

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

**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM  
GUERRA ELETRÔNICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**TÁTICA DE MATILHA 4.0: o emprego de veículos aéreos e de superfície colaborativos em  
ações de ataque eletrônico**



**PRIMEIRO-TENENTE CHRISTIAN TOSHIO ITO**

Rio de Janeiro  
2023

PRIMEIRO-TENENTE CHRISTIAN TOSHIO ITO

TÁTICA DE MATILHA 4.0: o emprego de veículos aéreos e de superfície colaborativos em ações de ataque eletrônico

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

Orientadores:

CMG André Felipe Rosa França de Carvalho

Prof. Dr<sup>a</sup>. Marta Pudwell

CIAA  
Rio de Janeiro  
2023

PRIMEIRO-TENENTE CHRISTIAN TOSHIO ITO

TÁTICA DE MATILHA 4.0: o emprego de veículos aéreos e de superfície colaborativos em ações de ataque eletrônico

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

Aprovada em 22 de novembro de 2023

Banca Examinadora:

Marta Pudwell Chaves de Almeida, DSc – PUC

*Marta Pudwell C. Almeida*

André Felipe Rosa França de Carvalho - CDDGN

*André Felipe Rosa França de Carvalho*  
ANDRÉ FELIPE ROSA FRANÇA DE CARVALHO  
Capitão de Mar e Guerra  
Vice-Diretor Interno

Guilherme Ribeiro Colen, DSc – CIAA

*Guilherme Ribeiro Colen*

Robson Ribeiro Carreira, DSc – CIAA

*Robson Ribeiro Carreira*

CIAA  
Rio de Janeiro  
2023

Dedico esse trabalho àqueles que se sacrificam  
diuturnamente para a Defesa da Pátria.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por ter me ofertado a dádiva da vida e por todas as conquistas.

À minha esposa por ser o meu porto seguro nos momentos de mares bravios na singradura da minha vida e por ser meu alicerce.

Ao meu filho por ser a maior benção e alegria da minha vida. A sua existência em minha vida é a força motriz que me impulsiona a ser a minha melhor versão.

Aos meus grandes amigos que fiz nos bancos escolares e conveses de aço da Marinha do Brasil.

“Toda guerra é baseada é na  
dissimulação”

Sun Tzu

TÁTICA DE MATILHA 4.0: o emprego de veículos aéreos e de superfície colaborativos em ações de ataque eletrônico.

## **Resumo**

O espectro eletromagnético (EEM) é um recurso crítico para a guerra naval moderna. O EEM é usado para uma ampla variedade de tarefas essenciais, incluindo comando e controle (C2), comunicações, navegação e sistemas de guiagem de armas. Como resultado, as forças navais dependem cada vez mais do EEM para operar em um ambiente cada vez mais complexo. Uma nova abordagem para garantir a superioridade no EEM é o emprego de Veículos Aéreos e de Superfície não Tripulados em ações de ataque eletrônico. O presente trabalho apresenta uma análise sobre a aplicação da tática de matilha em ações de ataque eletrônico no ambiente operacional marítimo. O foco central do estudo está na aplicação da tática de matilha para a realização de ações de ataque eletrônico, abordando especificamente o bloqueio e despistamento eletrônicos na guerra naval. De acordo com o conceito de veículos não tripulados colaborativos, as vantagens proporcionadas pela cooperação entre estes sistemas potencializam o sucesso das operações em cenários complexos e hostis, especialmente se aplicados à guerra eletrônica. Os resultados obtidos por esse estudo apontam para a efetividade da tática de matilha em ações de ataque eletrônico, contribuindo para aprimorar as estratégias navais e a segurança em operações militares. Com base nessas conclusões, novas abordagens podem ser desenvolvidas para otimizar o uso de veículos aéreos e de superfície não tripulados colaborativos em operações futuras.

**Palavras- chave:** tática de matilha; veículos não tripulados; veículos colaborativos; ataque eletrônico.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 A GUERRA ELETRÔNICA NO COMBATE MODERNO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Superioridade no Espectro Eletromagnético.....</b>	<b>10</b>
<b>3 OS VEÍCULOS AÉREOS E DE SUPERFÍCIE NÃO TRIPULADOS.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Veículos aéreos não tripulados.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Veículos de superfície não tripulados.....</b>	<b>15</b>
<b>4 A TÁTICA DE MATILHA E OS VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS COLABORATIVOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Tática de Matilha.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 Inteligência de Enxame.....</b>	<b>21</b>
<b>4.3 Veículos não tripulados colaborativos.....</b>	<b>22</b>
<b>4.4 O emprego de veículos não tripulados em tática de matilha.....</b>	<b>22</b>
<b>4.5 Arquitetura do sistema de veículos colaborativos.....</b>	<b>23</b>
<b>5 APLICAÇÃO EM AÇÕES DE ATAQUE ELETRÔNICO.....</b>	<b>23</b>
<b>5.1 Bloqueio Eletrônico.....</b>	<b>24</b>
<b>5.2 Despistamento Eletrônico.....</b>	<b>28</b>
<b>6 AVALIAÇÃO DE RISCOS E CONTINGÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>
<b>7 ANÁLISE DE EFICÁCIA .....</b>	<b>34</b>
<b>8 CONCLUSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>8.1 Sugestões para futuros trabalhos .....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>



## 1. INTRODUÇÃO

O espectro eletromagnético (EEM) é um recurso crítico para a guerra naval moderna. O EEM é usado para uma ampla variedade de tarefas essenciais, incluindo comando e controle (C2), comunicações, navegação e sistemas de guiagem de armas. Como resultado, as forças navais dependem cada vez mais do EEM para operar em um ambiente cada vez mais complexo. A crescente dependência do EEM as torna vulneráveis a ataques de guerra eletrônica (GE). Ataques eletrônicos (AE) podem ser usados para interromper as comunicações inimigas, bloquear seus radares e impedir o uso de armas com guiagem ativa por radar. Assim como podem ser usados para proteger forças navais amigas e ludibriá-las com táticas de dissimulação.

Para operar efetivamente no EEM moderno, as forças militares devem alcançar a superioridade do espectro eletromagnético (SRIVASTAVA, 2022). Contudo, meios navais e aeronavais convencionais com capacidade de, ou dedicados à guerra eletrônica possuem elevados custos de aquisição e operação, e em situações táticas mais complexas acabam por expor suas tripulações a uma baixa probabilidade de sobrevivência. As recentes inovações tecnológicas na área de veículos aéreos e de superfície não tripulados constituem uma mudança de paradigma e um ponto de inflexão para o desenvolvimento de novas táticas que explorem seu potencial. Dentre as novas aplicações destes meios (autônomos ou remotamente tripulados), o campo da GE se destaca entre os novos avanços nesta incipiente área.

Os modernos veículos aéreos e de superfície não tripulados possuem o grande potencial de operarem de maneira colaborativa em conjunto, ou não, com meios convencionais, podendo adotar uma forma inédita de tática de matilha para executar missões de ataque eletrônico contra uma força naval oponente de capacidade bélica superior. Desta forma, a superioridade no espectro eletromagnético alcançada por meio do emprego desses veículos, por meio da tática de matilha, poderá servir como forma de desafiar assimetricamente uma força hostil que possuirá a vantagem tática.

O presente trabalho tem como objetivo explorar, através de revisão bibliográfica, o emprego dos veículos aéreos não tripulados (VANT) e veículos de superfície não tripulados (VSNT), especificamente em ações de Medidas de Ataque Eletrônico (MAE), utilizando uma nova forma de tática de matilha, a fim de assegurar a superioridade no EEM e assim permitir a neutralização da força naval hostil em um ambiente operacional complexo e assimétrico.

## 2. A GUERRA ELETRÔNICA NO COMBATE MODERNO

A guerra eletrônica desempenha um papel central no combate contemporâneo, evoluindo à medida que a tecnologia avança e se tornando uma das principais áreas de foco para as forças armadas ao redor do mundo. Esta forma de combate refere-se ao uso estratégico do espectro eletromagnético para identificar, localizar, interceptar e, se necessário, perturbar ou neutralizar as capacidades eletrônicas do adversário. No contexto atual, o domínio do espectro eletromagnético não é apenas desejável, mas muitas vezes essencial para o sucesso em conflitos modernos.

Os modernos campos de batalha são definidos pela onipresença de sistemas eletrônicos e de comunicação. Tudo, desde a comunicação entre unidades até a detecção e rastreamento de alvos, depende em grande parte de sistemas eletromagnéticos. A capacidade de comprometer, proteger ou manipular esses sistemas pode oferecer vantagens significativas em um confronto.

O espectro eletromagnético tornou-se uma nova "arena" de combate. Assim como as forças armadas buscam controlar terras, mares, ares e até o ciberespaço, a luta pelo domínio eletromagnético tornou-se uma prioridade.

