

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CMG MARTON GLEISON SILVA DOS SANTOS

SISTEMAS REMOTAMENTE PILOTADOS:

**A Marinha do Brasil de hoje está em condições de se contrapor às
ameaças de ataques de Sistemas de Aeronaves Remotamente
Pilotadas e Autônomas?**

Rio de Janeiro

2024

CMG MARTON GLEISON SILVA DOS SANTOS

SISTEMAS REMOTAMENTE PILOTADOS:

**A Marinha do Brasil de hoje está em condições de se contrapor às
ameaças de ataques de Sistemas de Aeronaves Remotamente
Pilotadas e Autônomas?**

Tese apresentada à Escola de Guerra
Naval como requisito parcial para
conclusão do Curso de Política e
Estratégia Marítimas

Orientador: CF (RM-1) CANTARINO

Rio de Janeiro
Escola de Guerra Naval

2024

DECLARAÇÃO DA NÃO EXISTÊNCIA DE APROPRIAÇÃO INTELECTUAL IRREGULAR

Declaro que este trabalho acadêmico: a) corresponde ao resultado de investigação por mim desenvolvida, enquanto discente da Escola de Guerra Naval (EGN); b) é um trabalho original, ou seja, que não foi por mim anteriormente utilizado para fins acadêmicos ou quaisquer outros; c) é inédito, isto é, não foi ainda objeto de publicação; e d) é de minha integral e exclusiva autoria.

Declaro também que tenho ciência de que a utilização de ideias ou palavras de autoria de outrem, sem a devida identificação da fonte, e o uso de recursos de inteligência artificial no processo de escrita constituem grave falta ética, moral, legal e disciplinar. Ademais, assumo o compromisso de que este trabalho possa, a qualquer tempo, ser analisado para verificação de sua originalidade e ineditismo, por meio de ferramentas de detecção de similaridades ou por profissionais qualificados.

Os direitos morais e patrimoniais deste trabalho acadêmico, nos termos da Lei 9.610/1998, pertencem ao seu Autor, sendo vedado o uso comercial sem prévia autorização. É permitida a transcrição parcial de textos do trabalho, ou mencioná-los, para comentários e citações, desde que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos e ideias expressas neste trabalho acadêmico são de responsabilidade do Autor e não retratam qualquer orientação institucional da EGN ou da Marinha do Brasil.

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese com profunda gratidão e carinho aos meus entes queridos que tornaram possível esta jornada acadêmica.

Aos meus amados pais, Nilton (em memória) e Marlene, devo minha mais sincera devoção. Com seu amor incondicional e orientação sábia, vocês me proporcionaram a base sólida necessária para percorrer este caminho.

À minha querida irmã Nilma, que sempre foi constante no apoio à minha família, especialmente durante minhas ausências dedicando todo seu amor e cuidado aos meus filhos.

À minha amada esposa Fabrícia e aos meus filhos Vinícius, Victor e Vicente, que não me furtaram de amor e carinho mesmo durante o meu período ausente. Foram longos dias em que tiveram que abdicar de minha presença em momentos que não voltarão, mas que serão compensados com muito amor e plenitude.

À minha sogrinha Maria Teresa (em memória), como eu a chamava carinhosamente, cuja presença iluminou minha vida com risos e reflexões valiosas. Mesmo após sua partida, suas memórias continuam a trazer alegria e inspiração. Que descanse em paz.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho representa um amadurecimento pessoal e profissional de trinta anos de serviço dedicados ao país por meio da Marinha do Brasil. Ele é um reflexo de toda a experiência e aprendizado adquiridos ao longo dessa jornada e, por isso, apresento aqui este singelo texto.

Primeiramente, expresso minha eterna gratidão ao Criador, Deus, cuja infinita sabedoria e bondade me guiou e fortaleceu ao longo desta trajetória. Sem Sua orientação divina, não teria alcançado este momento tão significativo na minha vida e carreira.

Meu sincero agradecimento ao meu orientador, Capitão de Fragata RM1 Cantarino, por suas orientações valiosas e precisas.

Ao Capitão de Mar e Guerra RM1 Sousa expresso minha gratidão pela compreensão dos desafios enfrentados ao longo do curso e pela condução exemplar da turma.

Por fim, com a mesma importância dos já mencionados, agradeço à Marinha do Brasil, por me permitir participar deste curso de excelência e, aos colegas da turma do Curso de Política e Estratégia Marítima de 2024, pelo convívio saudável e de camaradagem desenvolvido. Vocês formam um grupo de grande capacidade e coesão, com experiências e histórias de vida distintas. Foi uma honra compartilhar esta experiência com vocês.

“Tudo na guerra é muito simples, mas a coisa mais simples é difícil”

Clausewitz, On War, p.119

RESUMO

O avanço no emprego dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) tem redefinido a natureza dos conflitos militares e das operações navais. Este estudo examina a capacidade da Marinha do Brasil (MB) de se defender contra as ameaças representadas por RPAS, considerando a crescente sofisticação dessas tecnologias em missões de vigilância, ataque e reconhecimento. A pesquisa revisita o desenvolvimento histórico dos RPAS, suas aplicações militares e civis, e suas implicações estratégicas. Além disso, são analisadas as vulnerabilidades inerentes a esses sistemas, bem como as contramedidas atualmente em uso e em desenvolvimento. Embora a MB tenha feito progressos importantes, como a criação de esquadrões específicos e a modernização de sua frota, a pesquisa indica que há uma necessidade premente de investimentos adicionais em tecnologias de defesa antidrone, guerra eletrônica e atualização doutrinária para enfrentar as ameaças de RPAS de maneira mais eficaz. A conclusão destaca que a contínua adaptação tecnológica e o fortalecimento da doutrina são essenciais para garantir a operacionalidade e a segurança da Marinha do Brasil em cenários de guerra moderna.

Palavras-chave: Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas, RPAS, Defesa Naval, Marinha do Brasil, Drones Militares, Contramedidas, Guerra Moderna, Segurança Marítima.

ABSTRACT

REMOTELY PILOTED SYSTEMS:

Is today's Brazilian Navy in a position to counter the threats of attacks from Remotely Piloted and Autonomous Aircraft Systems?

The advancement in the use of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) has redefined the nature of military conflicts and naval operations. This study examines the Brazilian Navy's (MB) ability to defend against the threats posed by RPAS, considering the increasing sophistication of these technologies in surveillance, attack, and reconnaissance missions. The research revisits the historical development of RPAS, their military and civilian applications, and their strategic implications. Additionally, the vulnerabilities inherent to these systems are analyzed, as well as the countermeasures currently in use and under development. Although the MB has made significant progress, such as the creation of specific squadrons and the modernization of its fleet, the research highlights the urgent need for further investments in anti-drone defense technologies, electronic warfare, and doctrinal updates to more effectively address RPAS threats. The conclusion emphasizes that continuous technological adaptation and doctrinal strengthening are essential to ensure the operational readiness and security of the Brazilian Navy in modern warfare scenarios.

Keywords: Remotely Piloted Aircraft Systems, RPAS, Naval Defense, Brazilian Navy, Military Drones, Countermeasures, Modern Warfare, Maritime Security.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	Bomba Voadora V-1.....	17
FIGURA 2	Tabela da OTAN para RPAS.....	24
FIGURA 3	Drone Switchblade 300.....	27
FIGURA 4	Drone RQ-7 Shadow.....	27
FIGURA 5	Drone MQ-1 Predator.....	28
FIGURA 6	Drone MQ-9 Reaper.....	28
FIGURA 7	Drone Global Hawk.....	29
FIGURA 8	Drone X 47b.....	30
FIGURA 9	Drone Kamikaze improvisado.....	31
FIGURA 10	Drone improvisado empregado na guerra da Ucrânia.....	32
FIGURA 11	ARP de ataque.....	33
FIGURA 12	Drones Kamikazes – Shahed 136.....	34
FIGURA 13	Drone com um torpedo.....	35
FIGURA 14	Diagrama de classificação das atuais contramedidas.....	42
FIGURA 15	Dispositivos para detecção, acompanhamento e identificação. contramedidas RPAS.....	44
FIGURA 16	RPAS realizando a captura por rede de outro RPAS.....	46
FIGURA 17	Sistema THOR do exército dos EUA.....	48
FIGURA 18	Sistema HPM Leônidas	48
FIGURA 19	Arma de Energia Direcional (DEW – Directional Energy Weapon) embarcada.....	49
FIGURA 20	USS Portland atirando com uma arma de energia direta.....	49
FIGURA 21	Fragata Tamandaré – Armamento.....	50
FIGURA 22	Fragata Tamandaré – Sensores.....	50
FIGURA 23		

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGE	-	Atividades de Guerra Eletrônica
AEN	-	Ações Estratégicas Navais
AJB	-	Águas Jurisdicionais Brasileiras
ANAC	-	Agência Nacional de Aviação Civil
APEL	-	Aprestamento Eletrônico
ARP	-	Aeronaves Remotamente Pilotadas
CGE	-	Capacidade de Guerra Eletrônica
C-UAS	-	<i>Counter-Unmanned Aerial System</i>
DECEA -	-	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DMN	-	Diretoria de Material da Marinha
EDM	-	Estratégia de Defesa Marítima
EM	-	Estratégias Navais
GPS	-	<i>Global Positioning System</i>
ICA		Instrução do Comando da Aeronáutica
ICAO	-	<i>International Civil Aviation Organization</i>
INTCOM	-	Inteligência de Comunicações
INTELT	-	Inteligência Eletrônica
INTIM	-	Inteligência de Imagens
IVR	-	Inteligência, Vigilância e Reconhecimento
MCA		Manual do Comando da Aeronáutica
MAGE	-	Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica
MB	-	Marinha do Brasil
MPE	-	Medidas de Proteção Eletrônica
PEM	-	Programa Estratégico da Marinha
RPAS	-	<i>Remotely Piloted Aircraft System</i>
UAS	-	<i>Unmanned Aircraft System</i>
UAV	-	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
5CISR	-	<i>Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, e Reconnaissance</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	O DESENVOLVIMENTO DOS RPAS.....	16
2.1	HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS E AUTÔNOMAS.....	17
3	OS SISTEMA AÉREOS REMOTAMENTE PILOTADOS (RPAS).....	21
3.1	CLASSIFICAÇÃO DOS RPAS.....	22
3.2	RPAS NA GUERRA MODERNA.....	23
3.3	RPAS DE ATAQUE E SEU EMPREGO.....	26
3.3.1	Drones de Ataque Leve.....	26
3.3.2	Drones de Ataque Médio.....	28
3.3.3	Drones de Ataque Pesado.....	29
3.3.4	Desafios e Considerações.....	29
3.4	EMPREGO DE RPAS COMERCIAIS E DE CONSTRUÇÃO RUDIMENTAR NA GUERRA MODERNA.....	30
3.5	EMPREGOS RECENTES DE SISTEMAS NÃO TRIPULADOS IMPROVISADOS.....	31
3.5.1	Conflito Ucrânia-Croácia.....	31
3.5.2	Ataques de Hezbollah e Hamas contra Israel.....	32
3.6	CONCLUSÃO.....	32
4	OS RPAS CONTRA ALVOS DE SUPERFÍCIE E SUAS VULNERABILIDADES E LIMITAÇÕES.....	33
4.1	ATAQUES DIRETOS.....	33
4.1.1	Drones Armados.....	33
4.1.2	Drones Kamikaze.....	34
4.1.3	Ataques com Torpedos.....	34
4.2	ATAQUES INDIRETOS.....	35
4.2.1	Ataques de Saturação (SWARM).....	35
4.2.2	Guerra Psicológica.....	36

4.2.3	Sabotagem.....	36
4.2.4	Ataques com Dispositivos de Interferência.....	36
4.3	MISSÕES DE VIGILÂNCIA E RECONHECIMENTO.....	36
4.3.1	Coleta de Informações.....	36
4.3.2	Inteligência de Imagens.....	37
4.4	GUIA AVANÇADA DE ARTILHARIA.....	37
4.4.1	Correção de Tiros.....	37
4.4.2	Operações de Designação de Alvos.....	37
4.5	TÉCNICAS DE EVASÃO E FURTIVIDADE.....	37
4.5.1	Baixa Altitude e Furtividade.....	37
4.5.2	Tecnologias de Camuflagem.....	38
4.6	INTERFERÊNCIA E DESATIVAÇÃO DE SISTEMAS.....	38
4.6.1	Ataques Eletrônicos.....	38
4.6.2	Spoofing.....	38
4.6.3	Ataques com Dispositivos de Hacking.....	38
4.7	VULNERABILIDADES e LIMITAÇÕES DOS RPAS.....	39
4.7.1	Dependência de Sistemas de Navegação por Satélite.....	39
4.7.2	Limitações de Autonomia Energética.....	39
4.7.3	Vulnerabilidades de Software	39
4.7.4	Limitações de Capacidade de Carga.....	39
4.7.5	Vulnerabilidade a Condições Climáticas Adversas.....	40
4.7.6	Vulnerabilidade a Contramedidas Eletrônicas.....	40
4.7.7	Risco de Interceptação de Dados.....	40
4.8	Conclusão.....	40
5	RPAS CONTRAMEDIDAS – C-UAS.....	42
5.1	IDENTIFICAÇÃO E RASTREAMENTO.....	45
5.2	BLOQUEIO DE COMUNICAÇÃO E INTERFERÊNCIA DE SINAIS.....	45
5.3	INTERCEPTAÇÃO FÍSICA.....	45
5.4	DEFESAS BASEADAS EM ENERGIA DIRETA.....	46
5.5	CONSIDERAÇÕES FUTURAS E DESAFIOS.....	50
6	A MARINHA DO BRASIL E SUA DOCTRINA.....	54

6.1	A DOCTRINA MILITAR NAVAL.....	55
7	CONCLUSÃO.....	61
	REFERÊNCIA.....	64

1 INTRODUÇÃO

De acordo com defesanet (2021), o uso de diferentes nomenclaturas para designar aeronaves remotamente pilotadas (ARP) reflete a evolução e a especialização desses sistemas em diferentes contextos, bem como as variações nas regulamentações e nas tradições linguísticas de diferentes regiões. Neste trabalho foram utilizados de maneira intercambiáveis, o termo "drone", por ser amplamente conhecido pela população em geral, *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS), por ser o termo técnico padronizado pela Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO, do inglês *International Civil Aviation Organization*), e ser difundido em periódicos especializados, e "*Unmanned Aircraft System*" (UAS) ou "*Unmanned Aerial Vehical*" (UAV), também por serem bem difundidos em mídias especializadas. Cabe ressaltar que o uso do acrônimo UAV é considerado obsoleto e foi substituído pelo acrônimo UAS, conforme descreve a circular 138 AN/190 da ICAO, mas que para efeito deste trabalho continuará válido, uma vez que diversas fontes ainda o utilizam.

