



ESCOLA DE COMANDO E ESTADO MAIOR DA AERONÁUTICA  
COORDENADORIA ACADÊMICA  
CURSO DE COMANDO E ESTADO MAIOR

**VINICIUS ROCHA PERES**, Ten Cel Av

**Os exames de drones e suas influências nas Ações de Força Aérea**

Rio de Janeiro – RJ

2024

ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA  
COORDENADORIA ACADÊMICA  
CURSO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

VINICIUS **ROCHA PERES**, Ten Cel Av

**Os exames de drones e suas influências nas Ações de Força Aérea**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
como requisito parcial para aprovação no Curso  
de Comando e Estado-Maior.  
Orientador: Rodrigo Octavio Leão Rocha, Cel  
Av R/1.

Rio de Janeiro

2024

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo geral identificar de que maneira o emprego de enxames de drones pode influenciar as Ações de Força Aérea. A pesquisa, de caráter exploratório, utilizou como método a revisão de literatura, baseando-se em artigos, livros e reportagens sobre aplicações e inovações relacionadas aos enxames de drones no cenário internacional de defesa. Adicionalmente, foi realizada pesquisa documental na Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (FAB), a fim de relacionar as possibilidades de emprego de enxames de drones com as ações de força aérea existentes. Os resultados indicam que os enxames de drones podem influenciar significativamente 13 das 55 Ações de Força Aérea da FAB, incluindo Ataque, Reconhecimento Aeroespacial, Supressão de Defesa Antiaérea Inimiga e Vigilância Aérea. Além disso, o estudo identificou o potencial para o emprego de enxames em quatro novas ações ainda não previstas na doutrina: Engodo, Pacote de Enxames, Negação de Área e Transporte Leve. A análise SWOT revelou que os enxames de drones possuem vantagens como baixo custo, autonomia e versatilidade, mas também apresentam vulnerabilidades, como a suscetibilidade a ataques eletrônicos e a limitação de carga útil. Apesar das limitações do estudo, como a falta de dados sobre o uso de enxames em cenários reais de combate, o estudo concluiu que o emprego de enxames de drones pode trazer benefícios relevantes para as Ações de Força Aérea, mas é fundamental considerar suas limitações e seus desafios para um emprego eficiente e seguro.

**Palavras-chave:** enxame de drones; inteligência artificial; ações de força aérea; poder aéreo.

## **ABSTRACT**

*The present work aimed to identify how the use of drone swarms can influence Air Force Actions. The exploratory research employed a literature review method, based on articles, books, and reports on applications and innovations related to drone swarms in the international defense scenario. Additionally, a documentary research was conducted in the Basic Doctrine of the Brazilian Air Force (FAB) to relate the possibilities of employing drone swarms with existing air force actions. The results indicate that drone swarms can significantly influence 13 of the 55 FAB Air Force Actions, including Attack, Aerospace Reconnaissance, Suppression of Enemy Air Defense, and Aerial Surveillance. Furthermore, the study identified the potential for employing swarms in four new actions not yet foreseen in the doctrine: Decoy, Swarm Package, Area Denial, and Light Transport. The SWOT analysis revealed that drone swarms have advantages such as low cost, autonomy and versatility, but also present vulnerabilities, such as susceptibility to electronic attacks and payload limitations. Despite the study's limitations, such as the lack of data on the use of swarms in real combat scenarios, the study concluded that the employment of drone swarms can bring significant benefits to Air Force Actions, but it is essential to consider their limitations and challenges for efficient and safe use.*

**Keywords:** *Drones swarm; Artificial Intelligence; Air Force Actions; Air power.*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	6
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	7
2.1	A TECNOLOGIA NOS CONFLITOS ARMADOS .....	8
2.2	EVOLUÇÃO DOS DRONES .....	8
2.3	DRONES EM ENXAMES .....	10
2.4	AÇÕES DO PODER AÉREO .....	11
2.5	ANÁLISE SWOT .....	12
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	13
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	16
4.1	AÇÕES DE FORÇA AÉREA COM ENXAMES DE DRONES .....	16
4.2	ANÁLISE SWOT DOS ENXAMES .....	19
4.2.1	Fatores que contribuem (ajudam) .....	20
4.2.2	Fatores que prejudicam (atrapalham) .....	22
4.3	INFLUÊNCIA DOS ENXAMES DE DRONES NAS AÇÕES DE FORÇA AÉREA ..	24
4.3.1	Ataque (Atq) .....	26
4.3.2	Reconhecimento Aeroespacial (Rec Aepe) .....	27
4.3.3	Supressão de Defesa Antiaérea Inimiga (SDAI) .....	27
4.3.4	Vigilância Aérea (Vig Ae) .....	28
4.3.5	Engodo (Egd) .....	28
4.3.6	Pacote de Enxames (Pct Enx) .....	28
4.3.7	Defesa Antiaérea (DAAe) .....	29
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	29
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	31
	<b>APÊNDICE A – POSSIBILIDADES DE EMPREGO E AUTORES</b> .....	35
	<b>APÊNDICE B – FORÇAS (<i>STRENGTHS</i>) E AUTORES</b> .....	39
	<b>APÊNDICE C – FRAQUEZAS (<i>WEAKNESSES</i>) E AUTORES</b> .....	40
	<b>APÊNDICE D – OPORTUNIDADES (<i>OPPORTUNITIES</i>) E AUTORES</b> .....	41
	<b>APÊNDICE E – AMEAÇAS (<i>THREATS</i>) E AUTORES</b> .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

Em maio de 2021, durante um conflito de onze dias entre Israel e grupos terroristas em Gaza, o mundo testemunhou um dos primeiros usos significativos e publicamente reconhecidos de enxames de drones em combate. A Força de Defesa Israelense (FDI) utilizou enxames de drones, compostos por pequenos quadricópteros, para localizar lançadores de foguetes do Hamas.

A localização precisa dos lançadores, muitas vezes escondidos em áreas civis, era um desafio crucial. Para enfrentá-lo, a FDI combinou a inteligência artificial com imagens de satélite e vigilância aérea. Ao detectar um lançamento, outras aeronaves armadas ou unidades terrestres eram acionadas para conter a ameaça. O resultado foi a identificação e neutralização de diversos lançadores, levando o próprio Exército Israelense a declarar a campanha de Gaza como a "primeira guerra de Inteligência Artificial (IA)" do mundo, demonstrando não só o potencial dos enxames de drones em operações militares, mas também a rápida evolução dessa tecnologia. (Gross, 2021).

Enxames de drones não são apenas um conjunto de aeronaves voando juntas. O que os diferencia é a capacidade de comunicação e coordenação autônoma, similar ao comportamento de um cardume de peixes ou uma revoada de pássaros. Essa autonomia, em diferentes níveis, é garantida por algum grau de inteligência artificial embarcada nos drones.

Especialistas apontam que, embora o uso inicial de enxames de drones esteja concentrado em nações com maior poderio tecnológico, esse cenário já indica estar mudando a passos largos. A popularização dos drones, impulsionada pela redução de seus tamanhos e custos, bem como a maior acessibilidade à IA, transformou-os em ferramentas acessíveis não apenas para fins militares, mas também para aplicações civis.

Espectáculos de voos de centenas de drones com luzes sincronizadas já se tornaram populares, encantando multidões com suas coreografias aéreas. Na cerimônia de abertura dos Jogos Olímpicos de Inverno de Pyeongchang, na Coreia do Sul, em 2018, 1.218 drones com sistema de iluminação próprio voaram simultaneamente, formando o símbolo das Olimpíadas (as cinco argolas entrelaçadas), estabelecendo, à época, o recorde no Guinness Book como o maior número de drones voando simultaneamente. (Junqueira, 2018).

Se tal tecnologia já está disponível para espetáculos artísticos, torna-se evidente que a exploração do conceito de enxame de drones revela um potencial transformador nos contextos militares, podendo abrir caminho para avanços significativos em eficácia operacional e inovação tática.

Esta conjuntura despertou o interesse neste autor em investigar como tal tecnologia poderia ser empregada dentro do contexto da Força Aérea Brasileira (FAB), por meio da elaboração do seguinte problema de pesquisa: de que maneira o emprego de um enxame de drones pode influenciar as Ações de Força Aérea?

Para responder a esse questionamento, foi estabelecido como objetivo geral (OG) da presente pesquisa identificar de que maneira o emprego de um enxame de drones pode influenciar as Ações de Força Aérea.

Para atingir o OG, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

Objetivo Específico 1 (OE1): identificar, por meio de revisão bibliográfica, as possibilidades de emprego dos enxames de drones;

Objetivo Específico 2 (OE2): relacionar as possibilidades de emprego dos enxames de drones com as Ações de Força Aérea; e

Objetivo Específico 3 (OE3): identificar, por meio da análise SWOT, as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças relacionadas ao emprego dos enxames de drones.

Dominar tecnologias emergentes é crucial nos assuntos de defesa, pois elas podem transformar a guerra ao melhorar eficácia, velocidade, precisão e capacidades de inteligência. A rápida integração de inovações como IA, computação quântica e sistemas hipersônicos é essencial para manter a superioridade militar frente a ameaças dinâmicas.

Consoante a este pensamento, o Comando da Aeronáutica estabeleceu no Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2018 – 2027 (PEMAER), como diretriz relacionada ao preparo da Força Aérea, “Aprimorar o conceito de operação para Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP), seja em ações singulares de Força Aérea, como também em operações com outras Forças Armadas e Agências Governamentais” (Brasil, 2018, p. 31).

Diante do exposto, torna-se evidente a relevância do estudo dos sistemas de enxame de drones no âmbito das Ações de Força Aérea. Seu potencial de emprego pode contribuir com inovações táticas e aprimoramento da doutrina, conferindo vantagens significativas no campo de batalha para a FAB.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

A seguir, serão abordados os principais conceitos relacionados à evolução tecnológica nas guerras no que concerne ao desenvolvimento dos drones e à tecnologia de enxameação. Adicionalmente, serão apresentados conceitos atinentes às Ações de Força Aérea e à análise SWOT, de forma a embasar as posteriores análises dos resultados.

## 2.1 A TECNOLOGIA NOS CONFLITOS ARMADOS

Na obra "Da Guerra", Von Clausewitz (2021) aborda a relação entre a natureza da guerra e a incerteza, destacando-as como características fundamentais do conflito. Ele argumenta que a guerra é permeada por uma "névoa de guerra", um termo que descreve a incerteza inerente aos conflitos, resultante da falta de informações claras e da imprevisibilidade das ações do inimigo.

Tal incerteza é potencializada nos conflitos modernos, os quais desenrolam-se entre operações multidomínios e com meios disruptivos de guerra. Para Krepinevich (2023), a natureza da guerra tem sido profundamente transformada por revoluções militares, cuja frequência vem aumentando ao longo dos últimos dois séculos, devido aos rápidos avanços tecnológicos. Ele faz uma observação histórica de que cada revolução militar, desde a utilização da pólvora até a introdução da guerra cibernética, foi precipitada por relevantes avanços tecnológicos que alteraram as estratégias, táticas e o equilíbrio de poder global.

O autor sugere estarmos numa nova era de conflitos, e antecipa a iminência de uma nova revolução militar, catalisada por uma série de avanços tecnológicos - incluindo inteligência artificial, impressão 3D, biologia sintética, computação quântica, armas de energia direcionada e armas hipersônicas. Ressalta, ainda, a necessidade de adaptação e inovação diante das rápidas evoluções tecnológicas e estratégicas no domínio militar, mencionando que "um exército que domina primeiro a nova forma de guerra desfruta de uma vantagem clara e potencialmente decisiva sobre seus rivais" (Krepinevich, 2023, n.p., tradução nossa).

## 2.2 EVOLUÇÃO DOS DRONES

Há diversas nomenclaturas utilizadas para se referirem aos drones, tais como Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP), Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) (termo já considerado obsoleto), *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) e *Unmanned Aircraft System* (UAS). Entretanto, drone é o termo menos técnico e mais comum nos órgãos de imprensa para se referir a qualquer aeronave não tripulada (Brasil, 2023).

Hambling (2018) mostra que a trajetória dos drones no âmbito militar é marcada por avanços e recuos, tendo uma história quase tão longa quanto a das aeronaves tripuladas. Mesmo demonstrando eficácia em contextos de conflito, os drones enfrentaram uma resistência que o autor atribuiu à preferência dos militares por aeronaves tripuladas, destacando não apenas as

barreiras tecnológicas, mas também culturais e políticas que influenciam a adoção de inovações no setor militar.