### 2.1 Superioridade no Espectro Eletromagnético

A supremacia no espectro eletromagnético (EEM) emergiu como um fator determinante na guerra naval contemporânea, moldando profundamente a maneira como as operações navais são concebidas e executadas. Este domínio vai muito além do simples ato de manter comunicações seguras; trata-se de uma questão de tática, estratégia e sobrevivência no complexo cenário naval do século XXI.

Em seu estudo, Srivastava (2022) ressalta que, ao alcançar um domínio efetivo sobre o EEM, uma força naval não apenas assegura canais de comunicação sólidos e impenetráveis, mas também estabelece um alicerce robusto para o comando e controle de suas operações. Esta capacidade é vital, uma vez que a rápida troca de informações e a tomada de decisões informadas são cruciais em situações de combate. Além disso, ao controlar o EEM, é possível otimizar ações de inteligência, vigilância e reconhecimento (*Intelligence, Surveillance and Reconnaissance - ISR*), fundamentais para antecipar movimentações adversárias e planejar estratégias defensivas e ofensivas.

O cenário operacional moderno também demonstra a crescente dependência de tecnologias avançadas, como mísseis guiados, que utilizam o EEM para funções críticas.

Estes sistemas de armas modernos necessitam de sistemas de orientação sofisticados que se baseiam no espectro eletromagnético para os complexos cálculos de solução de tiro e navegação precisa até seus alvos. Assim, a superioridade no EEM não apenas potencializa o emprego eficaz desses armamentos, mas também oferece a capacidade de interromper, desorientar ou neutralizar as ameaças guiadas inimigas.

Adicionalmente, à medida que a guerra moderna evolui, a intersecção entre o EEM e a guerra cibernética torna-se cada vez mais pronunciada. Com forças navais progressivamente ancoradas em sistemas e redes digitais, a capacidade de dominar o EEM não só fortalece a defesa contra ataques cibernéticos, mas também abre oportunidades para explorar falhas e vulnerabilidades nas infraestruturas inimigas.

### **3 OS VEÍCULOS AÉREOS E DE SUPERFÍCIE NÃO TRIPULADOS**

A introdução e disseminação dos Veículos Não Tripulados (VANTs) têm representado um marco crucial na evolução da estratégia militar contemporânea. Essas plataformas autônomas, conhecidas como drones, têm redefinido as operações militares, proporcionando avanços substanciais em diversas frentes.

A capacidade de vigilância e reconhecimento em tempo real é um dos pilares fundamentais dos VANTs. Equipados com uma variedade de sensores, incluindo câmeras de alta resolução, infravermelho e radares avançados, esses sistemas oferecem uma visão abrangente do campo de batalha. Essa capacidade permite a obtenção de informações críticas para a tomada de decisões estratégicas.

Além disso, os VANTs demonstram um notável aprimoramento na precisão de ataques. Ao integrar informações provenientes de sensores com sistemas de mísseis de alta precisão, essas plataformas são capazes de localizar e neutralizar alvos inimigos com uma acurácia sem precedentes. Essa capacidade cirúrgica de ataque minimiza danos colaterais e maximiza a eficácia das operações.

Outra faceta relevante é a contribuição dos VANTs para a guerra eletrônica e a supressão de sistemas de defesa inimiga. Essa capacidade proporciona uma vantagem significativa em operações táticas e estratégicas.

Além disso, os VANTs oferecem flexibilidade operacional e a capacidade de serem desdobrados em locais de difícil acesso ou alto risco para tripulações humanas. Isso os torna ferramentas valiosas em uma ampla gama de cenários, desde missões de vigilância até operações de resposta a crises.

Observa-se que os Veículos Não Tripulados representam um avanço marcante na condução das operações militares modernas, como o VANT MQ-25 ilustrado na Figura 1. Suas capacidades de vigilância em tempo real, precisão em ataques e contribuições para a guerra eletrônica têm transformado a dinâmica dos conflitos armados. Essas plataformas continuam a desempenhar um papel central na estratégia militar contemporânea, influenciando a forma como as operações militares são planejadas e executadas em um ambiente de segurança cada vez mais complexo. Nas próximas subseções serão detalhadas as especificidades desses sistemas.

Figura 1: VANT MQ-25



Fonte: Naval News, 2021<sup>1</sup>

### 3.1 Veículos Aéreos Não Tripulados

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), frequentemente conhecidos como drones, têm traçado um caminho revolucionário no universo da aviação. Suas raízes podem ser identificadas no início do século XX, quando os primeiros protótipos de aeronaves controladas remotamente foram desenvolvidos, primordialmente para fins militares. Estas primeiras versões eram, muitas vezes, utilizadas como alvos em treinamentos de defesa antiaérea. Entretanto, foi a combinação do progresso tecnológico nas áreas de miniaturização, sistemas de controle e avanços em aerodinâmica, especialmente nas últimas décadas do século XX, que realmente pavimentou o caminho para o surgimento dos VANTs modernos.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://www.navalnews.com/naval-news/2021/12/u-s-navy-boeing-complete-first-carrier-tests-for-mq-25/>>. Acesso em: 07 out. 2023.

No cenário contemporâneo, os VANTs têm uma gama diversificada de aplicações. No campo militar, eles se tornaram instrumentos indispensáveis para missões de reconhecimento, vigilância e, em alguns casos, até mesmo de combate, permitindo que as forças armadas realizem operações em áreas de alto risco sem expor diretamente o pessoal. No setor civil, sua adoção cresceu exponencialmente, sendo usados em atividades que vão desde a filmagem aérea e entregas de pequenos pacotes, até o monitoramento agrícola e inspeção de infraestruturas.

Vários atributos tornam os VANTs notáveis. A autonomia avançada, proporcionada por algoritmos sofisticados, permite que muitos desses drones realizem missões complexas com precisão sem precedentes. Além disso, sua capacidade modular permite a integração de diversos tipos de sensores e câmeras, adequando-se às necessidades específicas de cada operação. Esta flexibilidade é reforçada pela sua capacidade de decolagem e aterrissagem em áreas restritas, oferecendo um grau de adaptabilidade que muitas aeronaves tripuladas não possuem. No quesito comunicação, a maioria dos VANTs modernos está equipada com sistemas avançados que permitem uma transmissão de dados em tempo real, facilitando o monitoramento e controle por operadores mesmo a grandes distâncias. Adicionalmente, do ponto de vista econômico, os VANTs apresentam-se como uma opção mais viável para muitas operações, dadas as reduções significativas em custos operacionais e de manutenção, quando comparados a aeronaves tradicionais.

### **3.2 Veículos de Superfície Não Tripulados**

Os Veículos de Superfície Não Tripulados (VSNTs) são emblemáticos das transformações pelas quais a tecnologia marítima tem passado ao longo das décadas. Sua origem remonta ao século XX, período no qual se esboçavam os primeiros experimentos relacionados a barcos controlados remotamente. Esses experimentos iniciais eram, na sua maioria, rudimentares.

Contudo, à medida que avançávamos para as décadas de 1960 e 1970, uma combinação de miniaturização eletrônica e progresso na área da computação começou a dar forma ao que reconhecemos hoje como embarcações autônomas. A verdadeira revolução nos VSNTs, no entanto, aconteceu entre o final do século XX e o início do século XXI. Foi nessa época que a tecnologia alcançou um ponto crítico, graças aos avanços significativos em sistemas de sensores, melhorias nas tecnologias de bateria e a evolução de algoritmos de controle autônomo.

A modernidade trouxe consigo demandas por operações marítimas que fossem simultaneamente mais seguras, econômicas e eficientes. Nesse cenário, os VSNTs mostraram-se não apenas desejáveis, mas muitas vezes essenciais. Suas aplicações são vastas e diversificadas. No domínio científico, têm contribuído para pesquisas oceanográficas, enquanto que no contexto ambiental auxiliam no monitoramento de ecossistemas marinhos sensíveis.

Do ponto de vista militar, as forças navais de diversas nações identificaram nos VSNTs uma oportunidade de ampliar o alcance de suas operações, ao mesmo tempo em que minimizam os riscos humanos associados a missões de reconhecimento e patrulha. No setor privado, empresas especializadas perceberam o potencial desses veículos para tarefas como o mapeamento do leito oceânico e a inspeção de infraestruturas críticas localizadas no mar.

Mas, o que exatamente diferencia os VSNTs? A autonomia é, sem dúvida, uma das suas características mais marcantes. Com algoritmos avançados, esses veículos são capazes de navegar vastas extensões marítimas, executando missões complexas com mínima ou nenhuma intervenção humana. Além disso, eles são projetados para serem extremamente flexíveis, podendo ser equipados com uma variedade de sensores e ferramentas conforme a necessidade da missão.

Figura 2: VSNT Marlin



Fonte: Naval News, 2022<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://www.navalnews.com/naval-news/2022/09/marlin-usv-meet-turkiyes-latest-drone-ship/>>. Acesso em: 07 out. 2023.