Nos últimos anos, o emprego de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) tem se tornado um aspecto cada vez mais proeminente e transformador nas operações militares e de segurança em todo o mundo. Essa evolução reflete uma mudança significativa na forma como as guerras são travadas e na maneira como as ameaças são abordadas e mitigadas.

O avanço tecnológico e a crescente acessibilidade dos RPAS têm ampliado suas aplicações, tornando-os ferramentas indispensáveis em diversas operações militares e civis. A experiência do conflito entre Rússia e Ucrânia, que se arrasta por mais de dois anos, exemplifica a eficácia desses sistemas tanto em operações ofensivas quanto defensivas. O uso intensivo de "drones", incluindo modelos improvisados, demonstrou a capacidade dos RPAS em causar impacto significativo contra alvos terrestres e marítimos, evidenciando sua importância estratégica.

A Marinha do Brasil (MB) tem acompanhado de perto essas mudanças e, em resposta às novas dinâmicas de combate e vigilância, adquiriu seu primeiro sistema de RPAS em dezembro de 2019 e estabeleceu o 1º Esquadrão de Aeronaves Remotamente Pilotadas de Esclarecimento (EsqdQE-1) em março de 2021. A criação deste esquadrão visa fortalecer a capacidade operacional dos navios da força naval

em missões críticas de reconhecimento, vigilância e inteligência. No entanto, a adoção de RPAS traz não apenas novas capacidades, mas também desafios significativos.

À medida que a MB integra os RPAS em suas operações, é crucial avaliar não apenas a eficácia de seu emprego, mas também a capacidade da Marinha para se defender contra ameaças semelhantes. O aumento do uso de “drones” por adversários pode levar a desgastes significativos, como evidenciado no conflito Rússia-Ucrânia. Portanto, é essencial que a MB compreenda plenamente as capacidades dos RPAS, suas vulnerabilidades e as tecnologias disponíveis para se contrapor desses sistemas.

Dessa maneira as questões de pesquisa focam na capacidade atual da MB para se contrapor a ataques de RPAS com os recursos disponíveis e na identificação das necessidades para aprimorar essa capacidade. A hipótese principal é que, com os meios atuais, é possível a MB se contrapor a ataques de RPAS, mas há necessidade de um contínuo desenvolvimento e atualização das tecnologias e doutrinas para enfrentar de forma eficaz essas ameaças emergentes.

O estudo será guiado por documentos estratégicos como o PEM 2040 por meio do Objetivo Naval (OBNAV) 6 e das Estratégias Navais (EN) 6.2 e 6.3, que tratam respectivamente, da modernização da Força Naval, da construção do núcleo do poder naval e do poder naval do futuro, a fim de garantir o desenvolvimento de capacidades para enfrentar ameaças modernas. A análise se apoiará também na Estratégia de Defesa Marítima (EMA-310), Fundamentos Doutrinários da Marinha (EMA-301), e na Doutrina Militar Naval (EMA-305), que fornecem a base para a defesa antissuperfície, antissubmarino e antiaérea, e ajudarão a avaliar se as capacidades atuais da MB estão alinhadas com os objetivos estratégicos e se são suficientes para a contraposição eficaz aos RPAS.

O objetivo principal é analisar as capacidades da MB para se contrapor aos ataques de RPAS no ambiente marítimo. Entre os objetivos específicos estão a análise do histórico e desenvolvimento dos RPAS, a contextualização da ascensão desses sistemas na guerra moderna, a identificação das variedades de RPAS de ataque e suas aplicações, a determinação das vulnerabilidades desses sistemas, a avaliação das contramedidas atuais e a discussão da necessidade de mudanças na doutrina da MB para garantir uma resposta adequada às ameaças emergentes.

Assim, este estudo busca aprofundar a compreensão sobre os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas, avaliar a capacidade da Marinha do Brasil para enfrentá-los e identificar as medidas necessárias para manter a eficácia da Força. Em um cenário de guerra moderna, a atualização contínua das capacidades e doutrinas da MB é fundamental para enfrentar desafios e aproveitar as oportunidades oferecidas pelos RPAS.

2 O DESENVOLVIMENTO DOS RPAS

O capítulo intitulado explora a evolução dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), destacando seu impacto transformador nas operações militares e civis ao longo das últimas décadas. Este capítulo busca oferecer uma compreensão abrangente das inovações tecnológicas que impulsionaram o avanço dos RPAS, bem como das dinâmicas de mercado e das necessidades operacionais que fomentaram sua adoção global. Inicialmente, o texto traça um panorama histórico, examinando as origens dos RPAS e sua evolução desde os primeiros protótipos até as sofisticadas plataformas utilizadas atualmente. Essa análise histórica é essencial para contextualizar o papel crescente dos RPAS em diversos setores, desde operações militares até aplicações civis, como vigilância e segurança. Em seguida, o capítulo aborda os principais avanços tecnológicos que têm impulsionado o desenvolvimento dos RPAS, incluindo melhorias em sistemas de navegação, sensores, inteligência artificial e autonomia. Esses avanços não apenas aumentaram a eficácia e a eficiência dos RPAS, mas também ampliaram suas capacidades operacionais, permitindo-lhes desempenhar funções cada vez mais complexas e críticas. Além disso, o texto examina as implicações estratégicas e táticas do uso de RPAS, com um foco especial em sua aplicação em conflitos contemporâneos, como o conflito entre Rússia e Ucrânia. Este caso específico ilustra como os RPAS têm sido utilizados de forma inovadora para alcançar objetivos militares, demonstrando sua importância estratégica e seu impacto nas operações de defesa e segurança. Por fim, o capítulo discute os desafios e as oportunidades associados ao desenvolvimento contínuo dos RPAS, incluindo questões regulatórias, éticas e de segurança. A análise desses aspectos é fundamental para entender as barreiras que ainda precisam ser superadas e as potencialidades que podem ser exploradas para maximizar os benefícios dos RPAS no futuro. Em suma, "O Desenvolvimento dos RPAS" oferece uma visão detalhada e crítica sobre a trajetória desses sistemas, destacando sua crescente relevância e as complexidades envolvidas em seu desenvolvimento e implementação. Este capítulo serve como uma base sólida para discussões posteriores sobre o papel dos RPAS no cenário global contemporâneo.

2.1 HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS E AUTÔNOMAS

A história dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e autônomas é marcada por uma evolução notável, desde suas origens experimentais até se tornarem componentes fundamentais na guerra moderna e em diversas aplicações civis. Esta trajetória é caracterizada por avanços tecnológicos significativos e mudanças nas suas aplicações, refletindo sua crescente importância em múltiplos contextos.

As origens dos RPAS remontam ao século XIX. Nevitt (2009) destaca que o primeiro uso registrado de aeronaves não tripuladas ocorreu em 1849, quando o exército austríaco utilizou balões carregados de explosivos contra Veneza. Este evento, embora rudimentar, marcou o início de uma nova era na tecnologia militar.

O desenvolvimento mais significativo, no entanto, ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial. Keane e Carr (2013) apontam que as bombas voadoras V1, criadas pelos alemães, são consideradas os primeiros Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) de sucesso. A figura 1 apresenta a V1 em voo. Estes dispositivos representaram um salto tecnológico importante, demonstrando o potencial militar das aeronaves não tripuladas.

Figura 1 – Bomba voadora V-1.



Fonte: Wikipédia – Disponível em: [V-1 – Wikipédia, a enciclopédia livre \(wikipedia.org\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/V-1). Acesso em: 01jun2024.

Após a guerra, o avanço tecnológico impulsionou o desenvolvimento desses sistemas. Singer (2009) observa que na década de 1960, os Estados Unidos utilizaram drones de reconhecimento na Guerra do Vietnã, marcando uma nova era no uso militar dessas aeronaves. Este período foi caracterizado por melhorias significativas em sistemas de navegação, comunicação e sensoriamento.

A Guerra do Golfo, nos anos 1990, representou um ponto de virada na percepção pública dos drones. Gertler (2012) destaca que neste conflito, os RPAS se tornaram amplamente conhecidos devido à sua eficácia em missões de reconhecimento e vigilância. Desde então, o uso de RPAS em operações militares expandiu-se significativamente, abrangendo desde missões de inteligência até ataques de precisão.

No que diz respeito ao impacto desses sistemas nas forças navais, os RPAS têm transformado significativamente as capacidades delas, tanto em termos de ataque quanto de defesa. Desde suas origens experimentais, os RPAS evoluíram para se tornarem ferramentas essenciais em operações navais modernas, refletindo avanços tecnológicos e adaptações estratégicas.

No que se refere ao incremento da capacidade de ataque, os RPAS oferecem precisão e alcance aprimorados. Eles também permitem que as forças navais realizem ataques de precisão a partir de plataformas navais, sem expor tripulações ao risco, o que é especialmente relevante em operações de combate (SINGER, 2009). Além disso, o uso de RPAS para missões de reconhecimento e vigilância possibilita a coleta de informações críticas sobre as movimentações inimigas, melhorando a eficácia dos ataques subsequentes (GERTLER, 2012).

Em termos de defesa, os RPAS são utilizados para patrulhar áreas marítimas extensas, detectando possíveis ameaças antes que elas se aproximem, o que aumenta a capacidade defensiva das forças navais. O desenvolvimento de contramedidas contra drones, como sistemas de interferência e armas de energia dirigida, é essencial para proteger navios contra ataques de RPAS inimigos (Watts et al., 2012).

Os avanços nos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas nos últimos anos têm sido notáveis, impulsionados por inovações tecnológicas significativas e mudanças regulatórias. Em 2023, a indústria de drones experimentou mudanças transformadoras, destacadas por avanços em inteligência artificial e aprendizado de

máquina, que permitem que os drones operem com maior autonomia e eficiência (DRONEII.COM, 2023).

Essas inovações têm ampliado as capacidades dos RPAS em diversos setores, incluindo aplicações militares e civis. No campo militar, os drones têm se tornado componentes essenciais para missões de reconhecimento, vigilância e ataques de precisão, oferecendo vantagens estratégicas significativas. A capacidade de operar em ambientes complexos com mínima intervenção humana tem sido um diferencial importante, conforme destacado por estudos recentes (CERTRUST, 2023).

Além disso, o uso de RPAS em operações de logística e resgate tem crescido, demonstrando sua versatilidade e importância em situações críticas. A integração de tecnologias emergentes, como sensores avançados e sistemas de comunicação, tem melhorado a eficácia e a segurança das operações realizadas por esses sistemas (TELEFÓNICA, 2023).

No entanto, o aumento do uso de RPAS também levanta questões éticas e de segurança, especialmente em relação à privacidade e ao uso militar em zonas de conflito. As discussões sobre regulamentações adequadas e o desenvolvimento de normas internacionais para o uso responsável de drones continuam a ser uma prioridade para governos e organizações globais (CANADA.CA, 2023).

Esses avanços refletem uma evolução contínua dos RPAS, que estão se tornando cada vez mais autônomos e integrados em operações complexas. À medida que a tecnologia continua a evoluir, é essencial considerar suas implicações éticas e legais para garantir seu uso seguro e eficaz.

Paralelamente ao desenvolvimento militar, o setor civil também adotou essas tecnologias. Watts et al. (2012) discutem as diversas aplicações civis dos RPAS, incluindo agricultura, monitoramento ambiental, segurança pública e entrega de mercadorias. Esta expansão levou a desafios regulatórios e éticos, com países e organizações internacionais buscando estabelecer normas para o uso seguro e responsável desses sistemas. Nesse contexto, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo criou e disponibilizou a publicação ICA 100-40 – Aeronaves Não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro, para garantir a segurança das operações aéreas no país.

Plaw et al. (2016) abordam o debate contemporâneo sobre o uso de drones, especialmente fora dos campos de batalha convencionais. Este debate reflete as

preocupações éticas e legais associadas ao uso crescente de RPAS em operações militares e de inteligência.

Shaw (2016) analisa o conceito de "império do predador", discutindo como os drones têm transformado as estratégias de dominação e controle global. Esta perspectiva crítica destaca as implicações geopolíticas e sociais do uso generalizado de RPAS.

Em conclusão, a história e o desenvolvimento dos RPAS e sistemas autônomos refletem uma trajetória de inovação tecnológica e adaptação às necessidades militares e civis. Whittle (2014) argumenta que a "revolução dos drones" tem transformado fundamentalmente a natureza da guerra e da vigilância. À medida que essas tecnologias continuam a evoluir, é provável que seu impacto na sociedade e nas operações militares se torne ainda mais pronunciado, exigindo uma reflexão contínua sobre suas implicações éticas, legais e estratégicas.

3 OS SISTEMA AÉREOS REMOTAMENTE PILOTADOS (RPAS)

A verdadeira vantagem dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas é que eles permitem projetar poder sem projetar vulnerabilidade (GENERAL DAVID DEPTULA, USAF).”

Os Sistemas Remotamente Pilotados (RPAS) têm se destacado como uma das tecnologias mais transformadoras e versáteis no cenário contemporâneo, tanto em aplicações militares quanto civis. Este capítulo examina a evolução e o impacto dos RPAS, dividindo-se em quatro seções principais: “Classificação dos RPAS”; “Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) na Guerra Moderna”; “Os RPAS de Ataque e seu Emprego”; e “O Emprego de RPAS Comerciais e de Construção Rudimentar na Guerra Moderna”.

Na seção “Classificação dos RPAS”, será apresentado a classificação observada no território brasileiro pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e a utilizada pela Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), a fim de apresentar a ausência de consenso existente no que diz respeito aos critérios utilizados para a classificação.

Na seção “RPAS na Guerra Moderna”, será explorado como os RPAS se tornaram componentes indispensáveis nas operações militares. A guerra na Ucrânia, por exemplo, demonstrou o uso estratégico de drones tanto por forças ucranianas quanto russas, destacando sua importância em conflitos modernos e a necessidade de contramedidas eficazes (SANFELICE, 2022). Os RPAS têm desempenhado funções críticas, desde reconhecimento até ataques de precisão, transformando a maneira como as forças armadas conduzem suas operações (CHIARA, 2019).

Em “Os RPAS de Ataque e seu Emprego”, serão apresentados os diferentes tipos de drones de ataque e suas aplicações nas forças armadas. Os RPAS de ataque variam de modelos sofisticados, equipados com tecnologia avançada, a drones mais simples, mas igualmente eficazes em missões específicas. Essas aeronaves não tripuladas permitem que as forças militares realizem ataques de precisão, minimizando danos colaterais e aumentando a eficácia das operações (RANGEL, 2019).