Condensando o histórico de desenvolvimento dos drones levantado pelo autor, o TDR-1, desenvolvido durante a Segunda Guerra Mundial, é mencionado como um dos primeiros drones usados em combate. Foi utilizado em ataques suicidas contra alvos inimigos, demonstrando o potencial emprego em missões de alto risco. O HQ-50 DASH, introduzido na década de 1960, expandiu o alcance das operações antissubmarino da Marinha dos EUA, permitindo ataques a distâncias anteriormente inatingíveis.

Foi a partir do MQ-1 Predator, durante a Guerra da Bósnia em 1995, que a utilização significativa de drones em operações de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (IVR) passou a ocorrer. A progressão para o MQ-9 Reaper demonstrou uma evolução para capacidades ofensivas, integrando funcionalidades de ataque direto. A subsequente introdução de drones *stealth*, como o Lockheed Martin RQ-170 Sentinel e o Northrop Grumman RQ-180, representou um avanço na capacidade de realizar operações em ambientes contestados graças às suas tecnologias de evasão de radar. Paralelamente, a proliferação de drones de médio porte e modelos recreativos, como o israelense Hermes 450 e o chinês DJI Mavic, expandiu o uso para operações de uso dual (civil/militar), oferecendo capacidades de navegação autônoma e potencial para missões de ataque, mesmo em modelos de menor custo e tamanho. (Barreiros, 2019).

Corroborando com Barreiros (2019), Hambling (2018) relatou o incremento tecnológico nos drones ao mesmo tempo em que versões de tamanho mais reduzido são lançadas. Além disso, ele destaca que a tecnologia de miniaturização de componentes eletrônicos, como processadores, sensores e câmeras, tem desempenhando papel crucial no avanço e na disseminação dos pequenos drones. Adiciona, ainda, um novo ponto de vista ao associar que tal progresso é influenciado pelos avanços na indústria de *smartphones*:

A tecnologia dos *smartphones* tornou os equipamentos eletrônicos menores, mais baratos e mais capazes do que nunca. Tecnologias desenvolvidas para telefones se adequam muito bem aos requisitos de pequenos drones. Assim como os telefones, essas aeronaves precisam de câmeras miniaturas, navegação GPS e poder de processamento de dados. Ambos compartilham a mesma necessidade de minimizar dimensões, peso e potência. Um drone é meramente um *smartphone* com asas que são os itens mais módicos. (Hambling, 2018, p. 18).

Entretanto, o emprego de drones isoladamente limita seus potenciais em algumas aplicações. Foi com o objetivo de superar tal desafio que surgiu o uso dos drones em forma de enxame, pois à medida que novas gerações de drones tornam-se menores, mais capazes e baratos, a ideia de utilizá-los em grandes números tornou-se uma estratégia viável.

## 2.3 DRONES EM ENXAMES

Embora várias características apontadas por Hambling (2018) possam se referir aos drones em geral, inclusive quando operados isoladamente, alguns conceitos são atinentes à operação dos drones em enxames. Assim, alguns destes conceitos serão tomados como base teórica para o presente trabalho.

A inteligência de enxame é um dos principais conceitos e refere-se à capacidade de um grupo de drones de operar de forma coordenada e eficiente, imitando o comportamento coletivo observado na natureza, como em colônias de insetos ou bandos de pássaros. Hambling (2018) destaca que a aplicação dessa abordagem pode transformar a forma como drones operam em ambientes complexos, permitindo que múltiplos dispositivos colaborem para realizar tarefas que seriam difíceis ou impossíveis para um único drone. A inteligência de enxame permite a divisão do trabalho, a tomada de decisões distribuída e a adaptação rápida a mudanças no ambiente, aumentando a eficiência e a robustez das missões ao mesmo tempo em que minimiza os riscos e custos associados.

Os algoritmos de enxame são a base computacional da inteligência de enxames, fornecendo as regras que permitem aos drones interagir e cooperar de forma eficiente. Hambling (2018) discute diversos algoritmos inspirados na natureza, como os algoritmos de otimização por colônia de formigas (ACO) e de enxame de partículas (PSO). A aplicação de algoritmos de enxame facilita a coordenação entre drones, permitindo a realização de tarefas complexas de forma distribuída, eficiente e adaptável a mudanças no ambiente ou nas condições da missão. Essa adaptabilidade dinâmica inclui a capacidade de reconfigurar formações em resposta a obstáculos ou ameaças, garantindo a continuidade da missão e a resiliência do sistema. A eficiência desses algoritmos é primordial para otimizar o potencial dos enxames em diversas aplicações.

Outro conceito trazido por Hambling (2018) diz sobre as redes de comunicação. Ele destaca a importância das redes de comunicação para o funcionamento eficaz de um enxame de drones, enfatizando a necessidade de arquiteturas de rede resilientes e adaptáveis. O autor explora o conceito de redes *mesh*, segundo o qual cada drone atua como um nó que se comunica com os nós vizinhos, eliminando a dependência de um controlador central e aumentando a robustez do sistema em face de perdas individuais. Para ele, a capacidade de manter comunicações estáveis e confiáveis é vital para o sucesso das operações de enxame, permitindo que os drones compartilhem dados sensoriais, coordenem movimentos e ajustem estratégias em

tempo real. Assim, a evolução das redes de comunicação é um componente chave para o avanço da inteligência de enxame.

Adicionalmente, o autor descreve o conceito de autonomia como sendo a capacidade dos dispositivos operarem de forma independente da intervenção humana constante. Para ele, a autonomia reduz a carga sobre os operadores humanos, consistindo em um fator crítico para a eficácia dos enxames, especialmente em ambientes dinâmicos e com alto grau de incerteza. Avanços em inteligência artificial e aprendizado de máquina têm permitido que drones realizem tarefas complexas de forma autônoma, adaptando suas ações em tempo real.

Por fim, Hambling (2018) aponta, ainda, para a possibilidade de uso da computação distribuída quando múltiplos drones são usados para compartilhar a carga de processamento e armazenamento de dados. Ao distribuir tarefas computacionais entre vários drones, é possível realizar operações complexas de forma mais rápida e eficiente. Essa abordagem é bastante útil em missões que requerem processamento intensivo de dados, como análise de imagens e reconhecimento de padrões. A computação distribuída também aumenta a redundância e a resiliência do sistema, pois a falha de um drone não compromete a operação geral. Isso possibilita uma operação mais robusta e confiável.

#### 2.4 AÇÕES DO PODER AÉREO

A investigação detalhada de Rosa (2014) mostra como as doutrinas aéreas mudaram ao longo dos anos como resultado das mudanças na tecnologia e das novas formas de conflito. Com base na interpretação de diversos eventos históricos nos quais o poder aéreo teve participação relevante, o autor observou que a nomenclatura e a categorização das funções dos vetores aéreos em combate não eram uniformes, mas verificou que elas estavam presentes em todas as doutrinas de todas as forças aéreas examinadas.

A ação do poder aéreo é conceitualmente vinculada à sua função. Segundo Rosa (2014, p. 307), "Função do poder aéreo deve ser compreendida como a ação que é peculiar a esse poder". Segundo esse conceito, a ação é a demonstração operacional da função do poder aéreo. Em outras palavras, a ação é a realização prática das capacidades e intenções estratégicas especificadas do poder aéreo em um contexto militar.

A ação, portanto, é a aplicação específica de uma ou mais funções do poder aéreo para alcançar determinado objetivo dentro do ambiente de operações aéreas. A relação entre ação e função é direta, com a função orientando o propósito da ação e a ação concretizando a função no campo de batalha.

Com base nestes conceitos e, a partir de todo o material apresentado, o autor elaborou um quadro comparativo por meio do qual foi possível correlacionar as funções do poder aéreo da FAB com as funções dos outros países.

No atual contexto nacional, a Doutrina Básica da FAB estabelece 55 Ações de Força Aérea, as quais definem o emprego, no nível tático, dos Meios Aeroespaciais e de Força Aérea, de forma a atingir os efeitos desejados em uma operação militar (Brasil, 2020). São essas Ações que serão objeto de pesquisa do presente estudo.

## 2.5 ANÁLISE SWOT

A análise ou matriz SWOT (acrônimo do inglês *Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats*) é uma ferramenta de planejamento estratégico amplamente utilizada para a análise de cenários em diversos contextos, como organizacionais, projetos tecnológicos e até mesmo em estratégias militares. Desenvolvida na década de 1960 por Albert Humphrey na Universidade de Stanford, a matriz SWOT examina quatro dimensões principais: forças, fraquezas, oportunidades e ameaças. Essas dimensões são divididas em dois ambientes: interno (forças e fraquezas) e externo (oportunidades e ameaças) (Volpato, 2024).

A complexidade dos enxames de drones requer uma avaliação completa que considere tanto os elementos internos quanto os externos, pois esses elementos podem afetar sua eficácia e integração no campo de batalha. Dessa forma, a matriz SWOT mostra-se adequada para ser aplicada, pois ao identificar as forças e as fraquezas, ela oferece um panorama dos benefícios e desafios intrínsecos à tecnologia, além de permitir uma projeção de cenários futuros ao examinar as oportunidades e as ameaças.

Identificar as quatro dimensões do exame de drones sob a perspectiva da matriz SOWT possibilita a compreensão dos efeitos que que essa tecnologia traria caso fosse empregada durante uma Ação de Força Aérea. Isso permitiria, portanto, uma melhor previsão dos resultados, traduzindo-se em vantagem estratégica no combate.

Assim, aplicando os conceitos trazidos por Volpato (2024) ao contexto deste artigo, temos que: 1) força são as vantagens e capacidades de origem interna que os enxames de drones possuem em relação a outras tecnologias de guerra; 2) fraquezas são os aspectos de origem interna que podem prejudicar, limitar ou trazer vulnerabilidades ao seu desempenho; 3) oportunidades representam fatores e contextos externos favoráveis ao uso do exame de drones, que podem ser explorados para beneficiar a operação ou o desenvolvimento dessa tecnologia;

e 4) as ameaças são contextos, medidas e artefatos externos que podem, de alguma forma, impactar negativamente a ação, o desempenho ou o desenvolvimento dos enxames de drones.

### 3 METODOLOGIA

Por se propor a investigar uma tecnologia incipiente e ainda carente de maturação, esta pesquisa assumiu uma abordagem qualitativa de caráter exploratório, cujo objetivo foi proporcionar uma aproximação inicial ao tema.

Quanto aos métodos empregados, este artigo adotou a revisão de literatura baseada em artigos, livros impressos e digitais, bem como reportagens em páginas eletrônicas da internet sobre aplicações e inovações relacionadas aos enxames de drones no cenário internacional de defesa. A pesquisa também foi documental, uma vez que, para conhecer a variável desfecho (Ação de Força Aérea) e poder correlacioná-la com a variável independente (enxames de drones), foi consultada a Doutrina Básica da FAB (DCA 1-1). Tal doutrina foi adotada como material de referência, uma vez que a FAB é a principal organização à qual se destinam os resultados dessa pesquisa.

Quanto ao material impresso, a pesquisa na Biblioteca da Universidade da Força Aérea (UNIFA) identificou o livro “*Swarm Troopers: como os pequenos drones vão dominar o mundo*”, do autor David Hambling (2018).

No ambiente virtual, por sua vez, a pesquisa bibliográfica foi sistematizada da seguinte forma: foram realizadas buscas em língua portuguesa utilizando-se o termo de busca “enxame de drones” no Repositório Institucional da Escola Superior de Guerra (ESG) e na Rede de Bibliotecas Integradas da Aeronáutica (BIA). Na língua inglesa, utilizando-se o termo *military “drones swarm”*, foram realizadas buscas no *site* da RAND Corporation, no portal de periódicos da CAPES e no buscador Google News.

A pesquisa em língua portuguesa não sofreu delimitações devido aos poucos resultados obtidos e por todos eles datarem dentro dos últimos 5 anos.

A pesquisa em língua inglesa, no portal de periódicos da CAPES, foi delimitada para as publicações dos últimos cinco anos (2019 a 2024) e retornou um total de 26 resultados.