Esta adaptabilidade é complementada pela resiliência inerente desses sistemas, que são robustamente construídos para suportar as variadas e, muitas vezes, hostis condições marítimas. Em termos de conectividade, os VSNTs são capazes de se comunicar em tempo real, seja com operadores humanos ou com outras plataformas, utilizando tecnologias avançadas de comunicação. Esta interconexão não só permite o monitoramento constante, mas também uma reatividade inédita em cenários dinâmicos. E, por fim, do ponto de vista econômico, os VSNTs representam uma solução mais acessível para muitas operações, especialmente aquelas de longa duração em regiões remotas ou perigosas.

#### **4 A TÁTICA DE MATILHA E OS VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS COLABORATIVOS**

Com os avanços tecnológicos nas áreas de veículos não tripulados, inteligência artificial e sensores embarcados, o emprego tático desses meios está em constante evolução. Antes operados como mera extensão dos sensores dos meios navais e aeronavais e em tarefas de menor complexidade, a tendência é que esses veículos operem de forma autônoma e em conjunto com navios e aeronaves tripuladas, ou até mesmo sem a presença destes.

Uma abordagem não convencional para o emprego desses veículos em ações de ataque eletrônico é operá-los em uma tática de matilha. Ao combinar VANT e VSNT em uma operação multidomínio, será possível estabelecer a superioridade no espectro eletromagnético em áreas extensas por longos períodos, com um custo operacional consideravelmente inferior se comparado com o emprego de meios tripulados. A variedade de sensores, bloqueadores e despistadores (*decoys*) eletrônicos embarcados em plataformas diversificadas possibilitará uma ampla gama de opções de ações de ataque eletrônico em apoio às operações navais (LIU et al, 2019). Ao utilizar veículos autônomos como elementos de uma matilha, o termo “Tática de Matilha 4.0” cunhado pelo autor faz referência à Revolução Industrial 4.0, que é caracterizada pelo desenvolvimento nas áreas da robótica e automação.

Nos subtópicos abaixo, serão abordados a tática de matilha, a inteligência de enxame e os conceitos operacionais de emprego de veículos não tripulados colaborativos aplicados na guerra eletrônica. Esses conceitos oferecem o potencial de revolucionar a forma como a GE é conduzida, e espera-se que desempenhem um papel importante no futuro da guerra naval.

##### **4.1 Tática de Matilha**

Ao observarmos o comportamento de certos predadores na natureza, uma forma de organização que promove o *swarming* é encontrada entre os animais que se deslocam em grupos. Lobos e hienas são proeminentes nessa categoria, se organizando em unidades pequenas e móveis (matilhas). O sucesso dos predadores que utilizam táticas de matilha depende tanto de sua capacidade de se deslocar por períodos prolongados (permitindo a dispersão do grupo) quanto de sua organização e comunicações – que possibilitam o *swarming* no momento crítico da caça. O melhor exemplo de aplicação militar da tática de matilha é, sem dúvida, a campanha dos submarinos alemães U-boat na Segunda Guerra Mundial (ARQUILLA, 2005).

#### 4.1.1 Histórico

Apesar da persistência da guerra baseada em massa e atrito em uma era de mecanização, houve casos de novas formas de manobra em que linhas ou frentes definidas tinham pouco significado, e onde as formações de batalha eram principalmente dispersas, se reunindo apenas ocasionalmente. Os submarinos alemães na SGM foram implantados de forma amplamente dispersa, reunindo-se para atacar comboios que fossem avistados tentando atravessar o Atlântico. Não havia frentes nessa batalha.

De acordo com Arquilla (2005), enquanto os U-boats eram praticantes ofensivos do *swarming*, também ocorreu uma abordagem defensiva dessa tática durante a Segunda Guerra Mundial. O primeiro desses esforços foi realizado pelo Comando de Caças Britânico, formado no final da década de 1930 – justamente a tempo de desempenhar um papel decisivo na Batalha da Grã-Bretanha. O conceito de operações era simples: a rede de radares seria usada para fornecer um alerta antecipado sobre o tamanho e a direção da vaga atacante alemã, e então a informação seria enviada para bases aéreas amplamente dispersas, das quais as aeronaves defensoras avançariam para o contra-ataque. Ao longo de meses, essa defesa em *swarming* infligiu pesadas perdas à *Luftwaffe*.

Conforme podemos analisar, a tática de matilha pode ser uma estratégia interessante para forças relativamente pequenas, móveis e centradas em rede, operando com uma consciência situacional superior, de otimizar a eficácia das suas operações, mesmo quando o equilíbrio das forças está contra o praticante da tática de matilha.

#### 4.1.2. Análise tática



A tática de matilha, um componente vital na estratégia militar, tem suas raízes nas práticas coletivas de caça observadas em sociedades antigas. Ela representa um método de coordenação entre unidades militares, visando ganhar vantagem estratégica no campo de batalha. Ao longo dos séculos, essa abordagem evoluiu, adaptando-se às mudanças nas estratégias e tecnologias militares.

O cerne da tática de matilha repousa em alguns elementos fundamentais. Em primeiro lugar, a coordenação efetiva entre unidades é essencial. A capacidade de responder a comandos de maneira rápida e precisa é crucial para o sucesso da tática. Qualquer desvio na execução do plano pode ter consequências significativas.

Além disso, a flexibilidade tática é uma característica inerente à tática de matilha. As unidades devem ser capazes de se adaptar em tempo real às dinâmicas do campo de batalha e às ações do inimigo. Isso requer um alto nível de treinamento e confiança entre os membros da matilha.

A força da matilha também reside na complementaridade de habilidades. Cada unidade desempenha um papel único e contribui de maneira distinta para o objetivo comum. Seja por meio de habilidades ofensivas, defensivas ou de suporte, a diversidade de funções é crucial para o sucesso da tática.

A execução da tática de matilha passa por diversas fases. Inicialmente, há o planejamento estratégico, que envolve a definição detalhada do plano, a identificação de objetivos específicos e a atribuição de papéis para cada unidade. Em seguida, durante a movimentação em campo de batalha, a matilha se desloca de forma coordenada, mantendo comunicação constante entre as unidades.

A fase de engajamento tático marca o contato com o inimigo. Neste momento, as unidades atuam de maneira sincronizada, empregando suas habilidades de forma combinada para superar as defesas adversárias e alcançar os objetivos estabelecidos previamente.

Em última análise, a tática de matilha, embora tenha suas raízes em métodos antigos, permanece relevante nos conflitos contemporâneos. A capacidade de coordenação e adaptação a situações dinâmicas a torna uma ferramenta valiosa para comandantes militares. Portanto, a compreensão minuciosa desta abordagem estratégica é crucial para o sucesso em operações militares complexas e em constante evolução.

#### 4.1.3. Comparação com a tática de enxame

A tática de matilha, embora altamente eficaz, não deve ser vista como uma abordagem única e exclusiva. Ela se destaca em sua ênfase na coordenação e complementaridade de habilidades entre as unidades. Contudo, é importante contextualizá-la em relação a outras estratégias, como a tática de enxame.

A tática de enxame, em contraste, se concentra na dispersão e descentralização das forças militares. Em vez de unidades altamente coordenadas, o enxame é composto por muitos elementos que operam de forma autônoma, porém seguindo um objetivo comum. Esta abordagem é frequentemente comparada a um enxame de abelhas, onde cada membro age de forma independente, mas em prol da colmeia. Enquanto a tática de matilha enfatiza a coesão e coordenação, a tática de enxame busca explorar a força da massa e a capacidade de sobrecarga do inimigo. A dispersão das forças dificulta a identificação e a resposta eficaz do adversário, criando um desafio tático único.

Em termos de flexibilidade, a tática de enxame oferece uma vantagem considerável. A autonomia das unidades permite uma adaptação ágil a mudanças no campo de batalha, tornando-a particularmente eficaz em cenários fluidos e imprevisíveis. Entretanto, a tática de enxame também possui suas limitações. A falta de coordenação centralizada pode levar a ações desorganizadas e, em alguns casos, a uma menor eficácia em enfrentar forças inimigas altamente organizadas. Em contrapartida, a tática de matilha, com sua ênfase na coordenação e complementaridade de habilidades, pode ser mais adequada em situações em que a precisão e a sincronização são cruciais. Isso é especialmente evidente em ambientes urbanos ou em operações militares altamente complexas.

Em última análise, a escolha entre a tática de matilha e a tática de enxame dependerá do contexto específico e dos objetivos da operação. Cada uma oferece vantagens distintas e pode ser mais apropriada em determinadas situações. A compreensão das nuances e das capacidades de ambas as táticas é essencial para comandantes militares ao planejar e executar operações estratégicas bem-sucedidas.