A seção “O Emprego de RPAS Comerciais e de Construção Rudimentar na Guerra Moderna” analisa como drones originalmente projetados para uso civil são adaptados para fins militares. Em conflitos assimétricos, onde a inovação e a

adaptabilidade são essenciais, esses drones oferecem uma vantagem tática significativa. A facilidade de acesso e a capacidade de adaptação ampliam o leque de opções disponíveis para forças militares e grupos insurgentes (PRUDKIN, 2016).

Ainda ao longo deste capítulo, serão abordadas as implicações éticas e legais do uso de RPAS, destacando a necessidade de regulamentações adequadas para garantir que seu emprego seja seguro e responsável (DECEA, 2023). A análise busca oferecer uma visão abrangente sobre o papel dos RPAS na guerra moderna, destacando tanto suas capacidades quanto os desafios que apresentam.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DOS RPAS

Os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas são classificados de diversas maneiras, dependendo de critérios como tamanho, alcance, capacidade de carga, altitude de operação, e a finalidade específica para a qual foram projetados.

No Brasil, a regulamentação dos sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) é realizada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), que desempenha um papel crucial na determinação das regras de operação, registro e licenciamento dos drones no país. Essa classificação é voltada para operadores comerciais, industriais e recreativos, garantindo que todos os usuários compreendam as responsabilidades e requisitos associados ao uso de drones. A classificação desses dispositivos é feita com base no peso máximo de decolagem, o que permite uma organização eficiente e segura do espaço aéreo. A ANAC categoriza os RPAS em três classes principais, cada uma com características e requisitos específicos. A Classe 1 inclui RPAS com peso máximo de decolagem superior a 150 kg. Esses drones, devido ao seu tamanho e capacidades, geralmente exigem uma infraestrutura mais robusta para operação. Eles são amplamente utilizados em aplicações comerciais e industriais de grande escala, como transporte de cargas pesadas e operações logísticas complexas. A necessidade de uma infraestrutura robusta e procedimentos de segurança rigorosos para essa classe destaca a importância de uma regulamentação detalhada, garantindo que as operações sejam realizadas de maneira segura e eficiente. A Classe 2 abrange RPAS com peso entre 25 kg e 150 kg. Esta classe é frequentemente escolhida para operações que exigem maior capacidade de carga e resistência, como inspeções de infraestrutura e mapeamentos

de grandes áreas. A versatilidade desses drones os torna ideais para uma variedade de aplicações comerciais, desde a agricultura de precisão até a inspeção de torres de energia. A regulamentação para esta classe assegura que as operações atendam a padrões de segurança específicos, protegendo tanto os operadores quanto o público em geral. Por fim, a Classe 3 compreende RPAS com peso máximo de decolagem de até 25 kg. Esta categoria é a mais comum, abrangendo desde drones recreativos até aqueles usados em aplicações comerciais de menor escala. A facilidade de uso e o custo acessível tornam esses drones populares entre entusiastas e pequenas empresas. No entanto, a regulamentação é essencial para garantir que mesmo esses drones menores sejam operados de forma segura, respeitando as normas de aviação civil. Em suma, as classificações estabelecidas pela ANAC são fundamentais para garantir que os drones sejam operados de forma segura e em conformidade com as normas de aviação civil no Brasil.

No que diz respeito ao emprego militar, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) disponibiliza no MCA 56-5 (Aeronaves não Tripuladas para uso Exclusivo em Operações Aéreas Especiais) os procedimentos a serem seguidos para uso desses sistemas em território nacional pelas Forças Armadas. Segundo o ICA 100-40 (2023) quando operando sob as regras da Circulação Operacional Militar (COM), as operações deverão seguir o previsto na ICA 100-13 (Regras de Tráfego Aéreo para Circulação Operacional Militar) em vigor.

Outra classificação bastante observada na literatura sobre RPAS é a utilizada pela Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN). Conforme Dobija (2023), de acordo com parâmetros técnico-táticos (peso, carga útil, velocidade, alcance, altitude, tempo de voo, secção reta radar etc.), os estados membros da OTAN classificam os sistemas aéreos não tripulados (UAS) em três classes. A figura 2 apresenta a classificação OTAN. Diferentemente da classificação da ANAC, ao olhar a tabela da OTAN já é possível prever seu emprego operacional e tático do RPAS.

3.2. RPAS NA GUERRA MODERNA

O uso de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), ou drones, tem se tornado uma peça central na guerra moderna, transformando a dinâmica dos

conflitos armados e apresentando novas oportunidades e desafios para as forças militares.

Figura 2 – Tabela da OTAN para RPAS.

Class	Category	Operating Altitude	Mission Radius	Examples
Class 1 < 150 kg	Micro < 2 kg	up to 200 ft AGL	5 km (LOS)	Black Widow Mikado SpyArrow
	Mini 2-20 kg	up to 3,000 ft AGL	25 km (LOS)	Scan Eagle Skylark Raven
	Small > 20 kg	up to 5,000 ft AGL	50 km (LOS)	Luna Hermes 90 Skylark II
Class 2 150 kg – 600 kg	Tactical	up to 10,000 ft AGL	200 km (LOS)	Hermes 450 Seeker 400 Shadow 600
Class 3 > 600 kg	Strike / Combat	up to 65,000 ft MSL	unlimited (BLOS)	Predator B Predator C
	HALE	up to 65,000 ft MSL	unlimited (BLOS)	Global Hawk
	MALE	up to 45,000 ft MSL	unlimited (BLOS)	Predator A Heron Hermes 900
AGL – Above ground level MSL – Mean sea level LOS – Line of sight BLOS – Beyond line of sight HALE – High altitude long endurance MALE – Medium altitude long endurance ft – foot (1 ft = 30.48 cm)				

Fonte: DOBIJA, 2023.

Os drones têm desempenhado um papel crucial em conflitos recentes, como observado na guerra na Ucrânia. Sanfelice (2023) descreve que os drones têm sido usados extensivamente para reconhecimento, vigilância e ataques precisos, alterando significativamente a estratégia militar tradicional. A capacidade de realizar operações remotamente permite que as forças armadas reduzam o risco para os operadores humanos enquanto aumentam a eficácia operacional.

O sítio eletrônico Vision of Humanity em seu artigo intitulado “*Drones in conflict: How they have shaped the nature of conflict.*” destaca que os drones têm permitido que forças menores e menos equipadas desafiem exércitos mais poderosos (VISION OF HUMANITY, 2024). Os drones oferecem uma vantagem tática ao permitir ataques rápidos e precisos, muitas vezes superando as defesas convencionais.

Apesar das vantagens operacionais, o uso de drones levanta questões éticas e legais significativas. No mesmo artigo, Vision of Humanity descreve a proliferação

de drones entre atores estatais e não estatais e apresenta um diagnóstico sobre nova ameaça à segurança global. A capacidade de conduzir operações militares remotamente pode desumanizar o combate e aumentar o risco de danos colaterais a civis.

O uso de drones no conflito entre Israel e grupos como o Hamas exemplifica como tecnologias acessíveis podem desafiar exércitos sofisticados.

No ambiente naval, os RPAS oferecem capacidades distintas, como reconhecimento e vigilância, ampliando o alcance e a eficácia das operações navais (JAPCC, 2024). No entanto, são vulneráveis a ataques cibernéticos e interferências eletrônicas (ORF, 2024). Na guerra entre Ucrânia e Rússia, drones marítimos ucranianos foram usados com sucesso para afundar ou danificar navios russos no Mar Negro, destacando a vulnerabilidade dos navios convencionais a ataques de drones (USNI NEWS, 2024).

Os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas estão redefinindo a guerra moderna. Embora ofereçam novas capacidades, também apresentam desafios éticos e estratégicos que precisam ser abordados. À medida que a tecnologia continua a evoluir, é crucial que as forças militares e a comunidade internacional desenvolvam estratégias para mitigar os riscos associados a esses sistemas e maximizar seus benefícios.

O desenvolvimento dos RPAS remonta à Guerra do Golfo, em 1991, aonde foram inicialmente empregados para missões de reconhecimento. Com o avanço da tecnologia, os drones evoluíram de simples ferramentas de observação para plataformas de combate multifuncionais. Modelos como o MQ-1 Predator e o MQ-9 Reaper, por exemplo, são capazes de realizar ataques de precisão com armamento guiado, além de fornecer vigilância contínua em ambientes hostis (GAT; JONES, 2021). Essas capacidades fazem dos RPAS uma ferramenta indispensável nas operações militares modernas, permitindo que as forças armadas realizem missões críticas com maior segurança e eficácia.

Uma das aplicações mais notáveis dos RPAS na guerra moderna é a supressão das defesas aéreas inimigas (SEAD). Drones são utilizados para localizar e neutralizar sistemas de defesa aérea, abrindo caminho para ataques subsequentes de aeronaves tripuladas. Além disso, os RPAS atuam como designadores de alvos, iluminando-os para que caças ou bombardeiros possam realizar ataques com precisão cirúrgica.

Essa sinergia entre drones e aeronaves tripuladas exemplifica a capacidade dos RPAS de multiplicar a eficácia das operações militares.

Embora os RPAS ofereçam inúmeras vantagens, sua implementação não está isenta de desafios operacionais e estratégicos. A dependência de sistemas de navegação e comunicação por satélite torna os drones vulneráveis a interferências e ataques cibernéticos, o que pode comprometer sua eficácia em cenários de combate complexos. Além disso, o uso de RPAS em missões críticas exige uma coordenação meticulosa entre as diferentes unidades e sistemas de armas. Falha na comunicação ou na sincronização das operações pode resultar em consequências desastrosas, incluindo falhas na missão ou perdas humanas.

Outro desafio significativo é o impacto ético do uso de RPAS, especialmente em operações autônomas. A capacidade dos drones de realizar ataques sem intervenção humana direta levanta questões sobre a responsabilidade e a moralidade das ações militares (NUNES,2021). A automação do combate pode desumanizar a tomada de decisões, levando a um aumento de danos colaterais e à diminuição da *Accountability* no campo de batalha.

Os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas representam uma das inovações mais significativas no campo militar nas últimas décadas. Sua capacidade de realizar missões diversas com alta precisão e menor risco para os operadores revolucionou a forma como as guerras são conduzidas.

O futuro dos RPAS na guerra moderna promete ser ainda mais integrado e automatizado, com avanços em inteligência artificial permitindo que drones tomem decisões em tempo real e operem em conjunto com outras plataformas militares de forma mais eficaz. No entanto, essa evolução também exige uma reflexão profunda sobre as implicações éticas e legais do uso de RPAS. É essencial que as forças armadas desenvolvam doutrinas e protocolos claros que regulem o uso desses sistemas, garantindo que suas operações sejam conduzidas de acordo com os princípios do direito internacional humanitário

3.3 RPAS DE ATAQUE E SEU EMPREGO

3.3.1 Drones de Ataque Leve

Drones de ataque leve são projetados para operações que exigem alta precisão em alvos de pequeno porte. Estes drones são equipados com mísseis de precisão guiados e cargas explosivas leves. Exemplos notáveis incluem o RQ-7 Shadow e o AeroVironment Switchblade. A figura 3 apresenta o drone Switchblade. O RQ-7 Shadow é amplamente utilizado para reconhecimento e ataques de precisão, enquanto o Switchblade é conhecido por suas capacidades de ataque kamikaze (MAURER, 2012; FLORES, 2016). A figura 4 apresenta o RQ-7. Esses drones são valorizados por sua capacidade de adaptação rápida e custo reduzido.

Figura 3 - Drone Switchblade 300.



Fonte: Internet – Disponível em: [What to know about the 100 US 'Switchblade' drones heading to Ukraine - Cleaners Monthly](#). Acesso em: 01jun2024.

Figura 4 – Drone RQ-7 Shadow.



Fonte: Internet – Disponível em: [AAI \(Textron\) RQ-7 Shadow: Photos, History, Specification \(tvd.im\)](#). Acesso em: 01jun2024.

3.3.2 Drones de Ataque Médio

Drones de ataque médio, como o MQ-1 Predator e o MQ-9 Reaper, possuem maior capacidade de carga e alcance. O MQ-1 Predator pode ser equipado com mísseis Hellfire e tem sido usado principalmente em operações de contraterrorismo e combate a insurgentes. O MQ-9 Reaper, com sua maior capacidade de carga e maior autonomia, é utilizado em uma variedade de missões de combate e reconhecimento (MURPHY et al., 2016; GONZALEZ et al., 2020). As figuras 5 e 6 destacam, respectivamente, as imagens dessas aeronaves.

Figura 5 – Drone MQ-1 Predator.



Fonte: Internet. – Disponível em: [We need drones to secure Nigeria's borders- Immigration Service boss - Premium Times Nigeria \(premiumtimesng.com\)](https://www.premiumtimesng.com). Acesso em: 01jun2024.

Figura 6 – Drone MQ-9 Reaper.



Fonte: Internet – Disponível em: [Deux drones MQ-9 Reaper supplémentaires commandés par l'armée française \(usinenouvelle.com\)](https://www.usinenouvelle.com). Acesso em 01jun2024.

3.3.3 Drones de Ataque Pesado

Drones de ataque pesado, como o Global Hawk e o X-47B, oferecem grande autonomia e capacidade de ataque. Embora o Global Hawk seja primariamente um drone de reconhecimento, ele pode ser adaptado para missões de ataque. O X-47B, projetado para operações navais, é equipado com mísseis de longo alcance e é usado para missões complexas que exigem alta precisão e cobertura extensiva (CORKE, 2016; ALVAREZ, 2019). Esses drones representam a vanguarda da tecnologia RPAS, oferecendo capacidades avançadas para forças militares. As figuras 7 e 8 apresentam as imagens desses dois modelos de UAV.

3.3.4 Desafios e Considerações

O uso de RPAS de ataque enfrenta desafios significativos, incluindo questões éticas e regulamentares. A precisão dos ataques deve ser balanceada com a proteção de civis e infraestrutura não militar, exigindo um controle rigoroso e normas internacionais para garantir a responsabilidade e a segurança (ELING et al., 2019). A integração desses sistemas na guerra moderna levanta questões complexas sobre o uso da força e a proteção dos direitos humanos.

Figura 7 – Drone Global Hawk.



Fonte: Internet – Disponível em: <https://www.teoriadigital.com.br/wp-content/uploads/2019/06/drone-EUA.jpg>. Acesso em 18jun2024.