O buscador Google News, por sua vez, não indica a quantidade de resultados encontrados e não permite ordenação temporal nem delimitação para os últimos cinco anos. Entretanto, após contabilizados manualmente 94 resultados e, devido à restrição de tempo para a produção deste artigo, optou-se pela análise apenas dos cinquenta primeiros resultados ordenados pelo buscador.

A pesquisa no site da *RAND Corporation* não sofreu delimitações, pois os resultados obtidos foram poucos e recentes.

Em suma, a pesquisa bruta retornou um total de 132 resultados, e, após a delimitação, restaram 88 resultados. A Tabela 1 mostra um resumo do resultado quantitativo das pesquisas realizadas.

**Tabela 1** - Resultados da Pesquisa Bibliográfica

Base de dados	Termo de busca utilizado	Resultados encontrados	Resultados selecionados	Resultados incluídos
Repositório da ESG	“enxame de drones”	3	3	0
Rede BIA	“enxame de drones”	1	1	0
Periódicos CAPES	<i>military “drones swarm”</i>	26	26	3
<i>RAND Corporation</i>	<i>military “drones swarm”</i>	8	8	1
<i>Google News</i>	<i>military “drones swarm”</i>	94	50	29
Total		132	88	33

**Fonte:** o autor.

Inicialmente, foi feita uma verificação preliminar nos 88 resultados selecionados. Destes, 55 foram descartados por estarem fora do escopo abordado neste artigo. Como amostra final, foram incluídos na presente pesquisa 33 materiais de leitura, os quais foram analisados com a finalidade de identificar as possibilidades de emprego dos enxames de drones, bem como suas forças, fraquezas, oportunidades e ameaças.

Para melhor delinear a solução para o problema de pesquisa, inicialmente considerou-se que os enxames só podem influenciar as ações nas quais eles pudessem ser empregados. Entretanto, o uso dos enxames só está ocorrendo em países estrangeiros e não está categoricamente associado a determinadas ações de força aérea. Até porque, conforme constatado por Rosa (2017), a doutrina e os nomes das ações de força aérea variam de país para país. Portanto, foi necessário, primeiramente, compreender as formas de emprego propostas para os enxames e, após, relacioná-las com as ações de força aérea previstas na Doutrina da FAB.

Logo, para responder o OE1 – identificar as possibilidades de emprego dos enxames de drones –, foi elaborado o Quadro constante do Apêndice A deste artigo, o qual reúne todas as possibilidades de emprego dos enxames identificadas nos materiais de leitura, bem como os autores que citaram tais empregos.

Após, essas possibilidades de emprego foram interpretadas e associadas às Ações de Força Aérea constantes da Doutrina Básica da FAB (Brasil, 2020), possibilitando o alcance do

OE2, que se propôs a relacionar as possibilidades de emprego dos enxames de drones com as Ações de Força Aérea.

Dada a impossibilidade de se verificar a influência dos enxames por meio de pesquisa de campo ou estudos de caso, optou-se pela análise de suas características intrínsecas (forças e fraquezas) e de contexto (oportunidades e ameaças) por meio de pesquisa bibliográfica.

Dessa forma, para atingir o OE3 – identificar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças relacionadas ao emprego dos enxames de drones por meio de uma análise SWOT –, as informações contidas no material pesquisado foram interpretadas à luz dos conceitos trazidos por Volpato (2024) e classificadas como forças, fraquezas, oportunidades e ameaças. Essas informações foram agrupadas nos Quadros constantes dos apêndices B, C, D e.

Em seguida, com as informações dos Apêndices B, C, D e, foram identificados os elementos considerados principais (citados por, pelo menos, 3 autores) para a montagem da matriz SWOT. A partir dela foram identificadas as características dos enxames de drones que contribuem e prejudicam a execução das Ações de Força Aérea.

Por último, foi construído um quadro no qual foram analisadas as implicações dos elementos da SWOT nas Ações de Força Aérea, ou seja, de que maneira cada elemento influencia as ações, possibilitando o alcance do Objetivo Geral desta pesquisa, qual seja, identificar de que maneira o emprego de um enxame de drones pode influenciar as Ações de Força Aérea.

Por se tratar de uma tecnologia ainda em amadurecimento, uma das limitações deste estudo é a ausência de informações sobre o uso de enxames de drones em cenários reais de conflito. Em razão da carência desse tipo de informação, o trabalho baseou-se principalmente em artigos e reportagens de acesso público, que abordaram, em sua maior parte, o uso em potencial dos enxames ou resultados de testes em ambientes controlados. Além disso, tratam-se de fontes secundárias, que, embora relevantes, podem não conter todos os desafios e resultados práticos desta tecnologia em combate.

Ademais, como acontece com várias outras tecnologias inovadoras, muitas informações sobre o uso de enxames de drones podem constituir informações de alto valor estratégico, sendo reservadas ou classificadas, o que restringe a profundidade da análise e a compreensão de suas capacidades.

Essa abordagem, embora válida para fins exploratórios, ressalta a necessidade de pesquisas futuras que investiguem o desempenho e a efetividade dos enxames de drones em situações reais de combate, à medida que mais informações se tornem disponíveis e a tecnologia amadureça.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados da revisão da literatura, com foco nas possibilidades de emprego de enxames de drones, bem como na análise SWOT dessa tecnologia.

### 4.1 AÇÕES DE FORÇA AÉREA COM ENXAMES DE DRONES.

As possibilidades de emprego dos enxames de drones foram analisadas, interpretadas e as que possuíam alta similaridade entre si foram unificadas. Após, foram comparadas com os conceitos das Ações de Força Aérea trazidos na DCA 1-1 (Brasil, 2020), de forma a possibilitar o estabelecimento de relação entre elas.

A DCA 1-1 (Brasil, 2020) relaciona um total de 55 Ações de Força Aérea. Após análise das possibilidades de emprego indicadas pelos autores, foi possível associá-las a 13 Ações de Força Aérea. O Quadro 1 traz o resultado desta relação.

**Quadro 1** – Associação das possibilidades de emprego com as Ações de Força Aérea

(continua)

Possibilidades de emprego	Autores	Ações de Força Aérea
Atacar aeródromos, helipontos, instalações, depósitos de munição, posições de mísseis e armas de artilharia, navios e etc.; assumir o papel tático de armas convencionais, como morteiros; realizar ataques kamikaze; ser agrupado numa ogiva acoplada num míssil; atuar como bombas inteligentes de precisão; atacar infraestruturas críticas; eliminar alvos humanos específicos, como líderes inimigos.	Kallenborn (2024); Chopra (2024); Honrada (2024); Honrada (2023a); Waldron (2023); Peck (2024); Brar (2024); Rosen (2023); Honrada (2023b); Hambling (2018); Fedorovych <i>et al.</i> (2024); Gerstein e Leidy (2024)	Ataque (Atq)
Empregar como plataforma de ISR de curto alcance em apoio a pequenas tropas e Forças Especiais; formar uma imagens precisas dos alvos; captar imagens sob vários pontos de vista; fornecer informações para artilharia.	Seffers (2024); Honrada (2024); Stavridis (2023); Honrada (2023a); Waldron (2023); Briscoe (2023); Peck (2024); Brar (2024); Honrada (2023b); Saballa (2023); Hambling (2018); Gerstein e Leidy (2024)	Reconhecimento Aeroespacial (Rec Aepe)

(continuação)

Possibilidades de emprego	Autores	Ações de Força Aérea
Procurar, subjugar e destruir as defesas aéreas inimigas; eliminar as defesas; sobrecarregar e saturar as defesas; penetrar sistemas de defesa aérea inimigos com grande volume; atuar como interferidores eletrônicos em nós de C2; ataques cibernéticos para cegar o inimigo.	Hambling (2024); Al Mayadeen (2024); Chopra (2024); Stavridis (2023); Honrada (2023a); Brar (2024); Honrada (2023b); Osborn (2023); Sherman (2023); Hambling (2018); Gerstein e Leidy (2024)	Supressão de Defesa Antiaérea Inimiga (SDAI)
Manter vigilância constante 24/7 sobre uma região ou alvo através do revezamento de elementos do enxame; realizar missões de ISR em território inimigo; criar redundância para a vigilância cobrindo uma grande área.	Hambling (2024); Chopra (2024); Stavridis (2023); Brar (2024); Osborn (2023); Gerstein e Leidy (2024)	Vigilância Aérea (Vig Ae)
Utilizar enxames como drones isca, desperdiçando defesas do inimigo; fazer grandes iscas para desviar o esforço aéreo adversário; utilizar pequenos drones cuja seção transversal de radar coletivo (RCS) se assemelhe a um caça a jato; serem lançados a partir de KC-135 como iscas.	Hambling (2024); Chopra (2024); Brar (2024); Honrada (2023b); Bisht (2023); Saballa (2023)	Engodo (Egd)**
Empregar enxames mistos, com grupos executando ações concomitantes de vigilância, supressão de defesas, interferidores, ataques cinéticos, servindo como iscas.	Hambling (2024); Bajak (2024); Honrada (2024); Stavridis (2023); Honrada (2023b); Fedorovych <i>et al.</i> (2024)	Pacote de Enxames (Pct Enx)**
Assumir um papel antidrone ou antiexame.	Chopra (2024); Honrada (2023b); Honrada (2023a); Hambling (2018); Giutton (2021)	Defesa Antiaérea (DAAe)*
Enxames desarmados para recolher informações em resposta a desastres; encontrar mais rapidamente pessoas perdidas na natureza.	Kallenborn (2024); Briscoe (2023); Hambling (2018)	Busca e Salvamento (SAR)
Empregar como mini minas aéreas armados com explosivos, como em rotas de aproximação e decolagem inimiga; empregar como cercas aéreas ao redor de uma área ou ponto vital, negar o acesso a áreas específicas, atacando qualquer pessoa ou veículo que tente entrar na área.	Chopra (2024); Honrada (2024); Hambling (2018)	Negação de Área (Neg A)**
Realizar ataque cibernético ou eletromagnético.	Stavridis (2023); Peck (2024); Gerstein e Leidy (2024)	Interferência Eletrônica (Interf Elt)*
Entregar coletes salva-vidas ou outros equipamentos aos pilotos abatidos no campo de batalha.	Saballa (2023); Hambling (2018)	Transporte leve (Trmp L)**
Buscar e destruir objetivos.	Bajak (2024)	Varredura (Var)
Escortar caças tripulados, como F-22 e F-35.	Kallenborn (2024)	Escolta (Esct)

(conclusão)

Possibilidades de emprego	Autores	Ações de Força Aérea
Operar contra de forças de superfície, operar em áreas de trincheiras e limpeza de campos minados.	Chopra (2024)	Apoio Aéreo Aproximado (Ap AA)
Apoiar missões de busca e salvamento em combate.	Saballa (2023)	Busca e Salvamento em Combate (CSAR)
Atuar como retransmissores de comunicações e compartilhamento de dados.	Saballa (2023)	Posto de Comunicação Aeroespacial (P Com-Aepec)
Enfrentar desastres naturais como incêndios florestais.	Thakur (2024)	Combate a Incêndio em Voo (CI Voo)

**Fonte:** O autor.

**Nota:** \* indica Ação de Força Aérea prevista de ser realizada por Meios de Força Aérea, conforme DCA 1-1 (Brasil, 2020);

\*\* indica Ação de Força Aérea proposta pelo autor.

O conceito de Meios Aeroespaciais trazido na Doutrina como sendo “[...] composto pelas aeronaves, aeronaves remotamente pilotadas e plataformas espaciais [...] necessários para executar Ações de Força Aérea.” (Brasil, 2020, p.10) permitiu a classificação dos enxames de drones como Meios Aeroespaciais.

Dessa forma, de acordo com o recorte bibliográfico realizado, foi constatado que os enxames de drones têm o potencial de influenciar 11 ações previstas de serem realizadas por Meios Aeroespaciais e 2 ações previstas de serem realizadas por Meios de Força. Ou seja, apesar de ser um Meio Aeroespacial, os enxames mostraram-se capazes de realizar não só ações as quais, conceitualmente, ele poderia realizar, como também ações que a Doutrina não prevê serem realizadas por Meios Aeroespaciais. Isso demonstra uma versatilidade de tal equipamento, mostrando-se como uma possível segunda opção para a realização dessas Ações.