## **4.2 Inteligência de Enxame**

A inteligência de enxame é uma abordagem na inteligência artificial que se inspira em fenômenos observados na natureza, onde grupos de indivíduos simples interagem entre si e com o ambiente para alcançar objetivos complexos (PABIGRAHI et al, 2011). A base dessa abordagem reside na ideia de que, mesmo sem um líder central ou conhecimento avançado

por parte dos indivíduos, o comportamento coletivo pode resultar em soluções eficazes para uma variedade de problemas.

Em sistemas naturais, exemplos notáveis de inteligência de enxame incluem colônias de formigas que encontram o caminho mais curto para fontes de alimento, bandos de pássaros que voam em formação para economizar energia, ou cardumes de peixes que se movem em uníssono para escapar de predadores. A chave para o sucesso desses sistemas é a colaboração, a comunicação local, a auto-organização e a capacidade de adaptação.

Na inteligência de enxame, os princípios desses sistemas naturais são aplicados para resolver problemas em diversas áreas, desde otimização e aprendizado de máquina até robótica e tomada de decisões. Algoritmos de inteligência de enxame são projetados para modelar o comportamento coletivo de indivíduos artificiais, como partículas, agentes ou robôs, que interagem entre si e com o ambiente para buscar soluções ótimas ou aproximadas para problemas complexos.

A inteligência de enxame é um campo de pesquisa interdisciplinar que se baseia na observação de sistemas naturais altamente coordenados, como enxames de abelhas, formigas, aves migratórias e cardumes de peixes. Através da análise desses comportamentos coletivos, os pesquisadores desenvolveram algoritmos e estratégias que podem ser aplicados em sistemas tecnológicos, incluindo a inteligência artificial (IA) e veículos não tripulados (VANTs).

Neste subtópico, examinamos em detalhes os princípios fundamentais da inteligência de enxame e suas aplicações nos campos da IA. Abordaremos como os algoritmos inspirados na inteligência de enxame podem ser utilizados para otimizar o desempenho e resolver problemas complexos nessas áreas.

#### 4.2.1. Princípios e Comportamentos da Inteligência de Enxame

A inteligência de enxame se baseia em uma série de princípios e comportamentos que são essenciais para o funcionamento eficaz desses sistemas. De acordo com Panigrahi et al (2011) esses princípios são os seguintes:

- I) **Comportamento Cooperativo:** Em sistemas de enxame, a colaboração é fundamental. Os indivíduos devem trabalhar juntos em direção a um objetivo comum. Isso é evidente em formigas que cooperam para

encontrar comida e em abelhas que colaboram na construção de colmeias e na coleta de néctar.

- II) Comunicação Local: Os membros de um enxame geralmente se comunicam apenas com seus vizinhos imediatos. Essa comunicação é baseada em informações locais e simples. Por exemplo, pássaros em um bando podem ajustar sua posição com base na posição e movimento dos pássaros próximos.
- III) Auto-organização: A auto-organização é um processo pelo qual a estrutura e o comportamento do enxame emergem das interações locais entre os indivíduos. Isso pode resultar em padrões surpreendentes e eficazes, como a formação de trilhas de feromônios em formigas ou o alinhamento de peixes em um cardume.
- IV) Adaptação: Os sistemas de enxame têm a capacidade de se adaptar ao ambiente em mudança. Eles podem ajustar seus comportamentos e estratégias com base em novas informações ou em condições adversas, o que os torna resilientes e flexíveis.
- V) Exploração: Enxames equilibram a exploração de novas opções com a exploração de opções conhecidas e promissoras. Isso ajuda a evitar que fiquem presos em soluções subótimas e permite que se adaptem a cenários dinâmicos.
- VI) Robustez: A inteligência de enxame frequentemente exhibe robustez, o que significa que podem manter um desempenho eficaz mesmo quando alguns membros do enxame falham ou são removidos. Isso é evidente em colônias de insetos, onde a perda de alguns indivíduos não prejudica gravemente a capacidade da colônia de realizar suas tarefas.

Esses princípios e comportamentos naturais servem como base para o desenvolvimento de algoritmos de inteligência artificial baseados em enxame, que têm uma ampla variedade de aplicações em problemas do mundo real, desde otimização de problemas complexos até controle de sistemas autônomos, aprendizado de máquina e muito mais. O entendimento aprofundado desses princípios é fundamental para aproveitar todo o potencial da inteligência de enxame na resolução de desafios complexos e na criação de sistemas adaptativos e eficazes.

#### 4.2.2 Algoritmos de Inteligência de Enxame

A inteligência de enxame é um campo da inteligência artificial que se baseia na observação do comportamento coletivo de sistemas naturais para desenvolver algoritmos e técnicas de otimização e resolução de problemas complexos. Além dos algoritmos mencionados *a posteriori*, como *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Ant Colony Optimization* (ACO), *Boids Algorithm* e algoritmos de Partículas Discretas (DPSO), existem outros algoritmos notáveis que também se encaixam nessa categoria. Abaixo, expandiremos a discussão sobre esses algoritmos e suas aplicações na inteligência artificial, segundo o trabalho de Panigrahi et al (2011):

##### I) *Particle Swarm Optimization* (PSO)

O *Particle Swarm Optimization* (PSO) é um dos algoritmos mais conhecidos e amplamente utilizados na inteligência de enxame. Ele foi desenvolvido por Kennedy e Eberhart em 1995 (PANIGRAHI et al, 2011), com inspiração no comportamento social de pássaros e cardumes de peixes. O PSO opera com uma população de partículas, onde cada partícula representa uma solução candidata em um espaço de busca multidimensional. Cada partícula ajusta sua posição e velocidade com base em sua experiência pessoal e na experiência coletiva do enxame. O objetivo é encontrar a melhor solução possível em um espaço de busca complexo.

As partículas são influenciadas por duas melhores posições que já encontraram: sua melhor posição pessoal (melhor solução até o momento) e a melhor posição global do enxame (melhor solução encontrada por qualquer partícula). Essas influências guiam o movimento das partículas em direção a soluções ótimas ou quase ótimas. O PSO é amplamente aplicado em problemas de otimização contínua, como otimização de funções matemáticas, ajuste de hiperparâmetros em modelos de aprendizado de máquina, otimização de rotas e muito mais.

##### II) *Ant Colony Optimization* (ACO)

O *Ant Colony Optimization* (ACO) é outro algoritmo notável de inteligência de enxame inspirado no comportamento das formigas. Ele foi introduzido por Dorigo et al. em 1992. No ACO, as formigas são consideradas agentes que procuram encontrar o caminho mais curto para uma fonte de alimento. Elas deixam trilhas de feromônios no ambiente, e a intensidade dessas trilhas afeta a probabilidade de outras formigas seguirem o mesmo

caminho. Com o tempo, as trilhas de feromônios se ajustam, levando ao reforço das rotas mais curtas.

O ACO é amplamente utilizado em problemas de otimização de roteamento, como o problema do caixeiro viajante (TSP) e problemas relacionados a redes, onde é necessário encontrar os caminhos mais eficientes em grafos ponderados.

### III) *Grey Wolf Optimization (GWO)*

O *Grey Wolf Optimization (GWO)* é um algoritmo de otimização inspirado no comportamento social das alcateias de lobos cinzentos. Desenvolvido por Mirjalili et al. em 2014, o GWO se baseia em quatro tipos de lobos: os lobos alfa, beta, delta e ômegas. Cada um desses lobos representa uma solução candidata no espaço de busca.

- a) Lobos Alfa, Beta e Delta: Os lobos alfa, beta e delta são os líderes da alcateia e representam as três melhores soluções até o momento na busca pela otimização. Esses lobos guiam o processo de busca e influenciam as posições dos outros membros da alcateia.
- b) Lobos Ômegas: Os lobos omegas representam soluções candidatas menos promissoras, mas ainda são importantes para manter a diversidade e explorar diferentes partes do espaço de busca.

O GWO utiliza equações matemáticas para simular a movimentação dos lobos em busca de melhores soluções. Eles se movem em direção às posições dos lobos alfa, beta e delta, refletindo o comportamento de busca cooperativa e competitiva observado nas alcateias de lobos reais. Esse equilíbrio entre exploração e exploração permite ao GWO encontrar soluções ótimas ou quase ótimas em problemas de otimização complexos.

### IV) Algoritmos de Exame de Partículas Discretas (DPSO)

Os Algoritmos de Exame de Partículas Discretas (DPSO) são uma variação do PSO projetada para problemas de otimização discreta, nos quais as soluções são representadas por um conjunto finito de elementos discretos, como binários ou inteiros.

Ao contrário do PSO tradicional, onde as partículas ajustam suas posições em um espaço contínuo, o DPSO lida com espaços de busca discretos. Cada partícula representa uma solução candidata discreta, e as operações de movimento são adaptadas para garantir que apenas soluções válidas sejam consideradas.