Figura 8 – Drone X 47b.



Fonte: Internet- Disponível em: <https://lucianapombo.com.br/hf/>- Acesso em 18jun2024.

3.4 EMPREGO DE RPAS COMERCIAIS E DE CONSTRUÇÃO RUDIMENTAR NA GUERRA MODERNA

Drones inicialmente projetados para uso recreativo ou para aplicações civis têm sido adaptados para funções militares, incluindo reconhecimento e ataques leves. A acessibilidade e o baixo custo desses drones tornam-nos uma escolha atraente para grupos em conflito. Por exemplo, drones comerciais têm sido modificados para transportar cargas explosivas e realizar vigilância em território inimigo, demonstrando uma flexibilidade notável em sua aplicação. Contudo, esses drones possuem limitações em termos de alcance e capacidade de carga, o que pode restringir suas funções em operações mais complexas (JONES, 2021). A figura 9 apresenta um militar ucraniano com um UAS comercial modificado com explosivo.

Figura 9 – Drone Kamikaze improvisado.



Fonte: Internet – Disponível em: [How are Drones Changing Modern Warfare? | Australian Army Research Centre \(AARC\)](#). Acesso em: 01jul2024.

3.5 EMPREGOS RECENTES DE SISTEMAS NÃO TRIPULADOS IMPROVISADOS

3.5.1 Conflito Ucrânia-Croácia

A invasão da Ucrânia pela Rússia em fevereiro de 2022 tem ilustrado o uso extensivo de drones em operações militares. Os drones foram empregados para missões de reconhecimento e ataques diretos, permitindo que russos e ucranianos realizassem e ainda realizem operações com alta precisão contra alvos oponentes. Este cenário destacou a importância dos RPAS na modernização das estratégias de combate e seu impacto nas dinâmicas do conflito (HART, 2023). A figura 10 apresenta um drone improvisado sendo preparado por um militar.

Figura 10 – Drone improvisado empregado na guerra da Ucrânia.



Fonte: WorkShop realizado em São Pedro da Aldeia -RJ, em 27 de maio de 2024.

3.5.2 Ataques de Hezbollah e Hamas contra Israel

Hezbollah e Hamas têm utilizado RPAS para realizar ataques contra Israel, incluindo missões de reconhecimento e ataques aéreos. Esses drones foram adaptados para carregar explosivos e realizar vigilância em território israelense. O uso desses RPAS demonstra a crescente capacidade de grupos não estatais em empregar tecnologia avançada para desafiar forças militares mais poderosas (BEN-MOSHE, 2022; BROWN, 2023).

3.6 CONCLUSÃO

A evolução dos RPAS e a adaptação de equipamentos civis e construção rudimentar destacam a complexidade da guerra moderna. A capacidade de improvisar e adaptar tecnologias existentes demonstra novas soluções para desafios emergentes, enquanto a integração de RPAS reflete o impacto das inovações tecnológicas nas estratégias militares contemporâneas. O desenvolvimento contínuo desses sistemas e métodos improvisados continuará a moldar o campo de batalha, exigindo uma análise cuidadosa das suas implicações operacionais e éticas.

4. OS RPAS CONTRA ALVOS DE SUPERFÍCIE E SUAS VULNERABILIDADES E LIMITAÇÕES

4.1. ATAQUES DIRETOS

4.1.1 Drones Armados

Os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) armados, como o MQ-9 Reaper, representam uma evolução significativa nas capacidades de ataque contra alvos de superfície. Estes sistemas são capazes de realizar ataques de precisão a longas distâncias, carregando uma variedade de armamentos, incluindo mísseis ar-superfície e bombas guiadas (MURPHY et al., 2016). A versatilidade destes drones permite que eles realizem missões de vigilância prolongada seguidas de ataques imediatos, uma capacidade particularmente valiosa em ambientes marítimos. A figura 11 apresenta um modelo de drone de ataque armado.

Figura 11 – ARP de ataque.



Fonte: Internet – Disponível em: [Autonomous Weapon Systems and Killer Drones – In The Zone \(inthezonepodcast.com\)](https://inthezonepodcast.com). Acesso em: 01jun2024.

4.1.2 Drones Kamikaze

Os drones kamikaze, também conhecidos como loitering ammunition - munições vagantes (tradução nossa), têm emergido como uma ameaça significativa em conflitos recentes. Estes sistemas, como o Shahed-136 iraniano, são projetados para ataques suicidas contra alvos específicos (SOF, 2022). Sua eficácia foi demonstrada em ataques contra navios no Mar Negro durante o conflito Rússia-Ucrânia, destacando a vulnerabilidade de alvos navais a esta forma de ataque de baixo custo e alta precisão (JANKOWSKI, 2023). Na figura 12 é possível observar vários drone kamikaze, Modelo Shahed 136

Figura 12 – Drones Kamikaze – Shahed 136.



Fonte: Internet – Disponível em: [Shahed-136: Russia's Kamikaze Drone \(From Iran\) - 19FortyFive](#)
Acesso em: 01jun2024.

4.1.3 Ataques com Torpedos

Embora ainda em estágios iniciais de desenvolvimento, algumas aeronaves remotamente pilotadas estão sendo projetadas com capacidade de lançar torpedos leves contra alvos de superfície. Esta capacidade representa uma fusão inovadora

entre tecnologias aéreas e submarinas, potencialmente alterando a dinâmica dos engajamentos navais (GONZALEZ et al., 2020). A principal vantagem destes sistemas é a capacidade de realizar ataques precisos a longa distância, mantendo a aeronave fora do alcance das defesas do navio. A figura 13 apresenta uma imagem de drone transportando um torpedo.

Figura 13 – Drone com um torpedo.



Fonte: Internet – Disponível em: [NATO Tests New Torpedo Drone Named After Terminator | The Gaze](#). Acesso em: 01jun2024.

4.2. ATAQUES INDIRETOS

4.2.1 Ataques de Saturação (SWARM)

Os ataques de enxame representam uma evolução tática no uso de RPAS, explorando a quantidade para sobrecarregar as defesas do alvo. A Força Aérea dos Estados Unidos tem conduzido demonstrações avançadas desta tecnologia, evidenciando seu potencial disruptivo em cenários de combate naval (AIR FORCE RESEARCH LABORATORY, 2023). A eficácia destes ataques reside na capacidade

de saturar os sistemas de defesa do alvo, aumentando significativamente a probabilidade de sucesso do ataque.

4.2.2 Guerra Psicológica

A presença constante de RPAS no espaço aéreo pode ter um impacto psicológico significativo nas tripulações de navios. Este efeito de guerra psicológica, caracterizado por estresse prolongado e fadiga, pode degradar a eficácia operacional das forças navais, mesmo na ausência de ataques diretos (ELING et al., 2019).

4.2.3 Sabotagem

RPAS podem ser empregados em operações de sabotagem, visando sistemas críticos de navios como equipamentos de comunicação, navegação e sensores. Estas operações podem ser conduzidas através de ataques físicos diretos ou, potencialmente, através da entrega de dispositivos de interferência eletrônica (UNITED KINGDOM, 2024).

4.2.4 Ataques com Dispositivos de Interferência

RPAS equipados com sistemas de guerra eletrônica representam uma ameaça significativa à integridade operacional dos navios. Estes sistemas podem interferir em comunicações críticas, sistemas de navegação e até mesmo em sistemas de armas, comprometendo severamente a capacidade de defesa e operação do navio (CARLSON, 2019).

4.3 MISSÕES DE VIGILÂNCIA E RECONHECIMENTO

4.3.1 Coleta de Informações

Os RPAS desempenham um papel crucial na coleta de informações em ambientes marítimos. Equipados com sensores avançados, esses sistemas podem realizar vigilância prolongada de áreas extensas, monitorando movimentações de

navios e atividades em instalações portuárias (WATTS; AMBROSIA; HINKLEY, 2012). A capacidade de operar por longos períodos sem a necessidade de rotação de tripulações permite uma cobertura contínua e detalhada.

4.3.2 Inteligência de Imagens

Drones equipados com câmeras de alta resolução e sensores multiespectrais fornecem inteligência visual detalhada. Estas capacidades permitem a identificação e classificação precisa de embarcações, bem como a detecção de anomalias que podem indicar atividades suspeitas (CORKE, 2016). A integração de tecnologias de inteligência artificial para análise de imagens em tempo real aumenta significativamente a eficácia dessas operações.

4.4 GUIA AVANÇADA DE ARTILHARIA

4.4.1 Correção de Tiros

RPAS podem ser utilizados para ajustar o fogo de artilharia contra alvos navais, aumentando significativamente a precisão dos ataques. Ao fornecer dados em tempo real sobre a localização e movimento dos alvos, bem como as condições atmosféricas, os drones permitem correções rápidas e precisas, maximizando a eficácia do fogo indireto (GONZALEZ et al., 2020).

4.4.2 Operações de Designação de Alvos

Drones equipados com designadores laser podem marcar alvos para ataques de mísseis antinavio lançados de plataformas terrestres ou aéreas. Esta capacidade aumenta significativamente a precisão dos ataques de longo alcance e permite o engajamento de alvos além do horizonte (GONZALEZ et al., 2020)

4.5 TÉCNICAS DE EVASÃO E FURTIVIDADE

4.5.1 Baixa Altitude e Furtividade

RPAS podem explorar a capacidade de voar em baixas altitudes para evitar detecção por radar, aproveitando-se do efeito de propagação sobre o mar. Esta tática é particularmente eficaz em operações de aproximação furtiva a navios alvo (UNITED KINGDOM, 2024)

4.5.2 Tecnologias de Camuflagem

Alguns drones utilizam materiais e designs que reduzem sua assinatura radar e térmica. Tecnologias de camuflagem ativa e passiva, como revestimentos absorventes de radar e sistemas de resfriamento da fuselagem, aumentam significativamente a sobrevivência dos RPAS em ambientes hostis (FLORES, 2016).

4.6. INTERFERÊNCIA E DESATIVAÇÃO DE SISTEMAS

4.6.1 Ataques Eletrônicos

RPAS equipados com sistemas de guerra eletrônica podem realizar ataques eletrônicos para interferir nos sistemas de defesa dos navios. Estas capacidades incluem a interrupção de comunicações, interferência em radares e perturbação de sistemas de navegação (CARLSON, 2019).

4.6.2 Spoofing

Drones avançados podem ser utilizados para transmitir sinais falsos de GPS, causando erros de navegação em navios. Esta técnica pode ser empregada para desviar embarcações de suas rotas planejadas ou para criar confusão em cenários de combate (UNITED KINGDOM, 2024).

4.6.3 Ataques com Dispositivos de Hacking

RPAS podem potencialmente ser usados como plataformas para realizar ataques cibernéticos contra sistemas de navios. Ao se aproximar de embarcações, estes drones podem tentar explorar vulnerabilidades em redes sem fio ou sistemas de

comunicação, comprometendo a segurança da informação e potencialmente afetando sistemas críticos do navio (UNITED KINGDOM, 2024).

4.7. VULNERABILIDADES e LIMITAÇÕES DOS RPAS

4.7.1 Dependência de Sistemas de Navegação por Satélite

Os RPAS frequentemente dependem de sistemas de navegação por satélite, como o GPS, para orientação precisa. Essa dependência os torna vulneráveis a ataques de *spoofing* ou *jamming* de GPS, que podem desorientar ou desviar a aeronave de seu curso pretendido (CARLSON, 2019).

4.7.2 Limitações de Autonomia Energética

Muitos RPAS, especialmente os de menor porte, têm autonomia de voo limitada devido às restrições de bateria ou combustível. Isso pode torná-los ineficazes em missões de longa duração e vulneráveis a táticas de esgotamento (WATTS; AMBROSIA; HINKLEY, 2012).

4.7.3 Vulnerabilidades de Software

Como sistemas altamente dependentes de software, os RPAS são suscetíveis a ataques cibernéticos que podem explorar falhas de segurança em seu código. Isso pode permitir que adversários assumam o controle da aeronave ou acessem dados sensíveis (UNITED STATES, 2023).

4.7.4 Limitações de Capacidade de Carga

As restrições de peso dos RPAS podem limitar sua capacidade de carregar contramedidas defensivas robustas, tornando-os mais vulneráveis a sistemas de defesa antiaérea (CLARK; SLOMAN, 2017).

4.7.5 Vulnerabilidade a Condições Climáticas Adversas

Muitos RPAS têm dificuldades em operar em condições climáticas extremas, como ventos fortes ou chuva intensa, o que pode limitar sua eficácia operacional em certos ambientes (VASHISHT, 2021).

4.7.6 Vulnerabilidade a Contramedidas Eletrônicas

Os RPAS são particularmente suscetíveis a contramedidas eletrônicas, incluindo *jamming* de comunicações e interferência em sensores. Essas vulnerabilidades podem ser exploradas para interromper as operações dos RPAS ou para fornecer informações falsas aos operadores (GONZALEZ et al., 2020).

4.7.7 Risco de Interceptação de Dados

A transmissão de dados entre o RPAS e a estação de controle em terra pode ser vulnerável à interceptação. Isso representa um risco significativo para a segurança operacional, especialmente em missões que envolvem informações sensíveis ou estratégicas (ELING et al., 2019).

Estas vulnerabilidades destacam a necessidade de desenvolvimento contínuo de contramedidas e melhorias nos sistemas de RPAS para aumentar sua resiliência e eficácia operacional em ambientes hostis e complexos.

4.8 Conclusão

A utilização de RPAS contra alvos de superfície é um desafio crescente para os navios no presente. Esses sistemas, capazes de realizar ataques diretos de alta precisão, conduzir operações de sabotagem e interferência eletrônica, colocam os navios em posição vulnerável se desprovidos de sensores e armamentos adequados, munição em quantidade suficiente, e táticas adequadas. Drones armados, kamikazes e RPAS equipados com torpedos podem atingir navios a grandes distâncias, enquanto táticas como ataques de saturação e operações de guerra psicológica aumentam a pressão sobre as defesas navais e suas tripulações. Além disso, os RPAS podem

interferir diretamente nos sistemas de navegação, comunicação e controle de armas dos navios, comprometendo a capacidade operacional e de defesa.

No entanto, RPAS também dispõem de vulnerabilidades, que devem ser vistas como uma oportunidade para os navios aprimorarem suas próprias contramedidas. Sistemas de defesa antidrone precisam ser continuamente atualizados para lidar com o avanço tecnológico dos RPAS, incluindo técnicas de interferência eletrônica, *spoofing* de GPS e a interceptação de dados. A capacidade de detecção e neutralização desses drones, por meio de sistemas integrados de radar, sensores eletro-ópticos, contramedidas eletrônicas, e outros sistemas que surgirão, será crucial para garantir a proteção dos navios.