Detalhando as 11 ações realizadas por Meios Aeroespaciais, foi possível observar que as ações mais citadas pelos autores são as ações de Ataque (12 autores), Reconhecimento Aeroespacial (12 autores), Supressão de Defesa Antiaérea Inimiga (11 autores) e Vigilância Aérea (6 autores), o que se permite depreender uma maior afinidade e/ou eficácia dos enxames de drones para esses tipos de ações.

Com relação às 2 ações realizadas por Meios Aeroespaciais, foram mencionadas a realização de Defesa Antiaérea (5 autores), mais especificamente como forma de enxames contra enxames ou enxames contra drones isolados, e Interferência Eletrônica (3 autores).

Os autores reportaram, ainda, a possibilidade de os enxames serem utilizados para realizar 4 ações que, atualmente, não são previstas de serem realizadas pela FAB. Uma delas, citada por 6 autores, que pode ser nominada como Ação de Engodo, trata do emprego de drones

isca, com o objetivo de enganar o inimigo criando alvos falsos para fazê-lo desperdiçar munição, ou fazendo-os revelar seus pontos de artilharia.

Outra forma, mencionada por 5 autores, é a realização de missões de pacotes coordenados de grandes enxames, com cada grupo menor realizando uma ação distinta. Apesar desses grupos menores realizarem ações já previstas, o diferencial advém do aproveitamento da sinergia das ações, podendo tal ação ser denominada de Pacote de Enxames.

Uma forma de emprego bastante peculiar, mencionada por 3 autores, foi o uso dos enxames como minas aéreas, restringindo ou delimitando uma área, o que pode ser chamada de Ação de Negação de Área. E, por último, foi mencionada por 2 autores a possibilidade de os enxames levarem objetos em apoio a tropas ou pessoas isoladas, podendo ser designada como Ação de Transporte Leve.

Ao ser atingido o OE3, depreende-se que, em termos quantitativos, os enxames não são capazes de influenciar todas as Ações de Força Aérea, mas apenas 13 delas. Além disso, eles possibilitariam à FAB ampliar seu escopo de atuação, ao possibilitarem a realização de 4 novas Ações, caso fossem utilizados.

## 4.2 ANÁLISE SWOT DOS ENXAMES

Para a montagem da matriz SWOT foi utilizado um modelo proposto por Normando (2024), no qual os elementos de força, fraqueza, oportunidades e ameaças são divididos em quatro quadrantes. Nos quadrantes da esquerda ficaram os elementos de forças e oportunidades, representando os elementos que contribuem (ajudam) com o emprego dos enxames. Os elementos dos quadrantes da direita correspondem às fraquezas e às ameaças, constituindo, portanto, características que prejudicam (atrapalham) o emprego.

A partir dos quadros dos Apêndices B a E, foi possível observar as características mais citadas pelos autores e, a partir delas, deduzir as mais relevantes para a composição da matriz SWOT. Desta forma, foram trazidas para a matriz SWOT todas as características que foram citadas por três ou mais autores. A Figura 1 traz a matriz com os principais elementos.

Figura 1 - Matriz SWOT

	AJUDAM	ATRAPALHAM
ORIGEM INTERNA	<p><b>Forças</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Autonomia de controle/supervisão humana, tomada de decisão descentralizada, autocoordenação (IA)</li> <li>• Baixo custo relativo</li> <li>• Adaptação/mudança de objetivo durante a missão</li> <li>• Um controlador humano para várias unidades</li> <li>• Podem não depender de GPS e sinais eletrônicos</li> <li>• Modelos e tecnologia básica já disponível comercialmente</li> <li>• Requerem pouca infraestrutura de apoio</li> <li>• Relativamente mais difíceis de neutralizar</li> <li>• Alto poder de penetração, baixa detecção</li> <li>• Alta precisão no atingimento de alvos</li> </ul>	<p><b>Fraquezas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficácia dependente de tecnologia robusta (comunicação segura e algoritmos de IA) ainda não totalmente pronta</li> <li>• Vulnerabilidade a ataques eletrônicos e cibernéticos devido às comunicações internas do enxame e com o controlador/GPS</li> <li>• Limitação de carga útil (restringe poder cinético/ computacional/ autonomia de voo)</li> <li>• Enxames numerosos exigem significativa capacidade de produção e manutenção</li> <li>• Dependência da largura de banda/ faixa do espectro eletromagnético</li> </ul>
ORIGEM EXTERNA	<p><b>Oportunidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivo governamental e privado no desenvolvimento de enxames (EUA – Replicator, LOCUST)</li> <li>• Novas tecnologias e integração de sensores está em plena expansão (IA, IoT, learning machine, rede 5G, redes mesh)</li> </ul>	<p><b>Ameaças</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Armas de energia dirigida (laser de alta energia, micro-ondas de alta potência)</li> <li>• Interferência nos sinais (eletrônica, cibernética, GPS)</li> <li>• Enxames e drones antidrones/ anti-enxames</li> <li>• Restrições éticas e legais (máquinas com decisão para matar, armas de destruição em massa)</li> <li>• Armamento de fogo direto convencional (foguetes, canhões, rifles e metralhadoras)</li> <li>• Investimento governamental em armas antidrones (EUA – C-UAS)</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Normando (2024).

#### 4.2.1 Fatores que contribuem (ajudam)

Nos últimos anos, a tecnologia de enxames de drones tem se desenvolvido rapidamente, atraindo a atenção de muitos estudiosos. Alguns aspectos intrínsecos aos enxames de drones, identificados no material revisado, que podem influenciar positivamente as ações de força aérea serão mencionados a seguir.

Kallenborn (2024) e Honrada (2023a) destacaram a capacidade dos enxames de tomarem decisões de forma descentralizada e coordenada por inteligência artificial e a capacidade de operarem com pouca supervisão humana e autonomia. Cheek (2023) afirma que essas características permitem que um único operador humano administre várias unidades, aumentando a eficiência e reduzindo a necessidade de um grande número de operadores. Os enxames são ferramentas extremamente versáteis no campo de batalha, de acordo com Judson (2023), devido às suas capacidades de se adaptarem e mudarem de objetivo a qualquer momento durante a missão.

Como observado por Stavridis (2023) e Hambling (2024), o custo relativamente baixo dos enxames de drones facilita a aquisição em grande quantidade. Segundo Bajak (2024), essa característica permite a criação de grandes enxames que podem superar as defesas inimigas, o que é uma estratégia útil em recentes conflitos. Além disso, como mencionado por Bisht (2023), a disponibilidade comercial de modelos e tecnologias básicas de drones facilita a implementação rápida e em larga escala desses sistemas, ampliando suas aplicações em áreas civis e militares.

Como apontado por Fedorovych *et al.* (2024), os enxames de drones também se destacam por não dependerem exclusivamente de GPS e sinais eletrônicos para navegação. Sherman (2023) enfatiza que essa característica aumenta a resiliência dos enxames contra interferências e ataques cibernéticos. Os enxames podem se mover rapidamente em várias situações, reduzindo o tempo de resposta e aumentando a eficácia em tarefas importantes, de acordo com Rosen (2023).

Vários autores também enfatizam a dificuldade de neutralizar enxames de drones. Weisgerber (2023) e Keller (2024) discutem como os sistemas de defesa convencionais são desafiados pela alta capacidade de penetração e baixa detecção dos enxames. Conforme observado por Gerstein e Leidy (2024), a capacidade dos drones de se coordenarem e operarem autonomamente, tornando-os alvos móveis e imprevisíveis, aumenta essa resistência.

Finalizando os fatores intrínsecos, Osborn (2023) menciona que a precisão no atingimento de alvos ajuda os enxames a funcionar melhor em missões de reconhecimento e ataque.

Quanto aos aspectos externos, por sua vez, o desenvolvimento e a implementação de enxames de drones têm muitas oportunidades, especialmente se houver financiamento público e privado. O programa Replicator dos EUA, descrito por Dominguez (2023) e Osborn (2023), é um exemplo de um esforço para apoiar a inovação e a fabricação de drones autônomos em grande escala. O potencial para a criação de enxames capazes de realizar tarefas complexas com alta eficiência é evidente em projetos como o LOCUST, mencionado por Hambling (2018). Essas iniciativas promovem o avanço tecnológico e criam um ambiente favorável para pesquisa e desenvolvimento de novas soluções militares.

A IA, a Internet das Coisas, o aprendizado automático, as redes 5G e as redes *mesh* estão impulsionando a integração de novas tecnologias e sensores. Boyce (2024) e Jensen (2024) enfatizam isso, discutindo como essas inovações estão mudando a forma como os enxames de drones são usados. Essas tecnologias permitem a comunicação em tempo real e a análise de

grandes quantidades de dados, aumentando a eficiência e a precisão das operações dos enxames, o que permite uma resposta rápida e adaptativa a situações dinâmicas.

Por fim, com relação aos aspectos que favorecem a execução das ações, o referencial teórico de Hambling (2018) se mostra consistente com a literatura recente sobre enxames de drones, confirmando seu crescente papel militar. A ênfase do autor em inteligência de enxame, algoritmos, comunicação, autonomia e computação distribuída convergem com as de autores como Kallenborn (2024) e Honrada (2023a), que destacam a capacidade de operação coordenada, autônoma e eficiente. Adicionalmente, a visão de Hambling (2018) sobre o potencial dos enxames em tarefas complexas é corroborada por Judson (2023) e Bajak (2024), que ressaltam sua versatilidade e poder de superar defesas. A discussão sobre comunicação é reforçada por Fedorovych *et al.* (2024) e Sherman (2023), que apontam a resiliência dos enxames contra interferências. As tecnologias emergentes mencionadas por Hambling (2018), como IA e aprendizado de máquina, são evidenciadas por Boyce (2024) e Jensen (2024), que discutem como impulsionam a evolução dos enxames. Em suma, o trabalho de Hambling (2018) fornece base sólida para compreender os avanços e desafios, com aplicações e potencial disruptivo confirmados pela literatura recente.

#### **4.2.2 Fatores que prejudicam (atrapalham)**

Quanto aos aspectos intrínsecos aos enxames de drones que podem prejudicar a implementação dessa tecnologia, destacam-se as apresentadas a seguir.

Primeiramente, a eficácia dos enxames de drones é dependente de tecnologias avançadas, principalmente comunicações seguras e algoritmos de inteligência artificial. Gerstein e Leidy (2024) destacam que, embora a tecnologia de comunicação segura seja essencial, ela ainda não atingiu o nível de maturidade necessária para garantir robustez operacional aos enxames. Hambling (2018), Chopra (2024), Briscoe (2023) e outros autores reforçam essa perspectiva, apontando que a vulnerabilidade dos sinais eletrônicos, dados e GPS pode ser explorada pelos inimigos, por meio da utilização de métodos de *jamming* e *spoofing*, desorientando ou desativando os drones.

Além disso, como afirma Honrada (2024), a dependência do espectro eletromagnético e da largura de banda amplia essas deficiências. Em ambientes com alta interferência, as comunicações internas dos drones e entre eles e o controlador podem ser interrompidas, comprometendo a coordenação e a eficácia das missões.

A capacidade de carga útil dos drones menores é uma de suas principais limitações, como apontado por Waldron (2023) e Dominguez (2023). O tamanho reduzido restringe a capacidade de carga, implicando em restrições de poder cinético, processamento de dados e autonomia de voo. Hambling (2018) observa que, embora drones menores carreguem menos armamentos e equipamentos, são mais difíceis de serem detectados e neutralizados com armas convencionais, como rifles e metralhadoras. Por outro lado, drones maiores têm maior capacidade de carga e permanência em voo, mas perdem em furtividade e se tornam alvos mais fáceis para as defesas inimigas. Essa dicotomia entre furtividade e capacidade de carga pode representar tanto um fraqueza quanto uma força, a depender do contexto de emprego.

Em relação aos aspectos externos que podem prejudicar a implementação do uso dos enxames nas ações de força aérea, observa-se que as armas antidrones de última geração, como lasers de alta energia e micro-ondas de alta potência, oferecem uma defesa eficaz contra enxames de drones. Keller (2024) discute como essas tecnologias podem neutralizar múltiplos drones simultaneamente a um custo relativamente baixo por disparo, comparado ao uso de foguetes caros para abater drones baratos. Exemplos dessas armas são citados por Weisgerber (2023) e Judson (2023) e incluem o sistema Leonidas da Epirus e o RFDEW britânico.

