frac{(22,1037 - 11)}{(11 - 1)} = 1,1104$$

$$CR = \frac{1,1104}{1,51} = 0,7353 \text{ ou } 73,53\%$$

Especialista 2	Soma Ponderada (A)	Peso Relativo (B)	A/B
C1	4,0595	0,1776	22,8514
C2	2,6613	0,1278	20,8188
C3	2,4971	0,1061	23,5307
C4	2,8052	0,1403	19,9951
C5	2,4896	0,1149	21,6688
C6	1,9777	0,0919	21,5162
C7	1,2004	0,0615	19,5350
C8	0,8464	0,0446	18,9953
C9	0,6273	0,0333	18,8619
C10	0,4390	0,0214	20,4946
C11	1,8482	0,0806	22,9279
		Autovalor	21,0178

$$IC = \frac{(21,0178 - 11)}{(11 - 1)} = 1,0018$$

$$CR = \frac{1,0018}{1,51} = 0,6634 \text{ ou } 66,34\%$$

Especialista 3	Soma Ponderada (A)	Peso Relativo (B)	A/B
C1	1,7000	0,1329	12,7914
C2	0,8450	0,0687	12,3031
C3	0,9247	0,0783	11,8168
C4	0,3779	0,0322	11,7190
C5	0,5321	0,0454	11,7208
C6	2,1884	0,1750	12,5018
C7	1,7036	0,1272	13,3967
C8	1,4322	0,1150	12,4559
C9	1,1988	0,0997	12,0283
C10	1,2863	0,1077	11,9428
C11	0,2129	0,0180	11,8608
Autovalor			12,2307

$$IC = \frac{(12,2307 - 11)}{(11 - 1)} = 0,12307$$

$$CR = \frac{0,12307}{1,51} = 0,08150 \text{ ou } 8,15\%$$

Especialista 4	Soma Ponderada (A)	Peso Relativo (B)	A/B
C1	2,0874	0,1774	11,7659
C2	0,2181	0,0191	11,4087
C3	0,8486	0,0722	11,7611
C4	0,2577	0,0223	11,5390
C5	0,3374	0,0299	11,2849
C6	2,9587	0,2477	11,9455
C7	1,1673	0,0993	11,7569
C8	1,0682	0,0898	11,9000
C9	1,0682	0,0898	11,9000
C10	1,0978	0,0926	11,8537
C11	0,6847	0,0600	11,4174
Autovalor			11,6848

$$IC = \frac{(11,6848 - 11)}{(11 - 1)} = 0,06848$$

$$CR = \frac{0,06848}{1,51} = 0,04540 \text{ ou } 4,54\%$$

Especialista 5	Soma Ponderada (A)	Peso Relativo (B)	A/B
C1	3,1092	0,2362	13,1629
C2	2,2431	0,1666	13,4608
C3	1,0870	0,0789	13,7763
C4	0,1627	0,0137	11,8786
C5	1,0031	0,0764	13,1325
C6	2,8851	0,2157	13,3777
C7	0,6427	0,0510	12,6107
C8	0,5926	0,0466	12,7093
C9	0,5241	0,0438	11,9613
C10	0,5938	0,0468	12,6832
C11	0,2728	0,0243	11,2422
Autovalor			12,7269

$$IC = \frac{(12,7269 - 11)}{(11 - 1)} = 0,17269$$

$$CR = \frac{0,17269}{1,51} = 0,11440 \text{ ou } 11,44\%$$

Especialista 6	Soma Ponderada (A)	Peso Relativo (B)	A/B
C1	0,3456	0,0286	12,1057
C2	1,3336	0,1071	12,4510
C3	0,6640	0,0548	12,1088
C4	1,1142	0,0936	11,8993
C5	1,3336	0,1071	12,4510
C6	1,3336	0,1071	12,4510
C7	1,2194	0,0986	12,3607
C8	1,1142	0,0936	11,8993
C9	0,9999	0,0851	11,7489
C10	1,1142	0,0936	11,8993
C11	1,7099	0,1306	13,0896
Autovalor			12,2240

$$IC = \frac{(12,2240 - 11)}{(11 - 1)} = 0,12240$$

$$CR = \frac{0,12240}{1,51} = 0,08110 \text{ ou } 8,11\%$$

6 CÁLCULO DA AVALIAÇÃO CONSOLIDADA

As CR dos seis Especialistas foram usadas para calcular a avaliação consolidada por meio da média geométrica ponderada, com pesos atribuídos de acordo com o valor da CR. CRs inferiores a 10% receberam peso 3, CRs entre 10% e 15% receberam peso 2, e CRs acima de 15% receberam peso 1.

As Avaliações, apresentadas na seção 1 deste apêndice, foram consolidadas por média geométrica ponderada. A matriz resultante foi obtida calculando a média geométrica ponderada de cada célula das matrizes de avaliação dos Especialistas. Abaixo está um exemplo do cálculo para a célula a_{12} :

$$a_{12} = \sqrt[13]{1^1 + 8^1 + 5^3 + 6^3 + 3^2 + (1/5)^3} = 2,1011$$

Esse procedimento foi repetido para todas as células da matriz de avaliação. O resultado é apresentado abaixo:

Avaliação Consolidada	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1	2,1011	2,5286	2,5619	2,1269	0,6339	1,2160	1,3570	1,3223	1,3895	2,2546
C2	0,4759	1	1,7356	1,7226	1,3294	0,7413	0,8522	0,9490	0,8286	0,8286	1,0876
C3	0,3955	0,5762	1	2,0887	1,1311	0,2833	0,5567	0,7562	1,2810	1,0141	1,5668
C4	0,3903	0,5805	0,4788	1	0,6301	0,4253	0,5328	0,5611	0,4852	0,4980	0,6876
C5	0,4702	0,7522	0,8841	1,5870	1	0,4501	0,7328	0,7203	0,8872	0,6796	1,3634
C6	1,5776	1,3490	3,5294	2,3515	2,2218	1	1,8576	2,0512	2,1798	1,8220	3,8260
C7	0,8224	1,1735	1,7962	1,8768	1,3646	0,5383	1	1,1720	1,4966	1,2639	2,8019
C8	0,7369	1,0537	1,3223	1,7821	1,3882	0,4875	0,8532	1	1,0141	1,3591	3,2880
C9	0,7562	1,2068	0,7807	2,0609	1,1272	0,4588	0,6682	0,9861	1	1,3591	2,1085
C10	0,7197	1,2068	0,9861	2,0082	1,4715	0,5488	0,7912	0,7358	0,7358	1	3,3325
C11	0,4435	0,9195	0,6382	1,4543	0,7335	0,2614	0,3569	0,3041	0,4743	0,3001	1

O cálculo da CR da Avaliação Consolidada segue o mesmo procedimento das Avaliações individuais dos especialistas. Os resultados encontram-se abaixo:

Matriz Normalizada

Avaliação Consolidada	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,1284	0,1763	0,1613	0,1250	0,1464	0,1088	0,1291	0,1281	0,1130	0,1207	0,0967
C2	0,0611	0,0839	0,1107	0,0841	0,0915	0,1272	0,0905	0,0896	0,0708	0,0720	0,0466
C3	0,0508	0,0483	0,0638	0,1019	0,0779	0,0486	0,0591	0,0714	0,1094	0,0881	0,0672
C4	0,0501	0,0487	0,0305	0,0488	0,0434	0,0730	0,0566	0,0530	0,0415	0,0432	0,0295
C5	0,0604	0,0631	0,0564	0,0774	0,0689	0,0772	0,0778	0,0680	0,0758	0,0590	0,0585
C6	0,2026	0,1132	0,2251	0,1147	0,1530	0,1716	0,1972	0,1936	0,1862	0,1582	0,1641
C7	0,1056	0,0984	0,1146	0,0916	0,0940	0,0924	0,1062	0,1106	0,1279	0,1098	0,1202
C8	0,0946	0,0884	0,0843	0,0870	0,0956	0,0836	0,0906	0,0944	0,0866	0,1180	0,1410
C9	0,0971	0,1013	0,0498	0,1006	0,0776	0,0787	0,0709	0,0931	0,0854	0,1180	0,0904
C10	0,0924	0,1013	0,0629	0,0980	0,1013	0,0942	0,0840	0,0695	0,0629	0,0869	0,1429
C11	0,0569	0,0771	0,0407	0,0710	0,0505	0,0448	0,0379	0,0287	0,0405	0,0261	0,0429

Vetor de Pesos

Avaliação Consolidada	Somatório	Pesos Relativos
C1	1,4337	0,1303
C2	0,9279	0,0844
C3	0,7865	0,0715
C4	0,5182	0,0471
C5	0,7425	0,0675
C6	1,8796	0,1709
C7	1,1711	0,1065
C8	1,0642	0,0967
C9	0,9629	0,0875
C10	0,9961	0,0906
C11	0,5172	0,0470

Matriz ponderada de critérios

Avaliação Consolidada	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0,1303	0,1772	0,1808	0,1207	0,1436	0,1083	0,1295	0,1313	0,1158	0,1258	0,1060
C2	0,0620	0,0844	0,1241	0,0812	0,0897	0,1267	0,0907	0,0918	0,0725	0,0750	0,0511
C3	0,0515	0,0486	0,0715	0,0984	0,0763	0,0484	0,0593	0,0732	0,1121	0,0918	0,0737
C4	0,0509	0,0490	0,0342	0,0471	0,0425	0,0727	0,0567	0,0543	0,0425	0,0451	0,0323
C5	0,0613	0,0635	0,0632	0,0748	0,0675	0,0769	0,0780	0,0697	0,0777	0,0615	0,0641
C6	0,2056	0,1138	0,2524	0,1108	0,1500	0,1709	0,1978	0,1984	0,1908	0,1650	0,1799
C7	0,1072	0,0990	0,1284	0,0884	0,0921	0,0920	0,1065	0,1134	0,1310	0,1145	0,1317
C8	0,0960	0,0889	0,0945	0,0840	0,0937	0,0833	0,0908	0,0967	0,0888	0,1231	0,1546
C9	0,0986	0,1018	0,0558	0,0971	0,0761	0,0784	0,0711	0,0954	0,0875	0,1231	0,0991
C10	0,0938	0,1018	0,0705	0,0946	0,0993	0,0938	0,0842	0,0712	0,0644	0,0906	0,1567
C11	0,0578	0,0776	0,0456	0,0685	0,0495	0,0447	0,0380	0,0294	0,0415	0,0272	0,0470

Cálculo do Autovalor

Avaliação Consolidada	Soma Ponderada (A)	Peso Relativo (B)	A/B
C1	1,4693	0,1303	11,2730
C2	0,9493	0,0844	11,2531
C3	0,8049	0,0715	11,2569
C4	0,5273	0,0471	11,1924
C5	0,7581	0,0675	11,2321
C6	1,9353	0,1709	11,3263
C7	1,2042	0,1065	11,3106
C8	1,0945	0,0967	11,3126
C9	0,9840	0,0875	11,2409
C10	1,0209	0,0906	11,2736
C11	0,5268	0,0470	11,2052
		Autovalor	11,2615

$$IC = \frac{(11,2615 - 11)}{(11 - 1)} = 0,02615$$

$$CR = \frac{0,02615}{1,51} = 0,01731 \text{ ou } 1,73\%$$