Portanto, a eficácia das operações navais futuras dependerá não apenas da capacidade de adaptação às novas ameaças impostas pelos RPAS, mas também do desenvolvimento de defesas que possam mitigar essas vulnerabilidades, garantindo a segurança e a operacionalidade das embarcações em ambientes cada vez mais complexos.

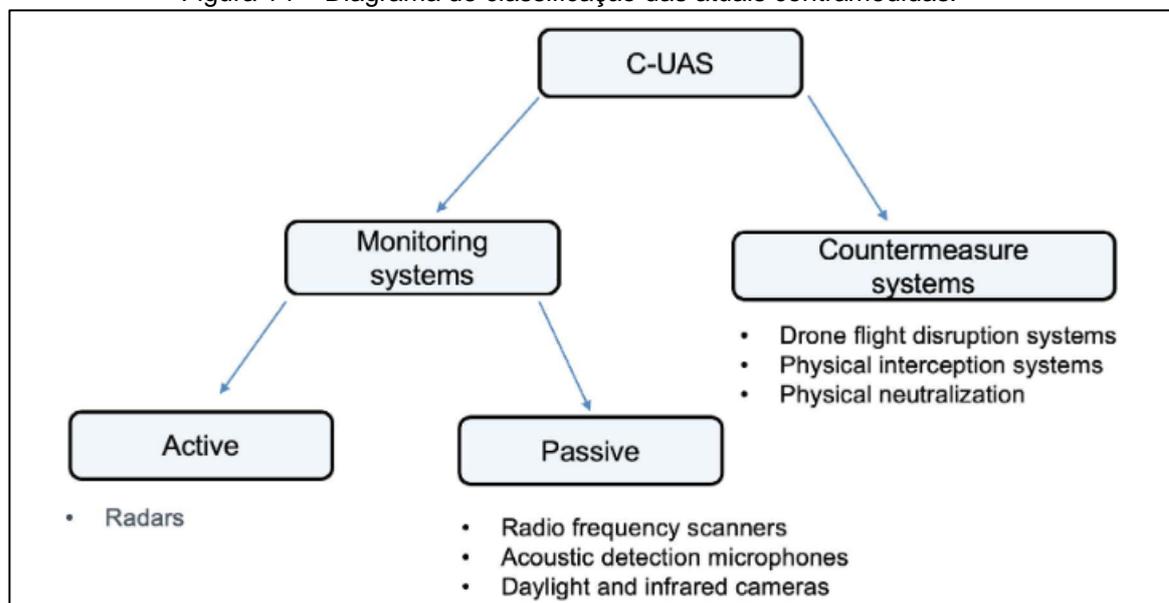
5 RPAS CONTRAMEDIDAS – C-UAS

Os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) e aeronaves autônomas representam avanços tecnológicos significativos no campo militar, oferecendo capacidades de vigilância, reconhecimento e ataque com precisão e menor risco humano. No entanto, esses sistemas também introduzem novos desafios em termos de segurança e defesa, exigindo o desenvolvimento de contramedidas eficazes para neutralizar ou mitigar suas operações pelo inimigo.

Atualmente, os sistemas contra RPAS (*Counter – Unmanned Aerial System – C-UAS*) podem ser classificados em duas categorias: sistemas de monitoramento do espaço aéreo e sistemas de contramedidas. (DOBIJA,2023).

Dobija (2023) também descreve que o funcionamento dos sistemas C-UAS abrange diversas atividades, como a detecção, a classificação (ou identificação) de objetos, o rastreamento, além do alerta e da transmissão de informações para os dispositivos encarregados de neutralizá-los. Conforme a categoria do objeto, essas funções podem ser executadas utilizando diferentes sistemas, sensores, técnicas de detecção e métodos de engajamento. A figura 14 demonstra a divisão dos C-UAS e apresenta alguns sensores e métodos utilizados para detectar, classificar, rastrear etc.

Figura 14 – Diagrama de classificação das atuais contramedidas.



Fonte: DOBIJA, 2023.

Vashisht (2021), contudo, enfatiza que nenhum dos métodos acima, por si só, pode detectar um drone de maneira confiável. Um sistema eficaz de detecção de drones precisa ser projetado com base no alcance de cobertura, ângulo e no ambiente ao redor. Uma matriz múltipla de sensores com uma área de cobertura sobreposta em uma arquitetura em camadas é a maneira mais eficaz de detectar drones. Devido à rápida evolução das tecnologias de RPAS, a maioria das agências militares agora está adotando essa abordagem de contramedidas em camadas, que oferece maiores taxas de detecção em comparação com os sistemas tradicionais.

As figuras 15 e 16 descrevem, respectivamente, como os sensores dos sistemas de contramedidas realizam o monitoramento do espaço aéreo e como as contramedidas empregadas atuam nos UAS para que a seja obtido a sua interdição.

Observando as tabelas de sensores e armamentos, é possível avaliar que o emprego da tática de enxame será amplificado se os ataques forem executados de modo simultâneo e multidirecional, ou seja, no espaço geométrico correspondente a uma semiesfera estando o navio em seu centro (volume de uma semiesfera). Como a quantidade de sensores e armamentos são limitados e esses mesmos sensores possuem limitações de número de alvos para engajamento simultâneo, é possível afirmar que sendo aplicada a tática de ataque por enxame de múltiplas direções, simultaneamente, que haverá um sobrecarregamento das capacidades dos sensores e armamentos C-UAS e o navio ficará exposto em algum momento do combate. Uma contraposição capaz de sobrepujar essa ameaça é o emprego de navios em grupos, quando se incrementa a quantidade de sensores e armamentos e munição, facilitando a defesa em camadas. O emprego de meios navais em grupos já é parte da doutrina das Marinha do Brasil.

Figura 15 – Dispositivos para detecção, acompanhamento e identificação.

<u>Detection, Tracking and Identification</u>	
Radar	Detects the presence of small unmanned aircraft by their radar signature, which is generated when the aircraft encounters radio frequency pulses emitted by the detection element. These systems often employ algorithms to distinguish between drones and other small, low-flying objects, such as birds.
Radio-frequency (RF)	Detects, locates, and in some cases identifies nearby drones by scanning for the frequencies on which most drones are known to operate.
Electro-optical (EO)	Identifies and tracks drones based on their visual signature.
Infrared (IR)	Identifies and tracks drones based on their heat signature.
Acoustic	Detects drones by recognizing the unique sounds produced by their motors. Acoustic systems rely on a library of sounds produced by known drones, which are then matched to sounds detected in the operating environment.
Combined Sensors	Many systems integrate a variety of different sensor types in order to provide a more robust detection, tracking, and identification capability.

Fonte: Holland, 2019

Figura 16- Contramedidas RPAS.

<u>Interdiction</u>	
RF Jamming	Disrupts the radio frequency link between the drone and its operator by generating large volumes of RF interference. Once the RF link, which can include WiFi links, is severed, a drone will usually either descend to the ground or initiate a “return to home” maneuver.
GNSS Jamming	Disrupts the drone’s satellite link, such as GPS or GLONASS, which is used for navigation. Drones that lose their satellite link will usually hover in place, land, or return to home.
Spoofing	Allows one to take control of or misdirect the targeted drone by feeding it a spurious communications or navigation link. (For our purposes, we include within this category a range of measures such as cyber attacks, protocol manipulation, and RF/GNSS Deception).
Dazzling	Employs a high-intensity light beam or laser to “blind” the camera on a drone.
Laser	Destroys vital segments of the drone’s airframe using directed energy, causing it to crash to the ground.
High Power Microwave	Directs pulses of high intensity microwave energy at the drone, disabling the aircraft’s electronic systems.
Nets	Designed to entangle the targeted drone and/or its rotors.
Projectile	Employs regular or custom-designed ammunition to destroy incoming unmanned aircraft.
Collision Drone	A drone designed to collide with the adversary drone.
Combined Interdiction Elements	A number of C-UAS systems also employ a combination of interdiction elements to increase the likelihood of a successful interdiction. For example, many jamming systems have both RF jamming and GNSS jamming capabilities in the same package. Other systems might employ an electronic system as a first line of defense and a kinetic system as a backup measure.

Fonte: Holland, 2019.

5.1 IDENTIFICAÇÃO E RASTREAMENTO

Uma das contramedidas mais críticas contra RPAS e aeronaves autônomas é a capacidade de identificá-los e rastreá-los de forma eficaz. Tecnologias como radares, sistemas de infravermelho e dispositivos de radiofrequência são amplamente utilizados para detectar drones, especialmente aqueles que operam em baixas altitudes e velocidades reduzidas, tornando-os difíceis de detectar pelos radares tradicionais. Além disso, sistemas de fusão de dados que combinam informações de múltiplos sensores podem melhorar a precisão na identificação de aeronaves não tripuladas, permitindo respostas mais rápidas e direcionadas (SOUZA, 2021).

5.2 BLOQUEIO DE COMUNICAÇÃO E INTERFERÊNCIA DE SINAIS

Outra contramedida eficaz é o bloqueio ou interferência de sinais de controle e navegação. Muitos drones dependem de sinais GPS para navegação e de links de comunicação para receber comandos remotos. Interferir nesses sinais pode desorientar ou mesmo desativar completamente os RPAS. Tecnologias de *jamming* e *spoofing* são particularmente úteis, pois podem induzir o drone a seguir coordenadas erradas ou perder conexão com seu operador, forçando-o a retornar à base ou a cair (CLARK; SLOMAN, 2017).

5.3 INTERCEPTAÇÃO FÍSICA

Além das contramedidas eletrônicas, a interceptação física também desempenha um papel crucial. Métodos como o uso de drones interceptadores, redes lançadas de veículos terrestres ou aéreos, e sistemas a laser têm sido desenvolvidos para capturar ou destruir drones em voo. Drones interceptadores, em particular, oferecem uma abordagem flexível e eficaz, pois podem seguir e neutralizar a ameaça sem causar danos colaterais significativos. Já os sistemas a laser oferecem precisão ao eliminar a ameaça sem depender de munições convencionais, embora sua eficácia possa ser limitada por condições atmosféricas adversas (GAT; JONES, 2021). A figura 17 representa um exemplo desse tipo de interceptação.

Figura 17 – RPAS realizando a captura por rede de outro RPAS.



Fonte: Holland Michel, 2019.

5.4 DEFESAS BASEADAS EM ENERGIA DIRETA

Defesas baseadas em energia direta, como armas de micro-ondas de alta potência, estão emergindo como uma solução promissora contra enxames de drones. Esses sistemas podem desativar múltiplos RPAS simultaneamente, causando falhas em seus circuitos eletrônicos sem necessidade de munições tradicionais. As HPM são especialmente valiosas em cenários onde há um grande número de drones atacando simultaneamente, uma estratégia cada vez mais explorada em conflitos modernos (DOBIJA, 2023). Apesar desse tipo de armamento ser promissor contra o uso tático de enxames de drones, atualmente existem armas de micro-ondas de alta potência (HPM) em operação ou em fase de testes avançados apenas por algumas Forças Armadas ao redor do mundo. Um exemplo é o sistema THOR (*Tactical High-Power Operational Responder*), desenvolvido pela Força Aérea dos Estados Unidos. O sistema foi projetado para combater enxames de drones, desativando-os através da emissão de micro-ondas que danificam seus circuitos eletrônicos. Segundo o Air

Force Research Laboratory (2023), o sistema THOR foi testado com sucesso com sucesso em 2023, derrubando múltiplos drones simultaneamente. A figura 18 apresenta uma imagem do sistema. Além disso, o Exército dos EUA recebeu em 2024 os primeiros sistemas HPM conhecidos como Leônidas, que fazem parte do programa *Indirect Fire Protection Capability – High-Power Microwave* (IFPC-HPM). A figura 19 apresenta o sistema Leônidas. Esses sistemas foram desenvolvidos para proteger contra ameaças de drones e outros sistemas aéreos não tripulados, marcando uma etapa importante na integração dessas tecnologias em operações militares regulares. Esses exemplos demonstram que as armas HPM estão em um estágio de desenvolvimento avançado e algumas já estão sendo implementadas ou testadas operacionalmente pelas Forças Armadas dos EUA. Além das forças terrestres e aéreas, a Marinha dos Estados Unidos (*U.S. Navy*) também é uma das principais forças navais explorando e desenvolvendo tecnologias de micro-ondas de alta potência (HPM) para a proteção de seus navios de superfície. A *U.S. Navy* está testando sistemas HPM como parte do programa *Advanced Naval Technology Exercise* (ANTX) e planeja implementar protótipos como o sistema METEOR em seus navios até 2026. Esses sistemas são projetados para enfrentar ameaças como drones e mísseis antinavio, utilizando energia direcionada para desativar eletrônicos em veículos não tripulados e mísseis. Além da *U.S. Navy*, outras marinhas, como a Marinha Real Britânica e a Marinha Chinesa, estão investindo em pesquisas e desenvolvimentos semelhantes. A tendência global indica um interesse crescente em tecnologias de HPM como parte integrante das defesas navais de próxima geração, com foco em neutralizar ameaças assimétricas e tecnológicas emergentes no mar. A figura 19 representa um armamento baseado em energia direta que utiliza o LASER para se contrapor as ameaças dos drones e mísseis antinavio. A figura 20 apresenta um navio realizando tiro com arma de energia direta. De acordo com a imagem, ainda que não haja qualquer informação que possa confirmar ou negar a frase a seguir, aparentemente o alcance desse armamento não é muito longo, e provavelmente seu uso, considerando uma defesa em camada, deva fazer parte das últimas camadas.

Figura 18 – Sistema THOR do exército dos EUA.



Fonte: Internet - Disponível em: <https://americanmilitarynews.com/wp-content/uploads/210211-F-AH330-1025-scaled.jpg>. Acesso em: 05jun2024.