O DPSO é amplamente aplicado em problemas de alocação de recursos, seleção de recursos em máquinas de aprendizado de máquina, planejamento de horários e otimização de parâmetros discretos em algoritmos de IA.

### 4.2.3 Aplicações em Inteligência Artificial

Os algoritmos de inteligência de enxame, incluindo o PSO, ACO, GWO, DPSO e outros mencionados acima, encontram uma ampla gama de aplicações na inteligência artificial. Essas aplicações podem ser divididas em várias áreas, conforme Feddema et al (2005):

#### I) Otimização

Os algoritmos de inteligência de enxame são amplamente utilizados para resolver problemas de otimização em várias disciplinas. Eles são aplicados em problemas de otimização de funções matemáticas, otimização de roteamento, alocação de recursos e otimização de parâmetros em modelos de aprendizado de máquina.

#### II) Aprendizado de Máquina

Em aprendizado de máquina, esses algoritmos desempenham um papel fundamental na busca de hiperparâmetros ideais para modelos complexos. Eles podem ser usados para otimizar a estrutura de redes neurais, ajustar os parâmetros de algoritmos de aprendizado de máquina e melhorar o desempenho geral dos modelos.

#### III) Detecção de Anomalias

Em segurança cibernética e detecção de fraudes, os algoritmos de inteligência de enxame são aplicados na detecção de anomalias. Eles podem identificar comportamentos suspeitos em grandes conjuntos de dados, ajudando a proteger sistemas contra ameaças.

#### IV) Clusterização

A clusterização é outra aplicação importante, onde esses algoritmos podem agrupar dados em grupos com base em características semelhantes. Isso é usado em segmentação de clientes, análise de dados e classificação de documentos.

#### V) Robótica

Na robótica, algoritmos de enxame são usados para coordenar ações de múltiplos robôs autônomos. Eles podem ser aplicados em sistemas de robótica colaborativa, onde os robôs trabalham juntos para completar tarefas complexas, como exploração de ambientes desconhecidos ou busca e resgate.

Como pudemos observar, os algoritmos de inteligência de enxame, incluindo o PSO, ACO, GWO, DPSO e outros, desempenham um papel crucial no campo da inteligência artificial. Eles oferecem soluções poderosas para uma ampla gama de problemas de otimização, aprendizado de máquina, detecção de anomalias, clusterização e coordenação de sistemas autônomos. À medida que a pesquisa continua avançando, é provável que esses algoritmos continuem a desempenhar um papel fundamental na resolução de problemas complexos e na otimização de sistemas em uma variedade de aplicações da inteligência artificial.

### **4.3 Veículos não tripulados colaborativos**

O conceito de veículos não tripulados colaborativos tem sido uma área de pesquisa e desenvolvimento em constante evolução no campo da engenharia e da tecnologia militar. Esses sistemas envolvem a coordenação e interação entre múltiplos veículos autônomos para alcançar objetivos comuns de forma sinérgica.

Suas origens remontam ao desenvolvimento dos primeiros VANTs, que surgiram com fins de reconhecimento e vigilância na década de 1960. Ao longo dos anos, a tecnologia avançou significativamente, possibilitando o emprego desses sistemas em uma variedade de aplicações militares, como vigilância, inteligência, apoio aéreo, patrulhamento e, mais recentemente, ações de ataque eletrônico.

Detalhes técnicos envolvem a integração de tecnologias avançadas de inteligência artificial, sistemas de comunicação, sensores, processamento de dados em tempo real e capacidade de tomada de decisão autônoma. Esses elementos são fundamentais para permitir a colaboração entre os veículos não tripulados, possibilitando a troca de informações, a coordenação de tarefas e o ajuste de estratégias conforme as condições do ambiente operacional.

Na guerra moderna, os VANTs e VSNTs colaborativos têm sido aplicados em missões complexas e arriscadas, como reconhecimento em áreas hostis, ações de ataque coordenado em alvos estratégicos e operações de busca e salvamento. A utilização desses



sistemas proporciona vantagens significativas, tais como a redução de riscos para os operadores humanos, o aumento da eficiência operacional e a capacidade de atuação em ambientes de difícil acesso ou perigosos.

De acordo com Feddema et al (2005), as perspectivas futuras para os veículos não tripulados colaborativos são promissoras, com o contínuo aprimoramento de suas capacidades técnicas e operacionais. Espera-se que esses sistemas se tornem ainda mais versáteis e integrados, permitindo uma colaboração mais sofisticada e efetiva entre diferentes tipos de veículos aéreos e de superfície. Além disso, a utilização de tecnologias de comunicação avançadas, como a rede 5G, poderá impulsionar a coordenação em tempo real entre os veículos, ampliando suas possibilidades de aplicação em contextos militares e não militares.

#### **4.4 O emprego de veículos não tripulados em tática de matilha**

A fusão da tática de matilha com veículos não tripulados colaborativos que empregam o conceito de inteligência de enxame representa uma convergência de estratégias militares e tecnologias avançadas que promete transformar o paradigma operacional em cenários de conflito contemporâneos.

A essência desta abordagem reside na orquestração sinérgica de veículos não tripulados (VANTs) em uma rede altamente coordenada e interconectada. Esses VANTs são equipados com algoritmos de aprendizado de máquina e sistemas de comunicação de última geração, permitindo a troca de informações em tempo real e a tomada de decisões autônomas em resposta a estímulos do ambiente.

A coordenação avançada é alcançada por meio da implementação de protocolos de comunicação distribuída e algoritmos de roteamento eficientes. Essa rede colaborativa permite a disseminação de informações críticas de forma instantânea e sincronizada entre os VANTs, possibilitando a resposta coordenada a eventos dinâmicos, como mudanças na posição do inimigo ou na topografia do terreno.

A adaptabilidade dinâmica é uma das capacidades mais impressionantes dessa abordagem. Graças à inteligência de enxame, os VANTs possuem a habilidade de se ajustar rapidamente a situações em constante evolução. Sensores avançados, como o LiDAR (*Light Detection and Ranging*) e câmeras de alta resolução, fornecem percepção situacional em tempo real, permitindo a navegação autônoma e a detecção de obstáculos. Além disso, algoritmos de planejamento de trajetória baseados em otimização permitem que os VANTs modifiquem suas rotas em tempo real, evitando colisões e otimizando a execução de tarefas.

A eficiência operacional é consideravelmente ampliada com a implementação dessa estratégia. Os VANTs podem ser programados para realizar uma ampla gama de tarefas, desde reconhecimento e vigilância até operações ofensivas ou de apoio logístico. Isso libera recursos humanos para funções mais estratégicas, onde a tomada de decisões complexas e o julgamento humano são indispensáveis.

No entanto, não se pode subestimar os desafios técnicos inerentes a essa implementação. A segurança cibernética, por exemplo, emerge como uma consideração crítica, dado o nível de interconexão digital envolvido. Mecanismos de autenticação robustos, criptografia avançada e protocolos de segurança devem ser implementados para proteger a integridade da rede contra possíveis ameaças cibernéticas.

Em última análise, a implementação da tática de matilha com veículos não tripulados colaborativos que incorporam o conceito de inteligência de enxame representa um avanço notável no campo militar. Através da combinação de coordenação avançada, adaptabilidade dinâmica e eficiência operacional aprimorada, essa estratégia tem o potencial de redefinir a natureza das operações militares modernas. No entanto, a superação dos desafios técnicos e a adoção de medidas de segurança cibernética são imperativas para garantir o sucesso dessa abordagem inovadora.

#### **4.5 Arquitetura do sistema de veículos autônomos colaborativos**

De acordo com Szczerba e Garrison (2003), a arquitetura de uma Autonomia Colaborativa é segmentada em sete componentes principais:

- I) Planejamento de Missão - desenvolve planos para a equipe e para os veículos individuais. O Planejamento de Missão a bordo do sistema autônomo realiza o pré-planejamento da missão e replanejamento dinâmico durante a missão para a equipe colaborativa. O planejamento de missão desenvolve planos sincronizados e colaborativos para a utilização de sensores, trajetórias de voo, comunicações e engajamentos.
- II) Colaboração - gerencia a formação da equipe e a interação entre os membros da equipe. A colaboração, ou seja, a capacidade de múltiplos veículos interagirem para realizar uma missão em equipe, é inerente à arquitetura de Autonomia Colaborativa. A maioria dos componentes, incluindo o Planejamento de Missão,

Gerenciamento de Contingência, Consciência Situacional e Gerenciamento de Comunicações, são projetados para facilitar as operações colaborativas de uma equipe de veículos. O componente de Colaboração incorpora diversas funções que são exclusivamente necessárias para dar suporte a essa operação. Estas incluem: Compartilhar Informações e tarefas; Alocar Papéis e Responsabilidades; Coordenar a Execução de Tarefas; Formar Equipes de forma dinâmica; Interagir com ativos externos; Interagir com o Combatente Militar Humano.