O uso de enxames contra enxames é outra ameaça, discutida por Judson (2023a) e Honrada (2023b). Nesse método, drones são utilizados para combater outros drones, criando um jogo de gato e rato no campo de batalha.

Sob o aspecto da produção, Hambling (2018) e Bajak (2024) mencionam a necessidade de uma capacidade de produção e manutenção robusta para sustentar grandes enxames de drones, especialmente quando se considera a necessidade de atualizações tecnológicas contínuas.

Por fim, as questões éticas e legais também podem ser ameaças ao desenvolvimento dos enxames. Conforme discutido por Rosen (2023) e Cheek (2023), o fato dos enxames serem considerados armas de destruição em massa, associado à capacidade de matarem sem um comando direto humano, requer uma análise cuidadosa dos organismos internacionais humanitários.

Sob a ótica dos fatores que prejudicam a execução das ações, os resultados do estudo geram um debate entre as perspectivas apresentadas pelo referencial teórico de Hambling (2018) e as constatações de outros pesquisadores. Enquanto Hambling (2018) enfatiza o potencial dos algoritmos de enxame e das comunicações para a eficácia dos enxames de drones, Gerstein e Leidy (2024) destacam a imaturidade das tecnologias de comunicação segura como um obstáculo à sua efetividade. A vulnerabilidade a ataques eletrônicos, apontada por Chopra

(2024) e Briscoe (2023), também reforça essa lacuna, evidenciando a necessidade de avanços tecnológicos não previstos inicialmente.

Além das questões técnicas, as implicações éticas e legais levantadas por Rosen (2023) e Cheek (2023) desafiam a visão predominantemente tecnológica de Hambling (2018), evidenciando a necessidade de um arcabouço regulatório e discussões éticas para o desenvolvimento responsável de enxames de drones.

#### 4.3 INFLUÊNCIA DOS ENXAMES DE DRONES NAS AÇÕES DE FORÇA AÉREA

Para atingir o OG que foi identificar de que maneira o emprego de um enxame de drones pode influenciar as Ações de Força Aérea, foi elaborado um quadro no qual se procurou estabelecer as implicações de cada um dos elementos da matriz SWOT sobre as ações, possibilitando assim, verificar sua influência.

Por motivo de adequação ao dimensionamento proposto para este artigo, serão discutidas apenas as ações para as quais os enxames de drones demonstraram possuir maior afinidade e/ou eficácia, por terem sido citadas por 5 ou mais autores. São elas: Ataque (Atq), Reconhecimento Aeroespacial (Rec Ae), Supressão de Defesa Antiaérea Inimiga (SDAI), Vigilância Aérea (Vig Ae), Engodo (Egd), Pacote de Enxames (Pct Enx) e Defesa Antiaérea (DAAe).

A grande maioria dos elementos da análise SWOT demonstraram influenciar todas as ações de forma muito semelhante. Essa tendência sugere que as características intrínsecas dos enxames de drones, sejam as que contribuem ou as que prejudicam, se manifestam de forma consistente mesmo em diferentes contextos operacionais. O Quadro 2 reúne a influência dos elementos da matriz SWOT nas Ações de Força Aérea. Em seguida, são discutidas as influências mais significativas para cada uma das Ações.

Quadro 2 - Influência nas Ações de Força Aérea

(continua)

Elementos da matriz SWOT	Ações afetadas	Tipo de influência	Influência
Autonomia de controle/supervisão humana, tomada de decisão descentralizada, autocoordenação (IA).	Todas as Ações	Contribui	Permite operações mais ágeis, adaptáveis e com menor carga de trabalho para os operadores.
Baixo custo relativo.	Todas as Ações	Contribui	Possibilita a aquisição em maior número, reduzir o custo de operação e ampliar o número de unidades empregadas.
Adaptação/mudança de objetivo durante a missão.	Todas as Ações	Contribui	Permite a adaptação a novos cenários e informações, tornando as ações mais eficazes.
Um controlador humano para várias unidades.	Todas as Ações	Contribui	Reduz a necessidade de pessoal e aumenta a eficiência operacional
Podem não depender de GPS e sinais eletrônicos.	Todas as Ações	Contribui	Diminui a vulnerabilidade a interferências, facilitando a continuidade da missão.
Modelos e tecnologia básica já disponível comercialmente.	Todas as Ações	Contribui	Facilita a aquisição de unidades e peças de reposição, além de permitir uma implementação mais rápida.
Requerem pouca infraestrutura de apoio.	Todas as Ações	Contribui	Simplifica a logística e reduz os custos operacionais.
Relativamente mais difíceis de neutralizar.	Todas as Ações	Contribui	Aumenta a sobrevivência em ambientes hostis e contribui para a eficácia da missão.
Alto poder de penetração, baixa detecção.	Todas as Ações	Contribui	Permite realizar missões em profundidade, alcançando alvos e posições estratégicas.
Alta precisão no atingimento de alvos.	Atq, SDAI, Pct Enx, DAAe	Contribui	Melhora a eficiência das operações e reduz os danos colaterais.
Incentivo governamental e privado no desenvolvimento de enxames (EUA – Replicator, LOCUST).	Todas as Ações	Contribui	Promove crescimento das tecnologias envolvidas, possibilitando rápido aumento da eficiência dos enxames.
Novas tecnologias e integração de sensores está em plena expansão (IA, IoT, learning machine, rede 5G, redes mesh).	Todas as Ações	Contribui	Propiciam integração tecnológica melhorando as capacidades operacionais dos enxames.
Eficácia dependente de tecnologia robusta.	Todas as Ações	Prejudica	A dependência de tecnologias em desenvolvimento aumenta o risco de falhas e compromete a segurança e eficácia das ações aéreas.
Vulnerabilidade a ataques eletrônicos e cibernéticos.	Todas as Ações	Prejudica	Interferências e ataques podem desativar ou desorientar as unidades
Limitação de carga útil.	Todas as Ações	Prejudica	Restrições de carga impactam a autonomia de voo, capacidade de armamento e sensores, limitando o tempo de missão e a eficácia.

(conclusão)

Elementos da matriz SWOT	Ações afetadas	Tipo de influência	Influência
Significativa capacidade de produção e manutenção.	Todas as Ações	Prejudica	A necessidade de produção e manutenção em larga escala pode aumentar a complexidade logística e a demanda por insumos.
Dependência da largura de banda/faixa do espectro eletromagnético.	Todas as Ações	Prejudica	A limitação da comunicação e coordenação em ambientes com espectro congestionado ou interferido.
Armas de energia dirigida (laser de alta energia, micro-ondas de alta potência).	Todas as Ações	Prejudica	Podem neutralizar os drones danificando sua estrutura e seus componentes eletrônicos.
Interferência nos sinais (eletrônica, cibernética, GPS).	Todas as Ações	Prejudica	Podem prejudicar a comunicação, navegação, coordenação e controle dos drones, comprometendo a eficácia da missão.
Enxames e drones antidrones/anti-enxames.	Todas as Ações	Prejudica	Podem interceptar e neutralizar os enxames, comprometendo o cumprimento da missão.
Restrições éticas e legais (máquinas com decisão para matar, armas de destruição em massa).	Atq, SDAI, Pct Enx, DAAe	Prejudica	Podem restringir o uso dos enxames devido ao poder bélico e tomada de decisão autônoma por IA.
Armamento de fogo direto convencional (foguetes, canhões, rifles e metralhadoras).	Todas as Ações	Prejudica	Apesar de pouco adequados, podem neutralizar os drones danificando sua estrutura.
Investimento governamental em armas antidrones (EUA – C-UAS).	Todas as Ações	Prejudica	Promove desenvolvimento de contramedidas, desencorajando o emprego dos enxames para executar a ação.

Fonte: O autor.

#### 4.3.1 Ataque (Atq)

A ação de ataque (Atq) envolve o uso de meios aeroespaciais para neutralizar ou destruir alvos oponentes fixos, estacionários e móveis. Um dos pontos fortes do uso de enxames nesse tipo de ação é a autonomia de controle e a tomada de decisão descentralizada, permitindo operações mais ágeis e adaptáveis, além de reduzir a carga de trabalho dos operadores.

No entanto, a dependência da largura de banda/faixa do espectro eletromagnético pode limitar a comunicação e coordenação das unidades em ambientes congestionados ou interferidos. Além disso, armas de energia dirigida, como lasers de alta energia e micro-ondas de alta potência, representam uma ameaça significativa, pois podem neutralizar os drones danificando sua estrutura e seus componentes eletrônicos.

Por fim, as restrições éticas e legais sobre armas que decidem matar levantam questões morais e legais que podem restringir o uso de enxames devido à tomada de decisão autônoma por IA. Essas considerações são cruciais para garantir que as operações sejam conduzidas de maneira responsável e em conformidade com as normas internacionais.

#### **4.3.2 Reconhecimento Aeroespacial (Rec Aepec)**

Esta ação já utiliza os drones em sua execução, porém os enxames podem trazer novas características. Um dos elementos mais relevantes para essa ação é a possibilidade de várias unidades serem gerenciadas por um único militar, o que permite uma cobertura mais ampla e detalhada das áreas de interesse com menos controladores. O alto poder de penetração das unidades associadas à integração com novas tecnologias de comunicação e computacionais permite monitorar atividades inimigas em áreas hostis sem serem detectadas, melhorando a coleta de informações e a consciência situacional.

Por outro lado, a vulnerabilidade a ataques eletrônicos e cibernéticos pode desativar ou desorientar as unidades, comprometendo a comunicação, navegação e o controle. A interferência nos sinais, seja eletrônica, cibernética ou de GPS, também pode prejudicar a missão. Vale destacar que, por não utilizar força bélica, o Rec Aepec pode não sofrer restrições éticas e legais, consolidando a operação dos enxames nessa ação.

#### **4.3.3 Supressão de Defesa Antiaérea Inimiga (SDAI)**

A execução de SDAI com enxames de drones representa uma abordagem disruptiva em relação às formas tradicionais, trazendo diversas influências que podem afetar sua eficácia. O baixo custo relativo de drones armados com explosivos em comparação ao emprego de bombas guiadas permite a aquisição em maior número, resultando em menor custo de operação e maior desgaste das defesas inimigas devido à quantidade de drones. A capacidade de adaptação e mudança de objetivo durante a missão permite que os drones reajam rapidamente a alterações na localização e capacidade das defesas antiaéreas inimigas, contribuindo para uma neutralização ou degradação mais eficaz dessas defesas. Além disso, a relativa dificuldade de neutralização dos drones por armamento convencional possibilita maior eficácia da missão.

Por outro lado, a limitação de carga útil dos drones pode restringir a capacidade de armamento e a eficácia na neutralização de alvos mais robustos, além de limitar a autonomia de voo e o tempo de missão. Armas de energia dirigida podem neutralizar os drones danificando

sua estrutura e componentes eletrônicos. No entanto, a alta precisão no atingimento de alvos permite a redução de danos colaterais e um aumento na eficácia da missão.

#### **4.3.4 Vigilância Aérea (Vig Ae)**

Por ter como objetivo identificar, acompanhar e coletar sinais e imagens de um alvo em tempo real, fica evidenciada a colaboração que numerosos drones com alta integração de sensores com tecnologia de ponta pode trazer em termos de capacidade para essa ação. Além disso, o controle centralizado em um único operador e a coordenação autônoma por IA permite a adaptação a mudanças no cenário de vigilância durante a missão, facilitando a coleta contínua e precisa de dados em tempo real. Além disso, a possibilidade de operar sem depender de GPS e sinais eletrônicos reduz a vulnerabilidade a interferências, contribuindo com a continuidade da missão.

Por outro lado, ao se priorizar sensores e outros equipamentos de vigilância, a limitação de carga útil pode restringir a autonomia de voo, limitando o alcance e a duração das missões. Além disso, a dependência de tecnologia robusta, como comunicação segura, que ainda não está totalmente madura, no curto prazo possibilita o risco de falhas tecnológicas que podem comprometer a vigilância.

#### **4.3.5 Engodo (Egd)**

Apesar de não ter conceito estabelecido pela Doutrina da FAB, depreendeu-se pelas falas dos autores que nessa ação os enxames seriam utilizados, primordialmente, com a intenção de enganar o inimigo, sem necessariamente causarem efeitos bélicos.