Figura 19 – Sistema HPM Leónidas



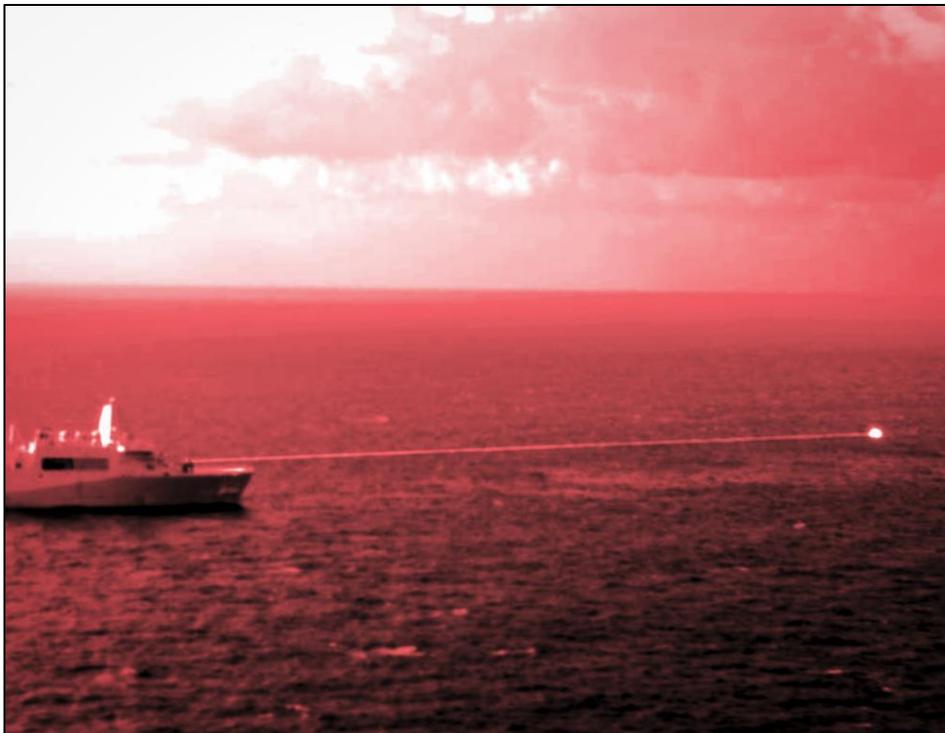
Fonte: Internet – Disponível em: [Así funciona Leónidas, el arma microondas de EE.UU para inutilizar drones de guerra \(computerhoy.com\)](https://www.computerhoy.com). Acesso em 05jun2024

Figura 20 – Arma de Energia Direcional (DEW – Directional Energy Weapon) embarcada.



Fonte: Internet – Disponível em: [US Navy Test Fired New 30 Kilowatt Laser Weapon System - RumbleRum](#). Acesso em: 05jun2024.

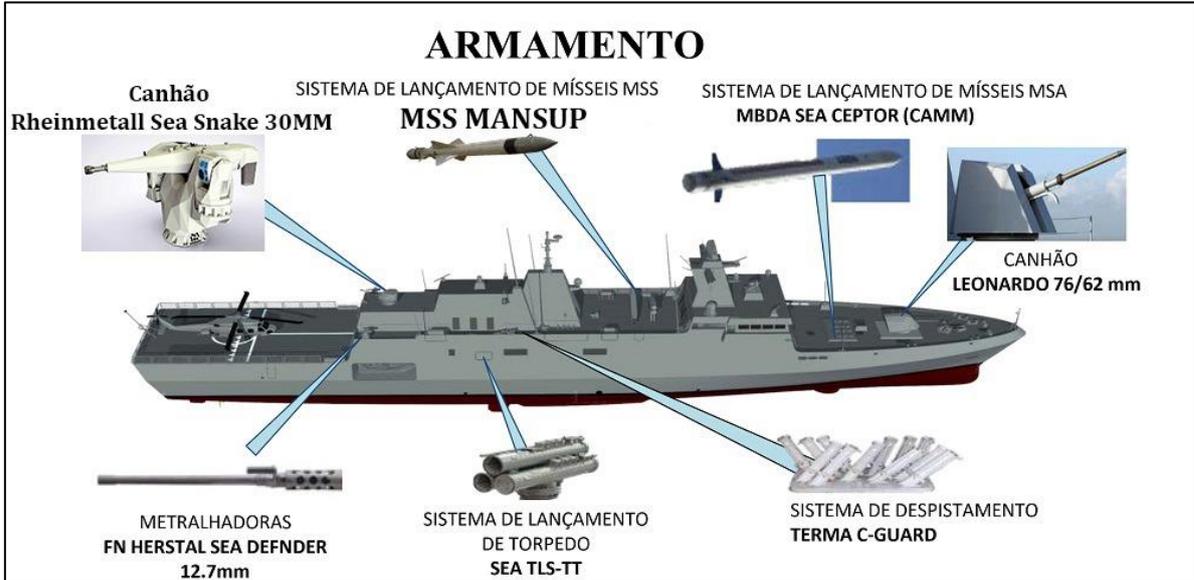
Figura 21 - USS Portland atirando com uma arma de energia direta.



Fonte: Internet – Disponível em: [US Navy to Test Onboard Microwave Weapon in 2026 \(thedefensepost.com\)](#). Acesso em: 05jun2024.

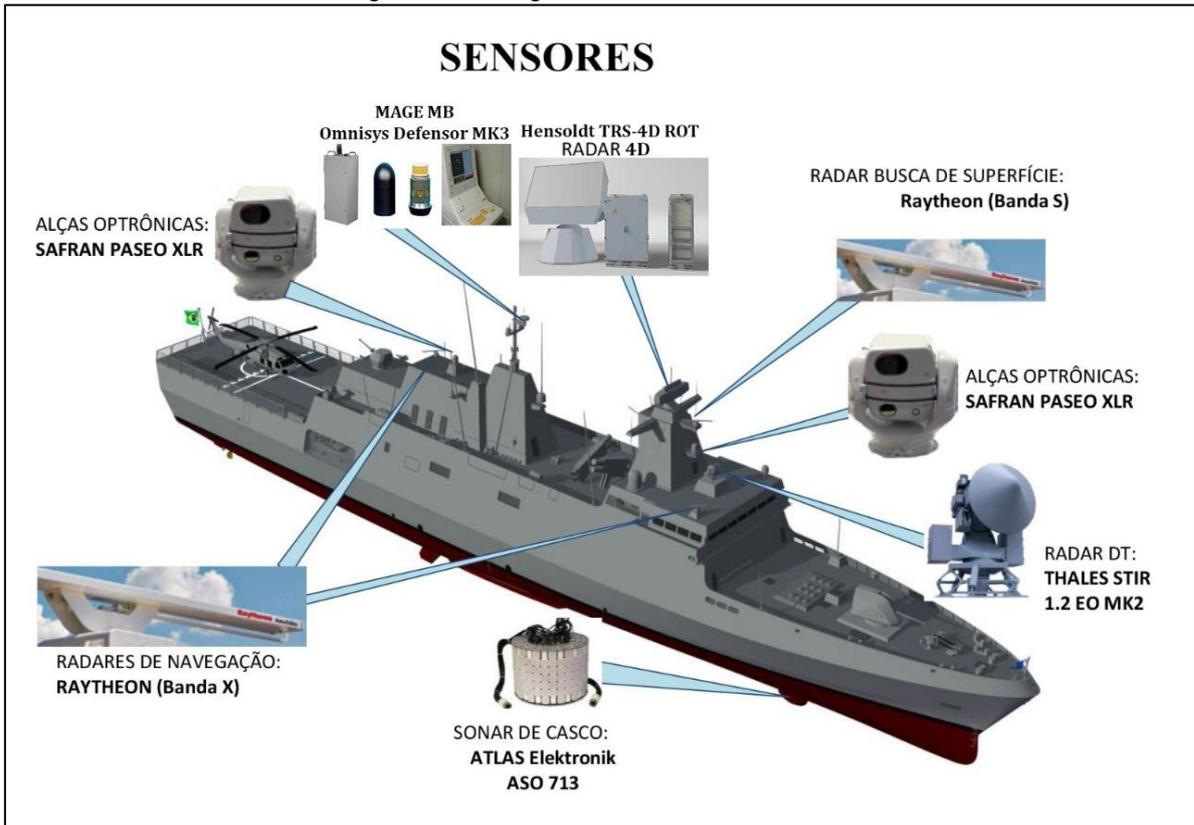
5.5 CONSIDERAÇÕES FUTURAS E DESAFIOS

Figura 22 – Fragata Tamandaré – Armamento.



Fonte: <https://tecnodefesa.com.br/fragatas-classe-tamandare-estao-em-fase-avancada-de-configuracao/>. Acesso em 16 jul. 2024

Figura 23 – Fragata Tamandaré – Sensores.



Fonte: <https://tecnodefesa.com.br/fragatas-classe-tamandare-estao-em-fase-avancada-de-configuracao/>. Acesso em 16 jul. 2024.

A modernização da frota da Marinha do Brasil, com a introdução das novas Fragatas Classe Tamandaré, representa um avanço significativo em termos de capacidade operacional e tecnológica. Este esforço de modernização, liderado pela Diretoria-Geral do Material da Marinha (DGMM), busca atualizar os meios de superfície da Marinha com sensores e armamentos de última geração, a fim de melhorar a capacidade de resposta e defesa da Força Naval (TECNODEFESA, 2021). No entanto, ao avaliar a capacidade dessas novas fragatas para enfrentar ameaças emergentes, como os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), é crucial analisar os avanços tecnológicos e as limitações existentes.

As Fragatas Classe Tamandaré serão equipadas com um sofisticado conjunto de sensores e armamentos. O sistema de sensores incluirá o radar Hensoldt TRS-4D ROT, que oferece uma visão tridimensional do espaço aéreo (HENSOLDT, 2024), e o radar Thales STIR 1.2, essencial para a precisão dos armamentos. Complementando esses sistemas estão os radares de navegação e busca de superfície da Raytheon, o sonar Atlas Elektronik ASO 713 e o sistema de guerra eletrônica MAGE MB/Omnisys Defensor MK3. As alças optrônicas SAFRAN PASEO XLR proporcionarão uma camada adicional de observação e aquisição de alvos (SAFRAN, 2024).

No que diz respeito aos armamentos, as fragatas contarão com uma combinação de sistemas defensivos e ofensivos. Os mísseis MBDA Sea Ceptor assegurarão a defesa aérea (MBDA, 2024), enquanto os mísseis MANSUP oferecerão capacidade de ataque à superfície. Os canhões Leonardo 76/62 MM SRGM e Sea Snake 30mm proporcionarão opções de engajamento em diversas escalas (RHEINMETALL, 2024). Além disso, o sistema de lançamento de torpedo SEA TLS-TT e o sistema de despistamento Terma C-Guard completarão o arsenal, garantindo uma defesa abrangente contra ameaças submarinas e mísseis antinavio. Todo o sistema será coordenado pelo sistema de combate Atlas-ANCS e pelo sistema integrado de gerenciamento da plataforma L3 Mapps, assegurando uma integração eficiente dos sistemas a bordo. De acordo com a Marinha do Brasil, a combinação de sensores avançados, armamentos diversificados e sistemas de gerenciamento de última geração posiciona as fragatas da Classe Tamandaré como plataformas de combate capazes e versáteis, prontas para enfrentar os desafios de segurança marítima contemporâneos (BRASIL, 2024).

Em relação à capacidade de enfrentar ameaças de RPAS, as informações disponíveis nos sites dos fabricantes sobre os sensores e armamentos, como o radar Hensoldt TRS-4D ROT, o radar STIR 1.2, a alça optrônica PASEO XLR, e os armamentos como o canhão Rheinmetall Sea Snake 30mm e o míssil MBDA Sea Ceptor, não fornecem uma garantia clara de que esses equipamentos serão eficazes na detecção, reconhecimento, acompanhamento e neutralização de RPAS de diversos tamanhos e características. Embora esses equipamentos sejam utilizados por marinhas em todo o mundo, a pesquisa indica que a eficácia desses sistemas contra RPAS ainda necessita de uma avaliação mais detalhada.

As figuras 22 e 23 ilustram os sensores e armamentos planejados para o sistema de combate das novas fragatas. Considerando que essas embarcações representarão os meios de superfície mais modernos da Marinha do Brasil, é possível inferir que os meios de superfície atuais da MB possuem limitações significativas no enfrentamento de ataques de RPAS. Portanto, embora as Fragatas Classe Tamandaré ofereçam um avanço substancial em tecnologia e capacidade de combate, a questão da defesa eficaz contra RPAS ainda representa um desafio que precisa ser abordado com mais profundidade.

Apesar do desenvolvimento de várias contramedidas eficazes, os RPAS e as aeronaves autônomas continuam a evoluir, integrando tecnologias como inteligência artificial e sistemas de navegação redundantes, que aumentam sua resistência a interferências e ataques físicos. Portanto, a corrida entre a evolução dos drones e o desenvolvimento de contramedidas continua exigindo inovação constante e adaptações rápidas por parte das forças armadas e dos desenvolvedores de sistemas de defesa.

Os navios de superfície enfrentam desafios únicos ao lidar com ataques de RPAS, exigindo uma combinação de estratégias de prevenção, detecção e neutralização. A integração de tecnologias avançadas e técnicas adaptativas é crucial para proteger as embarcações contra ameaças aéreas não tripuladas, garantindo a segurança e a eficácia das operações navais.

Dessa forma, a proteção contra RPAS e aeronaves autônomas exige uma abordagem diversificada, combinando tecnologias de detecção avançada, interferência eletrônica, interceptação física e sistemas de energia dirigida. À medida que essas ameaças evoluem, a eficácia das contramedidas dependerá da capacidade

de inovar e integrar novas tecnologias em tempo real, na busca de se manter sempre a superioridade no campo de batalha moderno.

6 A MARINHA DO BRASIL E SUA DOCTRINA

Preparar e empregar o Poder Naval, a fim de contribuir para a Defesa da Pátria; para a garantia dos poderes constitucionais e, por iniciativa de qualquer destes, da lei e da ordem; para o cumprimento das atribuições subsidiárias previstas em Lei; e para o apoio à Política Externa (BRASIL,2020).

A missão da Marinha descreve em sua primeira frase o que a administração naval deve buscar para que a Força esteja apta a cumprir suas tarefas primárias e subsidiárias. A manutenção de uma Força preparada, ou seja, moderna, aprestada e motivada, composta por meios, pessoal e material compatíveis com os desafios identificados ao longo do seu processo de planejamento estratégico.

Segundo o Plano Estratégico da Marinha 2040 (PEM 2040), a Visão de futuro da MB descreve:

A Marinha do Brasil será uma Força moderna, aprestada e motivada, com alto grau de independência tecnológica, de dimensão compatível com a estatura político-estratégica do Brasil no cenário internacional, capaz de contribuir para a defesa da Pátria e salvaguarda dos interesses nacionais, no mar e em águas interiores, em sintonia com os anseios da sociedade (BRASIL, 2020).