- III) Gerenciamento de Contingência - detecta, avalia e responde a eventos inesperados. Um desafio chave para operações autônomas bem-sucedidas é a detecção e reação a eventos não planejados que afetam a execução da missão do sistema de veículos. O Gerenciamento de Contingência monitora influências inesperadas que afetam o sucesso do plano da equipe, como falha de carga útil, ordens modificadas, novas restrições operacionais, mudanças nas condições ambientais e outras alterações inesperadas no espaço de batalha. Ele trabalha em conjunto com o componente de Planejamento de Missão para gerar uma resposta eficaz à contingência, permitindo a continuidade da missão.
- IV) Consciência Situacional - cria uma Imagem Operacional Comum Relevante (CROP) para a equipe. O componente de Consciência Situacional coleta dados sobre a situação tática e ambiental externa e os processa em uma Imagem Operacional Comum (CROP), que os outros componentes de Gerenciamento de Missão usam para tomar suas decisões. Um piloto ou membro da tripulação necessita de uma boa consciência situacional para atuar eficazmente em um sistema tripulado. Sistemas autônomos inteligentes também requerem informações completas, pontuais, específicas e relevantes para tomar "decisões" adequadas.
- V) Gerenciamento de Comunicações - Gerencia a interação com os sistemas de comunicação do veículo. O Gerenciamento de Comunicações fornece e gerencia links de dados para conectar os membros da equipe entre si e com ativos externos (por exemplo, ISR e Fogos em Rede) através de redes de campo de batalha. O software de comunicações gerencia esse sistema ao implementar o plano de comunicações fornecido pelo planejamento de missão, utilizando os links de dados do sistema disponíveis, prevendo e monitorando a Qualidade de Serviço (QoS) de comunicação e otimizando o desempenho dos links de dados. As comunicações também podem solicitar ao Planejamento de Missão modificações nos planos para manter a QoS em níveis eficazes.

- VI) Gerenciamento de Veículos Não Tripulados - Gerencia os sistemas de voo, sensores e armamentos do veículo aéreo. O Gerenciamento de Veículos Não Tripulados estabelece a ligação entre os componentes de Autonomia Colaborativa e os sistemas do veículo. Ele traduz tarefas do Planejador de Missões em comandos para sensores, armamentos e sistemas a bordo do veículo e atua como ponto de entrada para informações provenientes desses sistemas de veículos no Gerenciamento de Missão.
- VII) Meta-Controlador de Recursos - Gerencia recursos de processamento e os aloca dinamicamente para diferentes componentes conforme necessário. O Meta-Controlador de Recursos (RMC) é um componente de infraestrutura de software que fornece recursos de processamento e memória para outros componentes. O RMC opera em conjunto com funções de gerenciamento de recursos no nível do sistema operacional. Ele realiza funções de gerenciamento do sistema, como troca de processador, zeragem de memória, troca de dados pré e pós-missão e isolamento de falhas. O RMC gerencia recursos computacionais através do monitoramento de utilização de recursos, alocação de recursos para agentes, recuperação e realocação de recursos, rastreamento de recursos e agendamento e otimização de recursos. O Supervisor de Agentes do RMC gerencia agentes através da criação e destruição de agentes, registro e monitoramento de agentes, atribuição de tarefas e relatórios de status, além da suspensão e retomada de agentes. O RMC proporciona aos outros componentes acesso a dados ao gerenciar intercâmbios de publicação/assinatura, gerenciar retenção de dados e realizar consultas estruturadas mediante solicitação.

Esses componentes atuam em conjunto para alcançar objetivos sem violar restrições. Esta arquitetura de sistema oferece substanciais vantagens em relação às abordagens existentes, como o reconhecimento da necessidade de particionar componentes que requerem disciplinas distintas para análise, desenvolvimento e operação, bem como a necessidade de que a autonomia seja colaborativa tanto com outros sistemas autônomos da equipe quanto com sistemas externos à equipe. Essa abordagem é mais extensível e escalável.

A arquitetura é extensível porque os componentes estão desacoplados; análise e desenvolvimento podem ser realizados por diferentes disciplinas com relativa independência. Além disso, isso significa que novos algoritmos podem ser adicionados com o mínimo impacto nos componentes existentes.

A colaboração é uma parte integral da arquitetura do sistema - um componente inteiro é dedicado a ela, e muitos componentes têm conceitos colaborativos em seu núcleo. Por exemplo, o planejamento de missão é hierárquico por natureza, permitindo a formação e reformulação de equipes com alocação e realocação de tarefas para membros da equipe. O gerenciamento de contingência também é hierárquico, apoiando o conceito de que questões sejam tratadas em nível de equipe. Essas questões de equipe são tratadas de forma deficiente em abordagens convencionais.

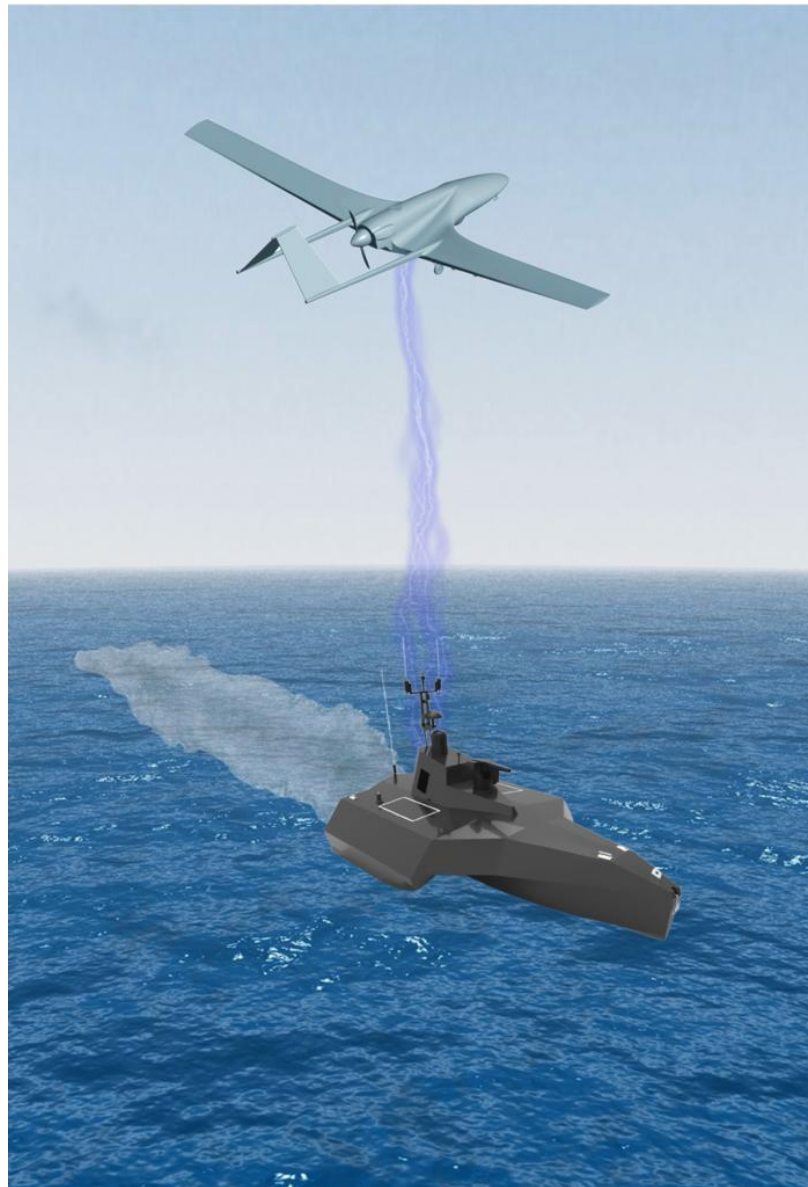
A arquitetura é escalável porque a colaboração foi incorporada ao núcleo de componentes-chave. A arquitetura foi projetada para funcionar com várias instâncias de si mesma, de modo que os veículos da equipe trabalhem de forma sinérgica e autônoma. Portanto, a comunicação intermitente entre as instâncias ou a perda completa de uma instância são tratadas de maneira elegante.

## **5. APLICAÇÃO EM AÇÕES DE ATAQUE ELETRÔNICO**

Conforme exposto nos tópicos anteriores, ao analisarmos o histórico do emprego da tática de matilha observa-se que essa abordagem é particularmente favorável ao uso colaborativo de plataformas tripuladas e não tripuladas aplicadas em uma arquitetura de rede distribuída – onde podemos constatar a aplicação do conceito de guerra centrada em redes. Nesse contexto, a oportunidade de empregar essa nova tática na área de guerra eletrônica se destaca como uma alternativa que apresenta um custo-benefício atrativo e poderá se consagrar como um instrumento essencial para garantir a superioridade no espectro eletromagnético necessária para a realização de operações multidomínio em um ambiente operacional marítimo contestado (LIU, 2019).