Por não requerer explosivos e outros equipamentos acoplados, esta ação pode se beneficiar pelo custo-benefício que enxames de drones baratos proporciona. Pelo controle único e poder de coordenação autônoma, os enxames podem ser programados para assumirem formas de aeronaves maiores, provocando desperdício de munição do inimigo. No entanto, por serem mais baratos, podem ser mais suscetíveis a interferências eletromagnéticas.

#### **4.3.6 Pacote de Enxames (Pct Enx)**

Ação que também não está prevista na Doutrina, podendo ser a mais difícil de ser colocada em prática. Os autores sugerem o emprego de vários enxames com controlador

humano único ou em número reduzido, a depender do avanço tecnológico empregado. Trata-se do emprego de grupos de drones no qual cada grupo desempenha uma função (SDAI, Atq, Rec Aepc, Eng e etc.) de forma coordenada, formando um grande enxame. Sua utilização pode significar destacada economia de meios, haja visto o baixo custo relativo dos drones em comparação com equipamentos tradicionais.

Entretanto, fica evidenciada necessidade de alta maturação tecnológica de IA e comunicação segura para executar tal ação. Além disso, a dependência pela largura de faixa do espectro eletromagnético para um número tão elevado de drones requer, novamente, tecnologia apurada para levar a cabo tal emprego.

#### **4.3.7 Defesa Antiaérea (DAAe)**

A utilização dos enxames nesta ação se destaca pelo custo-benefício relativo, uma vez que o custo dos enxames é mais baixo que o de foguetes antiaéreos tradicionais, permitindo o emprego de um número maior de unidades e proporcionando uma defesa em larga escala. Associados à IA, podem se adaptar a diferentes ameaças aéreas ou mudanças no cenário de defesa, contribuindo para a proteção contínua de forças amigas e áreas sensíveis.

Neste contexto operacional, uma das deficiências mais significativas seria a autonomia de voo/alcance, fazendo com que os enxames de defesa fossem disparados a uma distância relativamente curta da área sensível. Outro aspecto são as interferências eletrônicas de um atacante, que podem desorientar e neutralizar as capacidades de defesa dos enxames.

Apesar de enxames defensores poderem não possuir coordenação mútua (o que diminuiria essa vulnerabilidade às interferências eletrônicas), a possibilidade de fogo amigo é uma preocupação real, pois drones defensivos podem acidentalmente alvejar uns aos outros durante operações intensas.

## **5 CONCLUSÃO**

O presente artigo científico explorou o impacto dos enxames de drones nas Ações de Força Aérea, revelando um potencial transformador para a guerra aérea. O objetivo da pesquisa, que era identificar como o emprego de enxames de drones pode influenciar as Ações de Força Aérea, foi alcançado por meio de uma revisão bibliográfica abrangente e de uma análise SWOT.

As evidências encontradas indicam que os enxames de drones podem influenciar significativamente 13 das 55 Ações de Força Aérea da FAB. O baixo custo e a versatilidade

dos enxames de drones permitem que a FAB realize missões de Ataque com maior poder de fogo e menor custo, adaptando-se a diferentes alvos e cenários.

No Reconhecimento Aeroespacial, a capacidade de penetração em áreas hostis e a integração de sensores avançados proporcionam coleta de informações estratégicas em tempo real. Na Supressão de Defesa Antiaérea Inimiga, o baixo custo e a dificuldade de neutralização aumentam a efetividade na saturação das defesas inimigas. Já na Vigilância Aérea, o controle centralizado e a coordenação autônoma por IA permitem vigilância contínua e adaptável.

Além disso, o estudo identificou o potencial para o emprego de enxames em quatro novas ações ainda não previstas na doutrina: Engodo, com drones isca para confundir o inimigo; Pacote de Enxames, com grupos de drones atuando de forma coordenada em diferentes funções; Negação de Área, com drones formando barreiras físicas e virtuais; e Transporte Leve, com drones entregando suprimentos e equipamentos em locais de difícil acesso.

A análise SWOT revelou que os enxames de drones apresentam diversas vantagens, como baixo custo, autonomia, versatilidade e poder de penetração, mas também desafios, como vulnerabilidades a ataques eletrônicos e limitações de carga útil. As oportunidades residem no avanço tecnológico contínuo e no investimento em pesquisa e desenvolvimento, enquanto as ameaças incluem o desenvolvimento de armas antidrone e as complexidades éticas e legais do uso autônomo da força.

As principais contribuições deste estudo para a FAB incluem a identificação de novas possibilidades de execução de Ações de Força Aérea com o emprego de enxames de drones, bem como a realização de novas ações com esta tecnologia, o que pode contribuir com o desenvolvimento de novas táticas e doutrinas operacionais. Adicionalmente, a análise SWOT contribui com um panorama abrangente dos desafios e das oportunidades dessa tecnologia.

Este estudo foi limitado pela falta de dados sobre o uso de enxames em cenários reais de combate, e pela natureza sensível de algumas informações sobre essa tecnologia. Em contrapartida, fornece uma base teórica para pesquisas futuras, que podem investigar o desempenho dos enxames em situações reais, a análise de um tipo específico de drone na execução de determinada ação e também o estudo de protocolos seguros de comunicação entre os drones do enxame.

## REFERÊNCIAS

ANDRE, Dave. **All About AI**: o que é inteligência de enxame? 2024. Disponível em: <https://www.allaboutai.com/pt-br/glossario-inteligencia-artificial/inteligencia-de-enxame/>. Acesso em: 23 abr. 2024.

ARMY, Defense News. **Global Defense News**: UK officially unveils its new radio frequency cannon designed to counter drone swarms. 2024. Disponível em: <https://armyrecognition.com/news/army-news/army-news-2024/uk-officially-unveils-its-new-radio-frequency-cannon-designed-to-counter-drone-swarms>. Acesso em: 20 maio 2024.

BAJAK, Frank. **Associated Press News**: US-China competition to field military drone swarms could fuel global arms race. 2024. Disponível em: <https://apnews.com/article/us-china-drone-swarm-development-arms-race-e5808a715415d709f466da00cdeab10f>. Acesso em: 23 maio 2024.

BARREIROS, Daniel. **Projeções sobre o Futuro da Guerra**: tecnologias disruptivas e mudanças paradigmáticas (2020 - 2060). 2019. 38 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Economia Política Internacional, Instituto de Economia, UFRJ, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: [https://www.ie.ufrj.br/images/IE/TDS/2019/TD\\_IE\\_025\\_2019\\_BARREIROS.pdf](https://www.ie.ufrj.br/images/IE/TDS/2019/TD_IE_025_2019_BARREIROS.pdf). Acesso em: 13 mar. 2024.

BISHT, Inder Singh. **The Defense Post**: France Seeks Drone Swarm Air Defense Spoofing. 2023. Disponível em: <https://www.thedefensepost.com/2023/11/23/france-drone-swarm-defense/>. Acesso em: 25 maio 2024.

BOYCE, Dan. **CPR News**: From AI to drone swarms, here's some of what Air Force Academy Cadets will study in new Cyber Innovation Center. 2024. Disponível em: <https://www.cpr.org/2024/05/06/new-cyber-innovation-center-at-air-force-academy/>. Acesso em: 26 maio 2024.

BRAR, Aadil. **Newsweek**: How Drones Might Decide a Future US-China War. 2024. Disponível em: <https://www.newsweek.com/china-drone-war-conflict-swarms-future-1881736>. Acesso em: 26 maio 2024.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA nº 928/DNOR8, de 15 de maio de 2023. Aprova a reedição da ICA 100-40, Instrução sobre “Aeronaves não tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, nº 103, 6 jun. 2023.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. Portaria nº 1.224/GC3, de 10 de novembro de 2020. Aprova a reedição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (DCA-1-1) - Volume 1. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, nº 205, f.14971, 12 nov. 2020.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. Portaria nº 1.225/GC3, de 10 de novembro de 2020. Aprova a edição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (DCA 1-1) - Volume 2. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, nº 205, f. 14971, 12 nov. 2020.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria nº 2.102/GC3, de 18 de dezembro de 2018. Aprova a reedição do Plano Estratégico Militar da Aeronáutica. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF nº 222, 20 dez. 2018.

BRISCOE, Scott. **Security Management**: Drone Swarms: The Good, The Bad, and The Terrifying Future. 2023. Disponível em: <https://www.asisonline.org/security-management-magazine/latest-news/today-in-security/2023/september/drone-swarms-good-bad-and-terrifying/>. Acesso em: 01 jun. 2024.

CHEEK, Robert. **National Defense**: autonomous swarm drones new face of warfare. 2023. Disponível em: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2023/12/13/industry-perspective-autonomous-swarm-drones-new-face-of-warfare>. Acesso em: 17 maio 2024.

CHOPRA, Anil. **The Eurasian Times**: us bets on ‘drone swarms’ to stop china’s invasion of Taiwan [...]. 2024. Disponível em: <https://www.eurasiantimes.com/us-bets-on-drone-swarms-to-stop-chinas-invasion/>. Acesso em: 23 mar. 2024.

DOMINGUEZ, Gabriel. **The Japan Times**: U.S. allies and partners critical for Pentagon’s drone swarm strategy. 2023. Disponível em: <https://www.japantimes.co.jp/news/2023/09/13/world/politics/us-military-small-drones-allies/>. Acesso em: 23 maio 2024.

FEDOROVYCH, Oleg *et al.* Military logistics planning models for enemy targets attack by a swarm of combat drones. **Radioelectronic and Computer Systems**, v. 2024, n. 1, p. 207–216, 28 fev. 2024. Disponível em: <https://nti.khai.edu/ojs/index.php/reks/article/view/reks.2024.1.16/2282>. Acesso em: 19 maio 2024.

GERSTEIN, Daniel M.; LEIDY, Erin N.. **Emergin Technology and Risk Analysis**: Unmanned Aerial Systems Intelligent Swarm Technology. 2024. RAND Corporation. Disponível em: [https://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RRA2380-1.html](https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA2380-1.html). Acesso em: 23 maio 2024.

GROSS, Judah Ari. **The Times of Israel**: The first AI war. The First AI War. 2021. Disponível em: <https://www.timesofisrael.com/in-apparent-world-first-idf-deployed-drone-swarms-in-gaza-fighting/>. Acesso em: 17 abr. 2024.

GUITTON, Matthieu J. Fighting the Locusts: Implementing Military Countermeasures Against Drones and Drone Swarms. **Scandinavian Journal of Military Studies**, v. 4, n. 1, p. 26–36, 13 jan. 2021. Disponível em: <https://sjms.nu/articles/10.31374/sjms.53>. Acesso em: 25 maio 2024.

HAMBLING, David. **Forbes**: Hives for U.S. drone swarms ready to deploy this year. 2024. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2024/05/16/hives-for-us-drone-swarms-ready-to-deploy-this-year/?sh=1ad88c0ee8be>. Acesso em: 20 maio 2024.

HAMBLING, David. **Swarm Troopers**: como os pequenos drones irão conquistar o mundo. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército, 2018. 376 p. Tradução de Paulo Baciuk.

HONRADA, Gabriel. **Asia Times**: China unveils new aerial cluster drone for swarm attacks. 2024. Disponível em: <https://asiatimes.com/2024/03/china-unveils-new-aerial-cluster-drone-for-swarm-attacks/>. Acesso em: 26 maio 2024.

HONRADA, Gabriel. **Asia Times**: Silent lightning: US develops EW drone swarms. 2023a. Disponível em: <https://asiatimes.com/2023/09/silent-lightning-us-develops-ew-drone-swarms/>. Acesso em: 01 jun. 2024.

HONRADA, Gabriel. **Asia Times**: US drone swarm program could redefine modern war. 2023b. Disponível em: <https://asiatimes.com/2023/09/us-drone-swarm-program-could-redefine-modern-war/>. Acesso em: 30 maio 2024.

JENSEN, Benjamin. **War on the Rocks**: Bringing the swarm to life: roles, missions, and campaigns for the replicator initiative. 2024. Disponível em: <https://warontherocks.com/2024/02/bringing-the-swarm-to-life-roles-missions-and-campaigns-for-the-replicator-initiative/>. Acesso em: 20 maio 2024.

JUDSON, Jen. **C4ISRNET**: Army gets first high-power microwave prototype to counter drone swarms. 2023. Disponível em: <https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/2023/11/01/army-gets-first-high-power-microwave-prototype-to-counter-drone-swarms/>. Acesso em: 23 maio 2024.