De acordo o PEM 2040, a Marinha será moderna ao dispor de meios e sistemas tecnologicamente atualizados para a condução das tarefas do Poder Naval nos ambientes da guerra naval (submarino, superfície, aéreo e anfíbio) e no espaço cibernético. Estará aprestada, ao atingir alto nível de preparo e prontidão, no tocante à doutrina, organização, pessoal, ensino, material, adestramento, infraestrutura e interoperabilidade, contando com meios em condição de pronto emprego e contribuindo para a capacidade de pronta resposta do País

Ainda de acordo o plano estratégico da MB para o período de 2020 a 2040, a missão e a condição desejada descritas em sua visão de futuro serão alcançadas por meio do atingimento de Objetivos Navais (OBNAV), que ocorrem por intermédio das correspondentes Estratégias Navais (EN), que são efetivamente concretizadas pela execução das Ações Estratégicas Navais (AEN) afins. No que diz respeito aos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas, o OBNAV 6, que trata da modernização da Força Naval, deve ser atingido quando do cumprimento das EN 6.2

(Construção do Núcleo do Poder Naval) por meio da execução da AEN 6 (Força Naval) e EN 6.3 (Poder Naval do Futuro) por meio da AEN 8 (Força Naval).

Segundo a Estratégia de Defesa Marítima (EDM), a MB deve buscar o incremento do Poder de Combate dando continuidade aos processos de recuperação das capacidades antissuperfície, antissubmarino, de Defesa Antiaérea e ¹IVR dos meios navais, buscando meios com requisitos compatíveis com eventuais ameaças vislumbradas.

A EDM 2023 estabelece em seu capítulo 3 o dimensionamento da Força Naval estruturado segundo o conceito de ²Elemento de Força (ElmF). Descreve também que os ElmF ³C5IVR e Intervenção Marítima devem possuir aeronaves remotamente pilotadas em sua composição.

De acordo com os documentos apresentados, observa-se que a administração naval está exatamente sobre o caminho traçado pelas estratégias e que seus esforços para aquisição e desenvolvimento de meios e sistemas concorrem para a manutenção de uma Força Naval adequada ao cumprimento da sua missão.

6.1 A DOCTRINA MILITAR NAVAL

A Doutrina Militar Naval desempenha um papel fundamental na estruturação das operações e no direcionamento do Poder Naval brasileiro, estabelecendo os princípios, conceitos e métodos de emprego tanto em situações de combate quanto em outras atividades que não envolvem diretamente a defesa. De acordo com a Marinha do Brasil (MB), a doutrina orienta o planejamento, o preparo e a aplicação do Poder Naval, oferecendo uma base sólida e unificada para a condução das operações, além de influenciar diretamente a configuração da Força Naval, desde o material e pessoal até o desenvolvimento tecnológico (BRASIL, 2017; BRASIL, 2023b).

¹ IVR – Acrônimo para Inteligência, Vigilância e Reconhecimento.

² ElmF - conjunto de meios (navios, aeronaves, carros de combate etc.) e sistemas, doutrinariamente organizados que, por meio da realização de tarefas, atingem um efeito em determinado tempo e espaço. – Fonte: FDM – Fundamentos Doutrinários da Marinha.

³C5IVR – Comando, Controle, Comunicação, Computador, Inteligência, Vigilância e Reconhecimento

O Poder Naval, como uma expressão do Poder Nacional, é empregado de diversas maneiras, desde operações de guerra naval até atividades de uso limitado da força, como patrulhas e operações de resgate. Essa versatilidade é essencial para que a Marinha do Brasil cumpra seu papel na defesa da pátria e na proteção das Áreas de Jurisdição Brasileira (AJB). A necessidade de modernização e equilíbrio nos meios utilizados pelo Poder Naval é evidente, uma vez que ele deve estar preparado para enfrentar uma vasta gama de situações, desde missões humanitárias até o uso máximo da força em combate (BRASIL, 2017).

No contexto da guerra naval, a doutrina militar destaca operações como as de esclarecimento, que envolvem o monitoramento e a vigilância de áreas estratégicas. O uso de sistemas de sensoriamento remoto, como satélites e Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), é enfatizado como uma ferramenta indispensável para garantir a segurança em grandes extensões marítimas. Além disso, a doutrina sugere que meios esclarecedores devem ser capazes de conduzir ações de guerra eletrônica, garantindo o sigilo das operações e prevenindo ações inimigas que busquem obter vantagem informacional ou realizar ataques subsequentes (BRASIL, 2017).

Dado o crescente uso de RPAS (Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas) por forças adversárias, torna-se crucial analisar a capacidade atual dos meios da Marinha do Brasil de se contrapor a essas tecnologias. Nesse sentido, a doutrina aplicada às operações de guerra naval, em especial as relacionadas à defesa aeroespacial e à guerra eletrônica, surge como uma referência estratégica para garantir a superioridade operacional em um cenário de combate. A guerra naval, conforme descrita pela Doutrina Militar Naval, abrange uma variedade de operações, incluindo ataques, bloqueios, operações anfíbias e especiais, cada uma com técnicas, táticas e procedimentos específicos que asseguram a eficácia da atuação do Poder Naval (BRASIL, 2017).

Portanto, a importância de uma doutrina coesa e bem estruturada é inegável para a Marinha do Brasil, que deve estar preparada para responder tanto a ameaças convencionais quanto às tecnologias emergentes, como os RPAS. A integração de princípios doutrinários com a modernização tecnológica permitirá à Marinha garantir a defesa eficaz do território nacional e a proteção das rotas marítimas, assegurando a soberania do Brasil em suas águas jurisdicionais.

A defesa aeroespacial desempenha um papel crucial na proteção de forças navais e de fuzileiros navais contra ameaças aéreas inimigas. Essa defesa pode ser dividida em dois tipos: ativa e passiva, ambas essenciais para garantir a eficácia e a segurança das operações navais em ambientes hostis. A articulação entre esses dois componentes é fundamental para enfrentar os desafios impostos por ataques aéreos cada vez mais sofisticados. (BRASIL, 2017).

A defesa aeroespacial ativa envolve uma resposta direta às ameaças, utilizando interceptadores, mísseis e artilharia, além de Medidas de Ataque Eletrônico (MAE). Essas ferramentas são indispensáveis para a neutralização de vetores inimigos enquanto ainda estão em voo, buscando sempre destruir a ameaça à maior distância possível. A capacidade de agir preventivamente, ou em profundidade, garante que os vetores inimigos sejam enfrentados antes de alcançarem a Força Naval, oferecendo uma linha de defesa eficaz. O uso de aeronaves de interceptação e de alarme aéreo antecipado reforça essa abordagem, permitindo que a força reaja prontamente e com precisão. (BRASIL, 2017)

Por outro lado, a defesa aeroespacial passiva complementa a ativa, oferecendo medidas estratégicas que visam reduzir os impactos de um ataque sem a utilização de armas destrutivas. Técnicas como camuflagem, dispersão e manobras evasivas são essenciais para aumentar as chances de sobrevivência e reduzir os danos. Essas medidas são ainda fortalecidas pelo uso de sistemas de guerra eletrônica, como as Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE) e as Medidas de Proteção Eletrônica (MPE), que auxiliam na proteção dos sistemas navais contra interferências eletrônicas e ataques cibernéticos. (BRASIL, 2017).

Um aspecto fundamental da defesa aeroespacial de uma Força Naval é a extensão da área de defesa, que deve ser tão ampla quanto o alcance dos sensores e armamentos permita. Essa área de defesa é vital para que a força possa realizar ações eficazes contra as ameaças aéreas. Quanto maior a área de vigilância e detecção coberta pelos sensores, maior será a capacidade de resposta antecipada e, conseqüentemente, a eficácia da defesa. Isso exige, por vezes, o emprego de

⁴piquetes e aeronaves especializadas em detectar antecipadamente as movimentações aéreas inimigas, possibilitando uma resposta rápida e coordenada. (BRASIL, 2017)

É fundamental destacar que a eficácia dessa defesa depende da integração entre diversos sistemas de armas e estratégias. Não se trata apenas de utilizar mísseis ou aeronaves isoladamente, mas sim de criar uma resposta em camadas, onde diferentes tipos de armamentos e táticas podem ser empregados à medida que o inimigo se aproxima. Essa abordagem escalonada garante que a defesa seja robusta e que, mesmo em caso de falha de um sistema, outros estejam disponíveis para neutralizar a ameaça. (BRASIL, 2017).

Portanto, a defesa aeroespacial de uma força naval é uma combinação estratégica de medidas ativas e passivas, que, quando integradas, oferecem uma proteção abrangente contra as ameaças aéreas. O sucesso dessa defesa está diretamente relacionado à capacidade de detecção antecipada, à extensão da área de defesa e ao uso coordenado de sistemas de armas. Em um cenário de guerra moderno, onde as ameaças aéreas são cada vez mais sofisticadas, uma defesa aeroespacial bem estruturada é essencial para a sobrevivência e a eficácia das operações navais.

A guerra eletrônica é um componente estratégico essencial para o sucesso das operações navais modernas, pois permite que as forças militares explorem o espectro eletromagnético para obter vantagem sobre o inimigo. As ações de guerra eletrônica, tanto ativas quanto passivas, têm como objetivo não apenas explorar as emissões do adversário, mas também proteger os próprios sistemas e negar ao oponente o uso eficaz de seus recursos. Para isso, o Poder Naval deve desenvolver uma Capacidade de Guerra Eletrônica (CGE) abrangente e bem estruturada, que integra tanto as Atividades de Guerra Eletrônica (AGE) quanto as Medidas de Guerra Eletrônica (MGE).

⁴ Piquete – navio que se destaca da Força Naval e avança para incrementar a capacidade de alarme antecipado da força.

As Atividades de Guerra Eletrônica (AGE) são cruciais para o planejamento estratégico e operacional, envolvendo atividades de reconhecimento e preparo. O Reconhecimento Eletrônico (RETRON), por exemplo, coleta informações sobre as capacidades eletrônicas do adversário, utilizando Inteligência de Comunicações (INTCOM), Inteligência Eletrônica (INTELT) e Inteligência de Imagens (INTIM). Essas atividades permitem uma análise detalhada do inimigo, fornecendo subsídios para a defesa e reformulação das próprias capacidades. Além disso, o Aprestamento Eletrônico (APEL), que abrange o preparo de recursos e capacitação, garante a prontidão e a manutenção da CGE, tornando possível uma resposta eficaz às ameaças.

Por outro lado, as Medidas de Guerra Eletrônica (MGE), de natureza tática, visam garantir o controle do espectro eletromagnético durante as operações. As Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE) monitoram e analisam as emissões adversárias, enquanto as Medidas de Ataque Eletrônico (MAE) buscam degradar ou destruir a capacidade de combate do inimigo no espectro eletromagnético. Já as Medidas de Proteção Eletrônica (MPE) são fundamentais para assegurar que os próprios sistemas não sejam comprometidos por ações de guerra eletrônica, garantindo assim a eficácia das operações navais.

Nesse contexto, a integração entre AGE e MGE é essencial para que o Poder Naval alcance superioridade no campo eletromagnético. A guerra eletrônica, quando bem planejada e executada, permite não apenas a defesa dos sistemas próprios, mas também a neutralização das capacidades adversárias, assegurando que as operações navais sejam conduzidas com eficiência e segurança. Assim, o desenvolvimento contínuo de tecnologias e estratégias de guerra eletrônica é vital para manter a vantagem em um cenário de combate cada vez mais dependente do espectro eletromagnético.

Face ao exposto, é possível afirmar que a doutrina desenvolvida pela Marinha do Brasil para a defesa aeroespacial da Força Naval está atualizada e perfeitamente condizente com as ameaças atuais. Contudo, quando confrontada com o emprego tático de enxame de drones é possível que haja a necessidade de avaliação das ações de defesa aeroespacial. Por exemplo, algumas Forças Armadas já consideram o emprego de RPAS contra RPAS como medida de defesa aeroespacial. Outros armamentos que fazem uso de alguma forma de energia como método de ataque

também estão se tornando realidade como contramedidas aos mísseis antinavio e enxame de drones. O emprego de ataques em enxame de drones já é uma realidade e uma das contramedidas aplicáveis é fazer uso dos armamentos que estiverem disponíveis, a fim de reduzir o risco de saturamento da defesa aeroespacial da Força Naval.

7. CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que a ascensão dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) representa uma transformação significativa na dinâmica da guerra moderna, particularmente nas operações navais. A evolução tecnológica dos RPAS, impulsionada pela autonomia, precisão, e capacidades avançadas de ataque e vigilância, impõe desafios que exigem uma resposta robusta e contínua das forças militares. No contexto brasileiro, a Marinha do Brasil (MB) tem reconhecido a importância dessa tecnologia e busca, de forma progressiva, se adaptar às novas ameaças impostas por RPAS, tanto em missões defensivas quanto ofensivas.

A pesquisa evidenciou que, embora a MB tenha avançado com a criação do Esquadrão de Aeronaves Remotamente Pilotadas de Esclarecimento (EsqdQE-1) e a aquisição de sistemas RPAS para operações de vigilância e reconhecimento, ainda há uma necessidade crítica de modernização. A MB precisa desenvolver contramedidas mais sofisticadas e específicas para se contrapor a RPAS de diferentes tamanhos, capacidades e propósitos. A guerra na Ucrânia e outros conflitos contemporâneos demonstraram o potencial destrutivo de drones, não apenas em operações convencionais, mas também em ataques improvisados, utilizando RPAS comerciais modificados. Isso evidencia a necessidade de a MB desenvolver táticas e sistemas de defesa mais abrangentes que integrem capacidades antidrone, guerra eletrônica e defesa aeroespacial.

Outro ponto crucial abordado no estudo é a integração de RPAS com outras plataformas navais e aéreas, potencializando operações conjuntas que maximizam a eficácia de missões de vigilância, designação de alvos e supressão de defesas aéreas. No entanto, a dependência de RPAS expõe vulnerabilidades, especialmente relacionadas a interferências eletrônicas, *hacking* e *spoofing*, que podem comprometer suas missões. Portanto, é essencial que a MB invista não apenas na aquisição de RPAS, mas também no desenvolvimento de doutrinas táticas e na formação especializada de seu pessoal para operar e defender a Força Naval de ataques por drones.

Além disso, o estudo reforça que a aquisição das fragatas Classe Tamandaré, com sistemas de sensores avançados e armamentos de última geração, constitui um

passo importante, mas não suficiente, para garantir a proteção adequada da Força Naval contra as ameaças emergentes de RPAS. A capacidade de detecção, rastreamento e neutralização de RPAS deve ser fortalecida. Mais meios com tecnologias atualizadas, como sistemas de energia direcionada, radares capazes de detectar e acompanhar com precisão essas ameaças, e armamentos antiaéreos dedicados a neutralizar enxames de drones permitirá a condução de uma defesa aeroespacial profunda e em camadas, como descreve a doutrina da MB.