Os veículos de superfície e aéreos não tripulados seriam utilizados como plataformas para realizar ações coordenadas de guerra eletrônica em uma área de operações vasta e por um longo período, onde seriam necessários numerosos meios de superfície e aeronavais tripulados com um custo operacional superior e, principalmente, colocaria a segurança das tripulações em risco, no caso de um conflito de alta intensidade. O emprego desses veículos seria opcionalmente coordenado por um navio de superfície que possua capacidades de GE, a fim de servir como plataforma centralizadora das ações a serem tomadas pelas demais plataformas não tripuladas, o navio também poderia atuar como um componente importante neste ecossistema de guerra eletrônica e como uma estação de comando e controle avançada.

Figura 3: Binômio VSNT-VANT



Fonte: autoria própria

No presente trabalho serão abordadas duas aplicações em específico: bloqueio e despistamento eletrônicos. Além destas, as plataformas também deverão possuir capacidades de medidas de apoio à guerra eletrônica (MAGE), a fim de garantir uma eficaz compilação do

quadro tático no espectro eletromagnético e permitir que os algoritmos do software de integração dos veículos colaborativos calculem as melhores formas de manobrar com a “matilha” na situação tática em vigor. Nos tópicos abaixo será detalhado o emprego das plataformas não tripuladas em uma tática de matilha nas aplicações citadas anteriormente.

## 5.1 Bloqueio Eletrônico

A tática de matilha de veículos não tripulados possui, em sua essência, uma aplicação de caráter ofensivo; desta forma, a principal tarefa a ser atribuída é a de bloqueio eletrônico (*jamming*). A tarefa de *jamming* poderá ser realizada tanto pelos veículos aéreos quanto os de superfície, tal atribuição será decidida de acordo com a situação tática no momento da ação, poderá ser coordenada através de algoritmos de otimização.

De acordo com Neri (2018), como os veículos não tripulados possuem seção-reta radar (RCS) consideravelmente inferior às dos navios e aeronaves convencionais, eles poderão se deslocar na área de detecção dos radares inimigos com uma baixa probabilidade de serem detectados, onde poderão emitir um sinal de bloqueio próximo aos emissores, sendo necessária uma baixa potência. Isto é particularmente útil, pois como são plataformas de dimensões reduzidas, a capacidade de geração de energia eletromagnética também será inferior, produzindo sinais de bloqueio de média e baixa potência.

Desta forma, a técnica de bloqueio a ser utilizada na tática de matilha é o bloqueio avançado (SFJ – *stand-forward jamming*). O SFJ será empregado para dar proteção aos meios navais e aeronavais que engajarão a força inimiga, onde a matilha de veículos não tripulados terá como área de operação o setor avançado em relação ao deslocamento da vaga atacante. Esta técnica permite a aproximação dos navios e aeronaves tripuladas para realizarem o ataque à força hostil com um reduzido risco de serem detectados pelos radares inimigos, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4: VSNT em ação de bloqueio eletrônico contra navios hostis para mascarar a aproximação de navios amigos.



Fonte: autoria própria

Essa possibilidade de emprego é especialmente útil em um confronto entre forças com capacidades assimétricas. Neste caso, a superioridade no espectro eletromagnético, possibilitada pelo ataque eletrônico efetuado pela matilha de veículos não tripulados, será um fator de grande valor tático para opor-se assimetricamente à uma força naval com poder bélico superior, tendo em vista que a negação do amplo uso do EEM degradaria

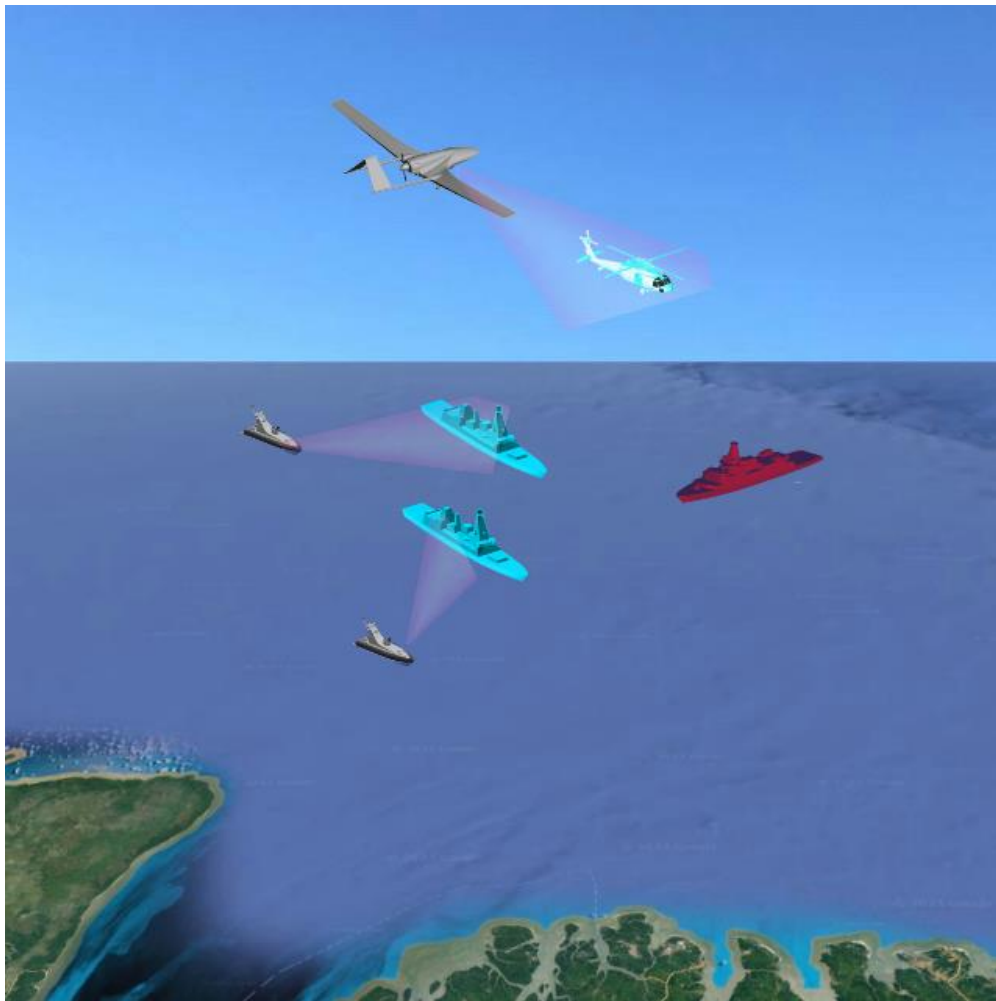


significativamente as capacidades da força hostil em manter a compilação do quadro tático e utilizar sistemas de armas que necessitem de guiagem por radar.

## 5.2 Despistamento Eletrônico

Além das ações de bloqueio eletrônico, a “matilha” de veículos não tripulados também poderá empregar métodos de despistamento manipulativo (por meio de métodos de despistamento mecânico e eletrônico), a fim de gerar assinaturas eletromagnéticas falsas que induzam o inimigo ao erro, tanto em um contexto operacional focalizado – ao gerar uma compilação do quadro tático equivocada – quanto para um cenário amplo de dissimulação tática. A Figura 5 ilustra esse conceito.

Figura 5: VANT e VSNT utilizam a técnica de despistamento eletrônico para criar alvos falsos para enganar os radares de busca e vigilância do navio hostil.



Fonte: autoria própria

Assim, o despistamento eletrônico seria capaz de criar alvos falsos que aumentariam o número de alvos em potencial que um adversário teria de enfrentar. Esses alvos falsos imitariam as emissões em radiofrequência (RF) e o RCS de plataformas reais, podendo também incluir chamarizes infravermelhos. Esse emprego tático do despistamento pode não apenas interromper as operações de um adversário, mas também, até certo ponto, ditar sua tomada de decisão no campo de batalha (TINGLEY, 2019).

Numerosos veículos não tripulados em tática de matilha podem cobrir extensas áreas geográficas, distribuindo as capacidades de GE de forma mais resiliente e descentralizada. Ao fazer isso, permite que a qualquer momento sejam criadas frotas de navios e aeronaves que não estão realmente presentes em uma área de interesse onde a força naval oponente possa estar operando, sendo uma formidável ferramenta de coleta de dados de inteligência quando se trata de sondar e avaliar as defesas do inimigo e registrar sua ordem de batalha eletrônica.

## **6. AVALIAÇÃO DE RISCOS E CONTINGÊNCIAS**

A formação de enxames de gera vulnerabilidades significativas à guerra eletrônica; a proteção contra essa vulnerabilidade é crucial. A operação de enxames depende intrinsecamente da capacidade dos drones de se comunicarem entre si. Se os veículos não tripulados não puderem compartilhar informações devido a interferências, o enxame de drones não pode operar como um todo coerente.