JUDSON, Jen. **Defense News**: Pentagon's counter-drone office to demo swarm destruction in 2024. 2023a. Disponível em: <https://www.defensenews.com/digital-show-dailies/smd/2023/08/08/pentagons-counter-drone-office-to-demo-swarm-destruction-in-2024/>. Acesso em: 23 maio 2024.

JUNQUEIRA, Felipe. **TudoCelular.com**: Jogos Olímpicos 2018! Evento marca [...]. Disponível em: [https://www.tudocelular.com/tech/noticias/n120014/drones-recorde-jogos-olimpicos.html#google\\_vignett](https://www.tudocelular.com/tech/noticias/n120014/drones-recorde-jogos-olimpicos.html#google_vignett). Acesso em: 13 abr. 2024.

KALLENBORN, Zachary. **Modern War Institute**: swarm clouds on the horizon? [...]. 2024. Disponível em: <https://mwi.westpoint.edu/swarm-clouds-on-the-horizon-exploring-the-future-of-drone-swarm-proliferation/>. Acesso em: 19 maio 2024.

KELLER, Jared. **Military.com**: top general in mideast calls for microwave weapons for 'layered' defense against drone swarms. 2024. Disponível em: <https://www.military.com/daily-news/2024/03/08/top-general-mideast-calls-microwave-weapons-layered-defense-against-drone-swarms.html>. Acesso em: 23 maio 2024.

KREPINEVICH, Andrew F.. **The Origins of Victory**: how disruptive military innovation determines the fates of great powers. New Haven: Yale University Press, 2023. *E-book*.

MAYADEEN, Al. **Al Mayadeen**: drone swarms en route to alter global balance of military power via AI. 2024. Disponível em: <https://english.almayadeen.net/news/politics/drone-swarms-en-route-to-alter-global-balance-of-military-po>. Acesso em: 19 maio 2024.

NORMANDO, Célio. **Medium**: matriz swot. Matriz SWOT. 2024. Disponível em: <https://medium.com/@celionormando/matriz-swot-5137146183a3>. Acesso em: 20 maio 2024.

OSBORN, Kris. **Warrior Maven**: Pentagon "Replicator" Drone Swarms Introduce New Tactics. 2023. Disponível em: <https://warriormaven.com/air/pentagon-replicator-drone-swarms-introduce-new-tactics>. Acesso em: 26 maio 2024.

PAIVA, Fábio Augusto Procópio de. **Otimização por Enxame de Partículas**: usando uma adaptação de serendipidade. Natal: Editora Ifrn, 2018. 96 p. Disponível em:

<https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1663/Otimiza%C3%A7%C3%A3o%20por%20Exame%20-%20E-B>. Acesso em: 20 abr. 2024.

PECK, Michael. **Yahoo News**: Swarms of drones are a rising threat to the US homeland, and law enforcement isn't ready. 2024. Disponível em: <https://ca.news.yahoo.com/swarms-drones-rising-threat-us-090002634.html>. Acesso em: 01 jun. 2024.

ROSA, Carlos Eduardo Valle. **Poder Aéreo**: guia de estudos. Rio de Janeiro: Luzes, 2014. 467 p.

ROSEN, Brianna. **Just Security**: AI and the Future of Drone Warfare: Risks and Recommendations. 2023. Disponível em: <https://www.justsecurity.org/89033/ai-and-the-future-of-drone-warfare-risks-and-recommendations/>. Acesso em: 01 jun. 2024.

SABALLA, Joe. **The Defense Post**: US Air Force Eyes Launching Drone Swarms From KC-135 Tanker Aircraft. 2023. Disponível em: <https://www.thedefensepost.com/2023/09/13/us-drone-swarms-tanker/>. Acesso em: 20 maio 2024.

SEFFERS, George. **Signal**: u.s. army to explore isr drone swarms this year. 2024. Disponível em: <https://www.afcea.org/signal-media/intelligence/us-army-explore-isr-drone-swarms-year>. Acesso em: 21 maio 2024.

SHERMAN, Jason. **Scientific American**: New Microwave Weapons Could Defend against Swarms of Combat Drones. 2023. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/new-microwave-weapons-could-defend-against-swarms-of-combat-drones/>. Acesso em: 23 maio 2024.

STAVRIDIS, James. **Bloomberg**: The US Military Is Getting Smaller, Cheaper and Smarter. 2023. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2023-09-01/pentagon-building-killer-drone-swarms-for-possible-war-against-china>. Acesso em: 29 maio 2024.

THAKUR, Aksheev. **The Tribune**: IISc researchers develop algorithm for drone swarms to control forest fires, natural disasters. 2021. Disponível em: <https://www.tribuneindia.com/news/science-technology/iisc-researchers-develop-algorithm-for-drone-swarms-to-control-forest-fires-natural-disasters-602933>. Acesso em: 05 jun. 2024.

VOLPATO, Bruno. **Resultados Digitais**: Tudo sobre a análise SWOT. 2024. Disponível em: <https://www.rdstation.com/blog/marketing/analise-swot/>. Acesso em: 07 maio 2024.

VON CLAUSEWITZ, Carl. **Da Guerra**. 2021. Tradução do inglês para o português de CMG (RRm) Luiz Carlos Nascimento e Silva do Vale. Disponível em: <https://archive.org/details/da-guerra-carl-von-clausewitz/mode/2up>. Acesso em: 20 abr. 2024.

WALDRON, Greg. **Flight Global**: USAF paper explores Chinese research into drone swarms. 2023. Disponível em: <https://www.flightglobal.com/military-uavs/usaf-paper-explores-chinese-research-into-drone-swarms/155322.article>. Acesso em: 30 maio 2024.

WEISGERBER, Marcus. **Defense One**: Defense startups team up to defeat drone swarms. 2023. Disponível em: <https://www.defenseone.com/business/2023/07/defense-startups-team-defeat-swarm-drones/388909/>. Acesso em: 25 maio 2024.

## APÊNDICE A – POSSIBILIDADES DE EMPREGO E AUTORES

(continua)

Possibilidades de Emprego	Autores
Sobrecarregar as defesas e destruir até plataformas militares avançadas.	Al Mayadeen (2024)
Enxames mistos, onde diferentes drones podem ter funções específicas, como reconhecimento, ataque e adaptação a novos objetivos de forma autônoma; Busca e destruição de objetivos.	Bajak (2024)
Um projeto de defesa francês procura enganar aeronaves de combate ou sistemas de defesa aérea através de enxames de drones. A hipótese é de um enxame de pequenos drones aéreos cuja seção transversal de radar coletivo (RCS) se assemelha a um caça a jato.	Bisht (2023)
Eles desempenhariam um papel importante na inteligência e na vigilância - na localização de alvos; Em um cenário de Taiwan, eu esperaria que os drones fossem usados em grande número para vigilância, para confundir as defesas aéreas e também para fins de ataque; Os enxames seriam empregados para confundir ao máximo as defesas aéreas, inclusive induzindo-as a gastar rapidamente todas as suas munições em alvos falsos.	Brar (2024)
Reuniram informações, localizaram alvos e forneceu informações de direcionamento para morteiros guiados; Implantar enxames de veículos autônomos para encontrar mais rapidamente pessoas perdidas na natureza.	Briscoe (2023)
Enxames de drones serão empregados para fins de ISR em território inimigo; Saturação de defesas aéreas inimigas; Drones em grupos de grande número poderiam realizar ataques kamikaze em várias instalações de aeródromos; Eles poderiam encher as pistas e superfícies de operação das aeronaves com bombas retardadas; Um grande enxame de drones poderia afetar o moral do pessoal; Um enxame de drones posicionado na rota de aproximação e decolagem poderia interromper todas as operações aéreas; Grande papel nas operações de força de contra superfície (CSFO), especialmente na interferência aérea ou no apoio aéreo profundo (DAS); Eles podem ser usados contra posições de mísseis e armas de artilharia ou até mesmo contra locais de quartéis-generais; Enxames de drones podem atuar como cercas ao redor de uma Área Vital (VA) e de um Ponto Vital (VP); poderiam desempenhar o papel de sinalizadores de infravermelho e de desviadores de radar. Eles poderiam fazer grandes iscas para desviar o esforço aéreo adversário; Os enxames de drones podem assumir um papel antidrone ou anti-enxame; Eles podem realizar tarefas de apoio aéreo aproximado, reconhecimento e interdição aérea no campo de batalha; Eles serão muito eficazes em funções antipessoal, inclusive em trincheiras e na colocação ou limpeza de campos minados. Eles serão ótimos para ataques em aeródromos e helipontos, depósitos de munição, radar avançado e antenas de comunicação e nós de comando e controle.	Chopra (2024)

(continuação)

Possibilidades de Emprego	Autores
Formação de múltiplos grupos de drones (enxames) de combate para destruir alvos inimigos, onde cada grupo de drones será utilizado e distribuído de acordo com suas características de capacidade de combate e em função da seleção e priorização dos alvos.	Fedorovych <i>et al.</i> (2024)
<p>Uso de enxames de drones equipados com explosivos para atacar infraestruturas críticas;</p> <p>Enxames de drones armados com explosivos visando aglomerações de pessoas;</p> <p>Enxames de drones com capacidade de ataque cibernético ou eletromagnético contra subestações elétricas;</p> <p>Uso de enxames de drones por contrabandistas para realizar reconhecimento e evitar patrulhas de fronteira;</p> <p>Uso de enxames de drones sincronizados e coreografados para shows de luzes, sem capacidade de tomar decisões em tempo real;</p> <p>Enxames de drones carregando sensores, bloqueadores ou outros equipamentos de guerra eletrônica;</p> <p>Uso de enxames de drones para coleta de inteligência, vigilância e reconhecimento.</p>	Gerstein e Leidy (2024)
<p>Uso de drones baratos e simples para realizar ataques suicidas, sobrecarregando as defesas inimigas com números superiores;</p> <p>Drones em enxame podem ser usados para missões de busca e resgate, patrulhando áreas extensas ou específicas de forma eficiente;</p> <p>Enxames de drones podem ser utilizados para patrulhamento e reconhecimento rápido e furtivo em campos de batalha, aproveitando sua capacidade de cobrir grandes áreas e operar de forma autônoma;</p> <p>Drones em enxame podem ser usados para entregar suprimentos de forma coordenada, evitando colisões e garantindo que todos os itens cheguem ao destino;</p> <p>Drones podem ser usados para filmagem coordenada, capturando cenas de múltiplos ângulos simultaneamente;</p> <p>Drones podem usar cargas explosivas menores e mais precisas para demolir estruturas de concreto, como suportes de pontes, de forma mais eficiente do que bombas grandes;</p> <p>Drones podem ser usados para eliminar alvos humanos específicos, como líderes inimigos, com precisão e discrição;</p> <p>Drones usados para negar o acesso a áreas específicas, atacando qualquer pessoa ou veículo que tente entrar na área;</p> <p>Drones usados para causar impacto psicológico, mantendo-se em áreas de combate por longos períodos e atacando alvos esporadicamente para manter o inimigo em estado de alerta constante.</p>	Hambling (2018)
<p>Manter vigilância constante 24/7 sobre uma região ou alvo;</p> <p>Enxames mistos de guerra eletrônica, drones isca e de supressão de defesa.</p>	Hambling (2024)
Enxames autônomos de drones poderiam funcionar com plataformas tripuladas furtivas, como F-35 e F-22, para atingir navios de guerra, aeronaves e baterias de mísseis chineses. Os drones em rede aumentariam a consciência situacional e as capacidades de aquisição de alvos, ao mesmo tempo que inundariam os radares inimigos com múltiplos alvos.	Honrada (2023b)
<p>Os drones de guerra eletrônica podem operar como parte de um enxame maior com drones de reconhecimento e munições vagantes;</p> <p>Primeiro, os drones de reconhecimento detectariam possíveis alvos. Então, os drones de guerra eletrônica forneceriam interferência eletromagnética para suprimir as defesas aéreas inimigas, permitindo que munições ociosas fossem usadas para matar. Eles também poderiam trabalhar no sentido inverso, agindo como iscas de sinalização para atrair as defesas aéreas inimigas a revelarem suas posições, após o que as munições vagantes podem atacar.</p>	Honrada (2023a)

(continuação)