A nível estratégico, o Plano Estratégico da Marinha 2040 (PEM 2040) fornece diretrizes fundamentais para a modernização da Força, destacando a necessidade de desenvolvimento tecnológico autônomo e fortalecimento da doutrina de guerra naval no Brasil. Nesse sentido, o fortalecimento de capacidades de defesa contra RPAS está alinhado aos Objetivos Navais (OBNAV) 6, que tratam da modernização da Força Naval, e às Estratégias Navais 6.2 e 6.3, que estabelecem a construção do núcleo do poder naval e do poder naval do futuro.

Em suma, o estudo conclui que, embora a Marinha do Brasil esteja no caminho certo com os investimentos em RPAS e a modernização de suas plataformas de superfície, ainda há um longo caminho a ser percorrido em termos de defesa eficaz contra as ameaças de RPAS. O cenário da guerra moderna é dinâmico e incerto, e a capacidade de adaptação rápida, bem como o desenvolvimento contínuo de novas tecnologias e do seu emprego no nível tático, será vital para garantir a superioridade operacional da Marinha do Brasil em cenários futuros de conflito. As lições extraídas de conflitos contemporâneos devem servir como guia para orientar as próximas fases de modernização, priorizando o fortalecimento da capacidade de se contrapor a RPAS, tanto no aspecto tecnológico quanto no treinamento e doutrina da Força Naval.

Esta conclusão destaca a importância de um esforço coordenado e abrangente que combine tecnologia, estratégia e formação contínua, garantindo que a Marinha do Brasil esteja preparada para enfrentar as ameaças emergentes no campo da guerra naval moderna, particularmente aquelas trazidas pelos RPAS e suas crescentes capacidades autônomas.

Ainda que a pesquisa tenha se mantido fixa nos sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e autônomas, igualmente importante seria se debruçar no que diz respeito aos drones de superfície. A guerra da Ucrânia demonstrou essa necessidade. Outra importante área a ser explorada é a da guerra eletrônica, o

emprego massivo de RPAS comerciais como armamento por grupos militares e insurgentes corrobora essa importância.

REFERÊNCIA

- AIR FORCE RESEARCH LABORATORY. AFRL conducts swarm technology demonstration. 2023. Disponível em: <https://www.afrl.af.mil/News/Article-Display/Article/3396995/afrl-conducts-swarm-technology-demonstration/>. Acesso em: 13 jul. 2024.
- ALVAREZ, M. Advanced Counter-UAV Technologies. *Aerospace Defense Journal*, 2019. BEN-MOSHE, Y. Countering Drones in Military Operations. *Middle Eastern Security Studies*, 2022.
- BEN-MOSHE, Y. Countering Drones in Military Operations. *Middle Eastern Security Studies*, 2022.
- BRASIL. Marinha do Brasil. Estado-Maior da Armada. *EMA-301: Fundamentos Doutrinários da Marinha (FDM)*. 1. ed. Brasília, DF: Estado-Maior da Armada, 2023b.
- BRASIL. Marinha do Brasil. Estado-Maior da Armada. *Plano Estratégico da Marinha (PEM 2040)*. Brasília, DF: Estado-Maior da Armada, 2020.
- BROWN, K. Civilian Drones in Modern Warfare: Adaptations and Applications. *Defense Technology Review*, 2023.
- CANADA.CA. Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) - Canada.ca. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/department-national-defence/services/procurement/remotely-piloted-aircraft-system.html>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- CARLSON, P. Improvised Weapons and Tactical Adaptations. *Journal of Military Engineering*, 2019a.
- CARLSON, P. Jamming and Spoofing Techniques in Modern Warfare. *Journal of Electronic Warfare*, 2019b.
- CERTRUST. Key Drone Trends in 2023. Disponível em: <https://certrust.eu/en/key-drone-trends-in-2023/>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- CHIARA, C.-SUP - CMG. Aeronaves Remotamente Pilotadas: O Desafio da Capacitação dos Recursos Humanos para o Futuro da Aviação Naval. Disponível em: <https://repositorio.mar.mil.br/bitstream/ripcmb/845866/1/T%C3%8DTULO%20--%20AERONAVES%20REMOTAMENTE%20PILOTADAS%20-%20O%20DESAFIO%20DA%20CAPACITACAO%20DOS%20RECURSOS%20HUMANOS%20PARA%20O%20FUTURO%20DA%20AVIACAO%20NAVAL.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.
- CLARK, O. US Navy to Deploy High-Powered Microwave Weapon System Aboard Vessel in 2026. *Military News*, 3 abr. 2024. Disponível em: <https://military.news/us-navy-to-deploy-high-powered-microwave-weapon-system-aboard-vessel-in-2026/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

CLARK, R.; SLOMAN, P. *Drone Warfare and Defense*. Londres: Palgrave Macmillan, 2017.

CORKE, P. Laser Systems for Counter-UAV Applications. *Defense Technology Review*, 2016.

CORKE, P. *Robotics, Vision and Control: Fundamental Concepts*. Springer, 2016.

DECEA. Voos de RPAS (Drones): Entenda a Nova Legislação do DECEA. Disponível em: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&materia=voos-de-rpas-drones-entenda-a-nova-legislacao-do-decea&p=pg_noticia. Acesso em: 15 jun. 2024.

DOBIJA, K. Countering Unmanned Aerial Systems (UAS) in Military Operations. *Safety & Defense*, v. 9, n. 1, p. 78, 2023. Disponível em: <https://sd-magazine.eu/index.php/sd/article/view/195>. Acesso em: 21 ago. 2024.

DRONEII.COM. The Drone Industry's Journey through 2023. Disponível em: <https://droneii.com/the-drone-industrys-journey-through-2023>. Acesso em: 15 jul. 2024.

ELING, K. et al. Ethical and Operational Challenges in Countering Drones. *International Security Review*, 2019.

FLORES, A. The Evolution of Tactical Drones: From Surveillance to Attack. *Tactical Systems Journal*, 2016.

GAT, A.; JONES, M. *The Future of War: Drones and Beyond*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

GERTLER, J. *U.S. Unmanned Aerial Systems*. Washington, D.C.: Congressional Research Service, 2012.

GONZALEZ, R. et al. Countermeasures Against Unmanned Aerial Systems. *Defense Technology Quarterly*, 2020.

GONZALEZ, R. et al. The Role of UAVs in Counterinsurgency Operations. *Defense Technology Quarterly*, 2020.

HART, S. The Impact of Drones in the Ukraine Conflict. *Eastern European Defense Review*, 2023.

HENSOLDT. TRS-4D Rotator. Hensoldt, [s.d.]. Disponível em: <https://www.hensoldt.net/products/radar-iff-and-datalink/trs-4d-rotator/>. Acesso em: 2 set. 2024.

HOLLAND MICHEL, A. *Counter-drone systems*. 2. ed. Annandale-On-Huston: Center for the Study of the Drone at Bard College, 2019.

HOLMAN, Brett. A primeira bomba aérea: Veneza, 15 de julho de 1849. 2009. Disponível em: A primeira bomba aérea: Veneza, 15 de julho de 1849 - Airminded. Acesso em: 16 abr. 2024.

JANKOWSKI, T. The Proliferation of Militarized Civilian Drones in Ukraine: a lesson from the war for western military staffs. *Network for Strategy Analysis*, 2023. Disponível em: <https://ras-nsa.ca/the-proliferation-of-militarized-civilian-drones-in-ukraine-a-lesson-from-the-war-for-western-military-staffs/>. Acesso em: 5 jun. 2024.

JAPCC. Remotely Piloted Aircraft Systems in Contested Environments. Disponível em: <https://www.japcc.org/white-papers/remotely-piloted-aircraft-systems-in-contested-environments/>. Acesso em: 10 maio 2024.

JONES, M. Adaptation of Commercial Drones for Military Purposes. *Journal of Drone Technology*, 2021. KEANE, J. F.; CARR, S. S. A Brief History of Early Unmanned Aircraft. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, v. 32, n. 3, p. 558-571, 2013.

MARINHA DO BRASIL. *Doutrina Militar Naval (DMN)*. Rio de Janeiro: Estado-Maior da Armada, 2017.

MARINHA DO BRASIL. *Estratégia de Defesa Marítima*. Rio de Janeiro: Estado-Maior da Armada, 2023.

MARINHA DO BRASIL. *Fundamentos Doutrinários da Marinha (FDM)*. 1. ed. Rio de Janeiro: Estado-Maior da Armada, 2023. MARINHA DO BRASIL. *Plano Estratégico da Marinha (PEM 2040)*. Brasília-DF: Estado-Maior da Armada, 2020.

MARINHA DO BRASIL. Programa Classe Tamandaré. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/programa-classe-tamandare>. Acesso em: 05 jul 2024.

MAURER, R. The Evolution of Tactical Drones: Case Studies. *Defense Analysis Quarterly*, 2012.

MBDA. Sea Ceptor. Disponível em: <https://www.mbda-systems.com/product/sea-ceptor/>. Acesso em: 5 jul. 2024.

MORRIS, D. The Use of Civilian Equipment in Modern Conflicts. *International Security Studies*, 2018.

MURPHY, J. et al. MQ-1 Predator and MQ-9 Reaper: UAVs in Modern Warfare. *Defense Technology Quarterly*, 2016.

NEVITT, Brett Holman. The first air bomb: Venice, 15 July 1849. *Airminded*, 22 ago. 2009. Disponível em: https://airminded.org/2009/08/22/the-first-air-bomb-venice-15-july-1849/#identifier_4_2398. Acesso em: 16 abr. 2024.

NUNES, Ana Paula. A utilização de drones armados e o direito internacional humanitário. *Revista Jurídica Luso-Brasileira*, Lisboa, ano 7, n. 6, p. 147-180, 2021.

PLAW, A. et al. *The Drone Debate: A Primer on the U.S. Use of Unmanned Aircraft Outside Conventional Battlefields*. Lanham: Rowman & Littlefield, 2016.

PRUDKIN, G. El periodismo drone. Contextualización histórica y posibles usos periodísticos. *Revista Comunicação & Inovação*, v. 33, p. 7-21, 2016.

RANGEL, S. C. *Drones: a tecnologia disruptiva das aeronaves remotamente pilotadas*. São Paulo: Chiado, 2019.

RHEINMETALL. SeaSnake 30. [S.l.], [2024?]. Disponível em: https://www.rheinmetall.com/Rheinmetall%20Group/Systeme%20und%20Produkte/Systeme%20fuer%20die%20Marine/Waffensysteme%20und%20Munition/RWM_Sea_Snake_30_LREdition2_en.pdf. Acesso em: 20 maio 2024.

RODRIGUEZ, T. Technological Advancements in UAV Systems. *Aerospace Technology Review*, 2015.

SAFRAN. PASEO XLR – Extra long-range naval optronic identification & fire control system. Disponível em: <https://www.safran-group.com/products-services/paseo-xlr-extra-long-range-naval-optronic-identification-fire-control-system>. Acesso em: 5 jul. 2024.

SANFELICE, A. A Utilização de Drones na Guerra entre Rússia e Ucrânia. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/13656/1/-%20Artigo%20Cient%C3%ADfico%20-%20Sanfelice.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2024.

SANFELICE, R. Emprego das aeronaves remotamente pilotadas (ARP) no conflito entre Ucrânia e Rússia. *DefesaNet*, 2023. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/13656/1/-%20Artigo%20Cient%C3%ADfico%20-%20Sanfelice.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SHAW, I. G. R. *Predator Empire: Drone Warfare and Full Spectrum Dominance*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2016.

SINGER, P. W. *Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the 21st Century*. Nova Iorque: Penguin, 2009.

SOUZA, Marcus Paulo Ribeiro de. *O emprego dos sistemas aéreos remotamente pilotados pelas forças armadas americanas nos conflitos do Afeganistão e Iraque*. 2021. Monografia (Especialização) - Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, Rio de Janeiro, 2021.

SPECIAL OPS. HESA Shahed 136: A cheap and deadly Iranian kamikaze drone. 2022 Disponível em: <https://special-ops.org/hesa-shahed-136-kamikaze-drone/>. Acesso em: 20 jul. 2024.

TECNODEFESA. Fragatas Classe Tamandaré estão em fase avançada de configuração. 2021. Disponível em: <https://tecnodefesa.com.br/fragatas-classe-tamandare-estao-em-fase-avancada-de-configuracao/>. Acesso em: 16 jul. 2024.

TECNODEFESA. Brasil inicia a construção das fragatas da Classe Tamandaré. 2022. Disponível em: <https://tecnodefesa.com.br/brasil-inicia-a-construcao-das-fragatas-da-classe-tamandare/>. Acesso em: 5 jul. 2024.

TELEFÓNICA. Advances in Drone Technology and Use Cases. Disponível em: <https://www.telefonica.com/en/communication-room/blog/advances-in-drone-technology-and-use-cases/>. Acesso em: 10 abr. 2024.

UNITED KINGDOM. Department for Transport. Countering drone threats to shipping. *GOV.UK*, 2024. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/countering-drone-threats-to-shipping/countering-drone-threats-to-shipping>. Acesso em: 10 jun 2024.

UNITED STATES. Government Accountability Office. *Directed Energy Weapons: DoD should focus on Transition Planning*. Washington, D.C., 2023. Disponível em: <https://www.gao.gov/assets/gao-23-105868.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2024.

VASHISHT, P. Modern Counter Drone Systems – A Technology Review. Disponível em: <https://www.mistralsolutions.com/wp-content/uploads/2021/07/Modern-Counter-Drone-Systems.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2024.

VISION OF HUMANITY. Drones in conflict: How they have shaped the nature of conflict. 2024. *Vision of Humanity*. Disponível em: <https://www.visionofhumanity.org/how-drones-have-shaped-the-nature-of-conflict/>. Acesso em: 20 jun.2024.

WATTS, A. C.; AMBROSIA, V. G.; HINKLEY, E. A. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: classification and considerations of use. *Remote Sensing*, v. 4, n. 6, p. 1671-1692, 2012.

WATTS, B. D. et al. *The Future of Military Unmanned Aerial Vehicles: Emerging Technologies and Strategic Implications*. Washington, D.C.: Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2012.

WHITTLE, R. *Predator: The Secret Origins of the Drone Revolution*. Nova Iorque: Henry Holt and Company, 2014.

WILSON, R. Risks of Improvised Weaponry in Modern Warfare. *Journal of Security Studies*, 2021.