As vulnerabilidades à guerra eletrônica estão condicionadas à composição do enxame de veículos não tripulados. Enxames podem incluir drones especialmente projetados para neutralizar interferências. *Drones* de comunicação poderiam servir como retransmissores para compartilhar informações, oferecer canais de comunicação alternativos ou simplesmente detectar possíveis interferências e emitir ordens de retirada. Enxames de veículos não tripulados também poderiam incorporar drones equipados com mísseis antirradiação e outras armas antissistemas de interferência.

Avanços tecnológicos também podem fortalecer o enxame contra vulnerabilidades à guerra eletrônica. Novas formas de comunicação podem enfraquecer ou eliminar completamente essas vulnerabilidades. Por exemplo, enxames de drones poderiam se comunicar com base na estigmergia. A estigmergia é uma forma indireta de comunicação utilizada por formigas e outros insetos que operam em enxame. Se uma formiga identifica uma fonte de alimento, ela deixa feromônios para que futuras formigas a encontrem. Se a

próxima formiga também encontrar alimento lá, ela deixa seus próprios feromônios, criando uma concentração mais forte para atrair ainda mais. Aplicado a um enxame de drones, uma abordagem como essa, que utiliza pistas ambientais, poderia mitigar as vulnerabilidades à interferência.

## 7. AVALIAÇÃO DE EFICÁCIA

Em um conflito de alta intensidade, a competição e o domínio sobre o espectro eletromagnético são centrais para as operações táticas e estratégicas. Os veículos aéreos e de superfície não tripulados, quando operando de forma colaborativa, têm o potencial de revolucionar essa esfera do combate moderno. Eles prometem uma abordagem mais dinâmica, precisa e adaptável para controlar e defender o ambiente eletromagnético.

Operando em conjunto, os veículos não tripulados colaborativos capitalizam a sinergia de suas capacidades individuais. Imaginemos um cenário em que um veículo aéreo não tripulado se especializa na identificação e mapeamento de ameaças eletrônicas, enquanto um veículo de superfície simultaneamente lança medidas de supressão ou ataque contra fontes de emissão identificadas. Esta interação coordenada garante uma cobertura mais ampla e uma resposta mais rápida às ameaças, ampliando significativamente a capacidade de controlar o espectro.

Em conflitos de alta intensidade, onde o ambiente é saturado de ameaças, a coordenação entre veículos não tripulados torna-se ainda mais crucial. Frequentemente, as ameaças não vêm isoladamente, mas em combinações sofisticadas, requerendo uma resposta *multilayer* e interconectada. Com veículos colaborativos, uma falha ou comprometimento de uma unidade pode ser rapidamente compensada pelo restante da rede, garantindo que a presença no espectro eletromagnético seja mantida e que a operação continue sem interrupções significativas.

A economia de recursos proporcionada por esses sistemas colaborativos também não pode ser subestimada. Em contraste com grandes plataformas dedicadas, veículos não tripulados tendem a ser mais ágeis e menos dispendiosos. Eles podem ser rapidamente deslocados, reconfigurados e até mesmo substituídos, se necessário, proporcionando uma resposta adaptável ao dinamismo do campo de batalha moderno.

A integração desses veículos com sistemas de comando e controle modernos é uma prioridade. Esta integração assegura que as decisões sejam tomadas com base em dados em tempo real e que as capacidades dos veículos sejam utilizadas de forma otimizada. A

capacidade de reconfiguração rápida e a operação em múltiplos domínios (aéreo e de superfície) permitem uma abordagem multifacetada para garantir a superioridade no espectro eletromagnético.

Ao levarmos em consideração os fatores elencados acima, podemos inferir que os veículos aéreos e de superfície não tripulados colaborativos estão posicionados na vanguarda do desenvolvimento doutrinário e tecnológico do combate eletrônico moderno. Sua capacidade de operar de forma sincronizada e adaptativa em ambientes de alta intensidade proporciona uma ferramenta inestimável para as forças armadas que buscam dominar o espectro eletromagnético em cenários de conflito contemporâneos.

## **8. CONCLUSÃO**

As evoluções tecnológicas na área da “Indústria 4.0” trazem, simultaneamente, novos desafios e oportunidades para a nossa Força Naval. As recentes mudanças geopolíticas apontam para um crescente ambiente de incertezas em nosso entorno estratégico, o que nos impele a considerar o emprego de novas tecnologias e a inovação no campo da tática, a fim de assegurar a nossa soberania no mar.

Dentre essas tecnologias se destaca o desenvolvimento de veículos aéreos e de superfície com capacidades de guerra eletrônica, que se operados de forma a explorar o seu pleno potencial podem ser valiosos multiplicadores de forças. Quando empregados em tarefas de ataque eletrônico podem garantir a superioridade no espectro eletromagnético, que é fundamental para a realização de operações multidomínio em um ambiente operacional complexo e contestado.

O pleno potencial dessas plataformas poderá ser explorado se estas forem empregadas em uma tática de matilha, onde a diversidade de sensores e equipamentos de GE embarcados aliada à longa permanência e mobilidade na área de operações trarão uma considerável vantagem tática para a força naval. Conforme abordado anteriormente, a tática de matilha foi historicamente utilizada em cenários onde havia assimetria de forças, onde frequentemente o praticante da tática de matilha infligiu pesadas perdas à força mais numerosa, como o caso dos U-Boats alemães na SGM.

Portanto, se aplicado em nosso cenário geoestratégico, o emprego de “matilhas” de veículos aéreos e de superfície não tripulados colaborativos em ações de ataque eletrônico pode representar uma considerável vantagem tática em caso de conflito de alta intensidade.

## **8.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Sugere-se que as próximas pesquisas pautem os protocolos de comunicação entre os Veículos Não Tripulados conforme a abordagem da Inteligência de Enxame e em alternativas para navegação e comunicação em ambientes com negação do uso do Espectro Eletromagnético.

## REFERÊNCIAS

ARQUILLA, J.; RONFELDT, D. **Swarming & The Future Of Conflict**. Disponível em: <[https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/documented\\_briefings/2005/rand\\_db311.pdf](https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/documented_briefings/2005/rand_db311.pdf)>. Acesso em: 29 abr. 2023.

AUSTIN, R. **Unmanned Aircraft Systems: UAVs Design, Development and Deployment**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2010.

BARNHART, R. K.; HOTTMAN, S. B.; MARSHALL, D. M.; SHAPPEE, E. **Introduction to Unmanned Aircraft Systems**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2012.

FEDDEMA, J. et al. **Military Airborne And Maritime Application For Cooperative Behaviors**. Disponível em: <<https://www.osti.gov/servlets/purl/919642/>>. Acesso em: 25 abr. 2023.

GUPTA, R. C.; RANGA, V. **Applications of Cognitive UAV Technologies**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2019.

LIU, X. et al. **Application of unmanned surface vehicle in electronic warfare**. Disponível em: <<http://www.kjdb.org/en/y2019/v37/i4/20>>. Acesso em: 26 abr. 2023.

NERI, F. **Introduction to Electronic Defense Systems**. 3. ed. Norwood: Artech House, 2018.

PANIGRAHI, B. K. et al. **Handbook of swarm intelligence**. Disponível em: <<https://kamenpenkov.files.wordpress.com/2016/01/handbook-of-swarm-intelligence-2011.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2023.

POISEL, R. A. **Modern Communications Jamming Principles and Techniques**. 2. ed. Norwood, MA: Artech House, 2013.

SCHLEHER, D. C. **Electronic Warfare in the Information Age**. Norwood, MA: Artech House, 1999.

SLOGSNAT, J. **Electronic Warfare for the Digitized Battlefield**. Norwood, MA: Artech House, 2017.

SRIVASTAVA, S. **Electromagnetic spectrum – critical for military superiority**. Disponível em: <[https://cenjows.in/wp-content/uploads/2022/03/1.-electromagnetic-spectrum-ems-critical-for-military-superiority-by-lt-gen-sunil-srivastava\\_new.pdf](https://cenjows.in/wp-content/uploads/2022/03/1.-electromagnetic-spectrum-ems-critical-for-military-superiority-by-lt-gen-sunil-srivastava_new.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2023.

TINGLEY, B. **The navy's secretive and revolutionary program to project false fleets from drone swarms**. Disponível em: <<https://www.thedrive.com/the-war-zone/29505/the>>

navys-secretive-nemesis-electronic-warfare-capability-will-change-naval-combat-forever>.  
Acesso em: 01 mai. 2023.

ZENG, D.; CHEN, P.; WANG, H. **Networked Drone Systems**. Singapore: Springer, 2016.

WALSH, T. **Drones and the Future of Aerial Combined Arms**. McNair Paper 80.  
Washington, D.C.: Institute for National Strategic Studies, 2018.