Possibilidades de Emprego	Autores
<p>“Drone Cluster” - pode ser dividido em dois, três ou até seis drones menores, dependendo das necessidades de batalha. Cada um pode desempenhar uma função específica, como comando, vigilância, rastreamento e até ataque, enquanto colabora para completar uma missão;</p> <p>Estes novos drones podem ser agrupados numa ogiva agrupada num míssil, tornando-se bombas inteligentes que podem procurar e destruir alvos de forma autônoma;</p> <p>Esses UAS também podem ser mini minas aéreas, semelhantes a munições ociosas maiores;</p> <p>Drones em miniatura poderiam ser lançados em um ambiente onde pudessem patrulhar e responder a estímulos específicos detectáveis com sensores a bordo;</p> <p>Operações especiais de pequena escala também são aplicações possíveis de drones cluster, proporcionando um multiplicador de força para equipes de forças especiais ao criar enxames de drones no nível tático.</p>	Honrada (2024)
<p>Procurar, subjugar e destruir as defesas aéreas inimigas, abrindo caminho para aeronaves tripuladas;</p> <p>Enxames simples e desarmados de drones para recolha de informações e resposta a desastres;</p> <p>Assumir o papel tático de armas convencionais, como morteiros, fornecendo efeitos de longo alcance com maior mobilidade e Capacidades de recolha de informações;</p> <p>Escortar caças tripulados F-22 e F-35 (XQ-58 Valkyrie).</p>	Kallenborn (2024)
<p>Os enxames de drones podem criar redundância para a vigilância, cobrindo uma área com um grande número de sensores, testando ou penetrando sistemas de defesa aérea inimigos com grande volume ou mesmo operando como bloqueadores ou telas EW protegendo sistemas de comunicação, orientação e radar de plataformas maiores.</p>	Osborn (2023)
<p>Pacotes de pequenos drones explodindo poderiam devastar a rede elétrica dos EUA e outras infraestruturas críticas, ou causar vítimas em massa em estádios e outros eventos lotados;</p> <p>Um enxame com capacidade de ataque cibernético ou eletromagnético visando uma subestação de energia elétrica;</p> <p>Um enxame sendo empregado por contrabandistas para realizar reconhecimento para evitar patrulhas de fronteira.</p>	Peck (2024)
<p>Enxames de drones habilitados para IA que comunicam entre si e trabalham em conjunto (e com humanos) para destruir infraestruturas críticas e outros alvos.</p>	Rosen (2023)
<p>Lançar um enxame de drones a partir de aeronaves de reabastecimento aéreo KC-135, que atuarão como iscas ou sensores remotos para apoiar missões de combate aéreo;</p> <p>Drones lançados a partir do KC-135 poderiam fornecer posicionamento, navegação e cronometragem para meios militares que não os possuem;</p> <p>Eles também poderiam entregar coletes salva-vidas ou outros equipamentos aos pilotos abatidos no campo de batalha;</p> <p>Tais aplicações permitirão que os drones lançados por navios-tanque apoiem missões de busca e salvamento em combate;</p> <p>Os UAVs podem atuar como retransmissores de comunicações e compartilhamento de dados, considerando as capacidades aprimoradas de interferência e falsificação de adversários.</p>	Saballa (2023)
<p>Utilização como plataforma de ISR de curto alcance e voo em baixa altitude capaz de alertar tropas a pé sobre ameaças de alta prioridade que requerem atenção.</p>	Seffers (2024)

(conclusão)

Possibilidades de Emprego	Autores
A aprendizagem automática permitirá que dezenas de drones voem ao mesmo tempo em “enxames” maiores e coordenados que poderão sobrecarregar as defesas tradicionais com ainda mais facilidade.	Sherman (2023)
Mobilização de dois enxames separados de veículos pequenos e não tripulados. O primeiro grupo, com dezenas de milhares, concentrar-se-ia na vigilância e no reconhecimento, enviando de volta incontáveis milhões de bits de dados para formar uma imagem precisa do alvo. Em segundo lugar, o espaço de batalha seria entregue a centenas ou milhares de veículos suficientemente grandes para acomodar cargas de explosivos. Trabalhando ao lado deles estariam drones realizando ataques cibernéticos para cegar o inimigo, efetivamente “ocultando” as nossas próprias forças e, ao mesmo tempo, destruindo a capacidade de combate do inimigo; Em vez de depender de satélites de comunicações enormes e extremamente caros, poderá fazer sentido utilizar enxames de satélites baratos com ligações entre si e com estações terrestres.	Stavridis (2023)
Os pesquisadores do Instituto Indiano de Ciência (IISc) desenvolveram um algoritmo que busca usar vários enxames de drones para enfrentar desastres naturais como incêndios florestais.	Thakur (2024)
Incluindo aquisição de imagens de vários pontos de vista, reconhecimento, contramedidas eletrônicas e ataques de precisão.	Waldron (2023)

**Fonte:** O autor.

## APÊNDICE B – FORÇAS (*STRENGTHS*) E AUTORES

Forças	Autores
Possuem graus de autonomia em relação ao controle/intervenção humana por meio da IA; tomada de decisão descentralizada; auto coordenação.	Kallenborn (2024); Bajak (2024); Chopra (2024); Waldron (2023); Thakur (2024); Hambling (2018)
Baixo custo em relação a aeronaves tripuladas/descartáveis, possibilitando emprego em maior quantidade.	Bajak (2024); Chopra (2024); Stavridis (2023); Gerstein e Leidy (2024)
Adaptar/mudar de objetivo no meio da missão.	Bajak (2024); Al Mayadeen (2024); Hambling (2018)
Um operador humano controla várias unidades.	Bajak (2024); Hambling (2018); Gerstein e Leidy (2024)
Podem não depender de sinais eletrônicos e de GPS.	Chopra (2024); Briscoe (2023); Honrada (2023b)
Modelos/tecnologias básicas já disponíveis comercialmente.	Chopra (2024); Hambling (2018); Gerstein e Leidy (2024)
Requerem pouca infraestrutura de apoio.	Cheek (2023); Dominguez (2023); Giutton (2021)
Mais difíceis de neutralizar em comparação com plataformas tradicionais.	Dominguez (2023); Hambling (2018); Gerstein e Leidy (2024)
Alto poder de penetração em área negada, baixa detecção, furtividade.	Briscoe (2023); Hambling (2018); Gerstein e Leidy (2024)
Alta precisão no atingimento dos alvos.	Kallenborn (2024); Hambling (2018)
Reorganizam-se após perdas para prosseguirem no objetivo, alta resiliência.	Bajak (2024); Hambling (2018)
Proporcionam menor risco para pilotos/combatentes – missões mais arriscadas.	Chopra (2024); Briscoe (2023)
Empregáveis em vasta gama de missões.	Cheek (2023); Briscoe (2023)
Operam em massa propiciando sinergia de ataques.	Hambling (2018); Gerstein e Leidy (2024)
Relação de custo/potencial de dano extremamente favorável.	Dominguez (2023); Jensen (2024)
Equipados com IA podem sobrecarregar o ciclo OODA gerenciado por humanos.	Al Mayadeen (2024)
Realizam missões de plataformas caras com menor custo/risco.	Briscoe (2023)
Possuem componentes modulares, fácil reparo e substituições.	Chopra (2024)
Exercem poder de dissuasão.	Cheek (2023)
Reduzem carga cognitiva humana.	Seffers (2024)
Modelos cluster podem desmembrar-se em vários drones.	Honrada (2024)
Facilidade de montagem e entrada em operação.	Stavridis (2023)
Podem sem equipados com algumas medidas anti-drones.	Honrada (2023b)
Facilidade de transporte.	Giutton (2021)

### APÊNDICE C – FRAQUEZAS (*WEAKNESSES*) E AUTORES

Fraquezas	Autores
Eficácia dependente de tecnologia robusta (comunicação segura e algoritmos de IA) ainda não totalmente pronta.	Kallenborn (2024); Bajak (2024); Honrada (2024); Honrada (2023b); Waldron (2023); Dominguez (2023); Gerstein e Leidy (2024)
Vulnerabilidade a ataques eletrônicos e cibernéticos devido às comunicações.	Chopra (2024); Honrada (2023b); Briscoe (2023); Hambling (2018); Giutton (2021)
Limitação de carga útil (poder cinético/ computacional/ autonomia de voo).	Honrada (2024); Waldron (2023); Dominguez (2023); Hambling (2018)
Enxames numerosos exigem significativa capacidade de produção e manutenção.	Kallenborn (2024); Bajak (2024); Hambling (2018)
Dependência da largura de banda/faixa do espectro eletromagnético.	Honrada (2024); Honrada (2023b); Waldron (2023)
Incerteza quanto à eficácia em combate.	Kallenborn (2024)
Sensíveis a ambientes complexos e variáveis devido à limitação tecnológica (sensores/algoritmos).	Honrada (2024)
Sensíveis a condições climáticas adversas.	Hambling (2018)
Estrutura frágil.	Hambling (2018)
Baixo grau de coordenação pode causar fratricídio.	Giutton (2021)
Ataques com impactos predominantemente locais.	Gerstein e Leidy (2024)

**APÊNDICE D – OPORTUNIDADES (*OPPORTUNITIES*) E AUTORES**

Oportunidades	Autores
Incentivo governamental e privado no desenvolvimento de enxames (EUA - Replicator, LOCUST).	Kallenborn (2024); Honrada (2023b); Dominguez (2023); Osborn (2023); Hambling (2018)
Integração de sensores e convergência de novas tecnologias está em plena expansão (IA, IoT, learning machine, rede 5G, redes mesh, etc.).	Seffers (2024); Honrada (2023b); Gerstein e Leidy (2024)
Tecnologia básica já disponível comercialmente.	Kallenborn (2024)
Parcerias com Estados aliados (conceitos de emprego, doutrinas, tecnologias).	Kallenborn (2024)
Integração com módulo Hive (maior automação, capacidade de vigilância, download de dados, mobilidade).	Hambling (2024)
Construção do Madera Cyber Innovation Center na Air Force Academy (EUA).	Boyce (2024)
Redução significativa nos preços dos drones.	Hambling (2018)
Desenvolvimento de micromunições e explosivos (maior eficácia).	Hambling (2018)
Aumento da aceitação da tecnologia de enxameamento.	Hambling (2018)
Alto custo de implementação de sistemas antidrones.	Gerstein e Leidy (2024)
Integração com módulo Hive (maior automação, capacidade de vigilância, download de dados, mobilidade).	Hambling (2024)
Construção do Madera Cyber Innovation Center na Air Force Academy (EUA).	Boyce (2024)
Redução significativa nos preços dos drones.	Hambling (2018)

## APÊNDICE E – AMEAÇAS (*THREATS*) E AUTORES

Ameaças	Autores
Armas de energia dirigida (laser de alta potência, Micro-ondas de alta potência).	Defense News Army (2024); Chopra (2024); Keller (2024); Judson (2023); Honrada (2023b); Judson (2023a); Weisgerber (2023); Sherman (2023); Hambling (2018); Giutton (2021); Gerstein e Leidy (2024)
Interferência nos sinais (eletrônica, cibernética, gps).	Honrada (2023b); Judson (2023a); Weisgerber (2023); Hambling (2018); Gerstein e Leidy (2024)
Enxames e drones antidrones/ anti enxames.	Chopra (2024); Honrada (2023a); Honrada (2023b); Hambling (2018); Giutton (2021)
Restrições éticas legais (máquinas com autonomia para matar; responsabilização por erros; armas de destruição em massa).	Kallenborn (2024); Cheek (2023); Honrada (2023b); Rosen (2023)
Armamento de fogo direto convencional (foguetes, rifles, canhões, metralhadoras).	Chopra (2024); Judson (2023a); Weisgerber (2023); Giutton (2021)
Investimento governamental (EUA) em armas antidrones (C-UAS).	Judson (2023a); Sherman (2023); Gerstein e Leidy (2024)
Armas emissoras de pulso eletromagnético.	Chopra (2024); Hambling (2018)
Confidencialidade e restrições no compartilhamento e divulgação da tecnologia mais avançada.	Kallenborn (2024); Waldron (2023)
Congestionamento do espectro eletromagnético.	Honrada (2024)
Serpentinas de nylon.	Chopra (2024)
Redes de disparo.	Chopra (2024)
Restrições orçamentárias para desenvolvimento de tecnologias inovadoras.	Seffers (2024)
Mentalidade tradicionalista dos decisores.	Stavridis (2023)