

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

**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM**  
**GUERRA ELETRÔNICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**APLICAÇÕES DE MEDIDAS DE ATAQUE ELETRÔNICO NO SÉCULO XXI**



**1T (QC-CA) MARCOS SILVA ARAUJO**

Rio de Janeiro

2021

1T (QC-CA) MARCOS SILVA ARAUJO

APLICAÇÕES DE MEDIDAS DE ATAQUE ELETRÔNICO NO SÉCULO XXI.

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

Orientadores:

CT Renan de Andrade Marcello

CIAW

Rio de Janeiro

2021

IT (QC-CA) MARCOS SILVA ARAUJO

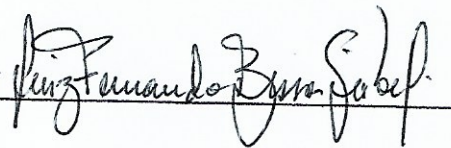
APLICAÇÕES DE MEDIDAS DE ATAQUE ELETRÔNICO NO SÉCULO XXI.

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

Aprovada em 17/05/2021

Banca Examinadora:


Prof<sup>o</sup> Luiz Fernando Bessa Seibel, D.Sc.-PUC-RJ



Renan de Andrade Marcello, CT – ADFLBN



Darlan de Souza Terra, CT (QC-CA) – Fragata Rademaker



Dedico esse trabalho a minha família. Em especial minha esposa Ana Caroline e meu filho Joaquim. As fontes de minha coragem e determinação.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me proporcionado saúde e tranquilidade nos momentos difíceis, tendo me permitido seguir estudando e aprendendo a cada dia que passa, me protegendo e me guiando ao longo das jornadas desta caminhada.

A minha esposa Ana Caroline, por todo apoio, paciência, disposição e carinho. Nossos momentos refletiram toda cumplicidade que há entre nós.

Ao meu filho, Joaquim, alegria do meu viver, pelo sorriso meigo e sincero de sempre.

Ao meu pai Antônio Luiz (*in memoriam*) e minha mãe Maria Helena, e meus irmãos Danilo e Renato Luís, o meu porto seguro. Pessoas que contribuíram para formação dos meus princípios, valores e caráter. Mesmo sem a convivência física diariamente, tenho plena convicção do amor que nos une como família.

A minha avó Helena (*in memoriam*) e aproveito também para agradecer, esteja onde estiver, por todos seus ensinamentos e orações, sei que está sempre olhando para mim.

Ao meu orientador, CT Tiago Rocha, pela autonomia que me foi concedida durante a pesquisa, o que contribuiu para o meu crescimento acadêmico.

Aos demais companheiros e instrutores do Centro de Instrução Almirante Wandenkolk, pela camaradagem, pelo alto grau de profissionalismo, de conhecimentos e de experiências transmitidas durante o curso.

“(...) Se somos feitos de poeira das estrelas sistematicamente organizada para formar seres dotados de consciência, então podemos dizer que somos o universo pensando sobre si próprio...”.

Carl Sagan

## APLICAÇÕES DE MEDIDAS DE ATAQUE ELETRÔNICO NO SÉCULO XXI.

### Resumo

O controle e a exploração do Espectro Eletromagnético (EEM) tornaram-se tanto parte da guerra moderna quanto a superioridade aérea ou o domínio das vias marítimas e terrestres. A Guerra Eletrônica (GE) é a área de missão responsável por estabelecer e manter uma posição favorável no domínio eletromagnético e envolve qualquer ação que envolva a utilização do EEM para negar o uso do mesmo ao inimigo e garantir a utilização deste espectro pelas forças amigas. As Medidas de Ataque Eletrônico (MAE) realizadas no âmbito da GE geralmente inclui a ação de impedir que as forças inimigas utilizem equipamentos como radares que podem irradiar e captar energia eletromagnética. O objetivo desta divisão da GE é evitar ou impedir em grande parte que os elementos inimigos utilizem o EEM de forma eficaz. Esta fase, que é usada principalmente de forma integrada e coordenada com Aeronaves de Ataque Eletrônico (AAE) e os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), nos cenários de guerra atuais, em função da mobilidade e velocidade, da capacidade de atingir pontos que os navios não alcançam e da maior altitude de operação das antenas de seus equipamentos. Países com maior recurso, como os Estados Unidos (EUA), estão a desenvolver estas aeronaves, que tem capacidade de transportar equipamentos MAE em quantidade suficiente, ao mesmo tempo, em que são configuradas com alto poder de destruição, liberando outros meios de ataque para transporte de armamento e de sistemas de autodefesa. Tratando-se de segurança, defesa e soberania nacional, o tema é de grande relevância para o país e, conseqüentemente, para a Marinha do Brasil.

**Palavras-chave:** Espectro Eletromagnético (EEM); Guerra Eletrônica (GE); Medidas de Ataque Eletrônico (MAE); Aeronaves de Ataque Eletrônico (AAE); Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estrutura da Capacidade de Guerra Eletrônica.....	15
Figura 2.2 – Medidas de Guerra Eletrônica.....	16
Figura 2.3 – Medidas de Ataque Eletrônico.....	17
Figura 2.4 – Armas de Energia Direcionada.....	18
Figura 2.5 – Supressão Eletromagnética.....	20
Figura 4.1 – EA-18G <i>Growler</i> .....	28
Figura 4.2 – EA-130H <i>Compass Call</i> .....	30
Figura 4.3 – EA-37B <i>Compass Call Re-Host</i> .....	32
Figura 4.4 – F-35 <i>Joint Strike Fighter</i> .....	33
Figura 5.1 – Projeto CHAMP.....	36
Figura 5.2 – Drone <i>Swarm</i> .....	38
Figura 5.3 – X-47B.....	40



**LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

AAE	Aeronave de Ataque Eletrônico
AçGE	Ações de Guerra Eletrônica
AESA	<i>Active Electronically Scanned Array</i>
AGE	Atividades de Guerra Eletrônica
C <sup>2</sup>	Comando e Controle
CGE	Capacidade de Guerra Eletrônica
CHAMP	<i>Counter-electronics High Powered Advanced Missile Project</i>
DEW	<i>Directed Energy Weapons</i>
DoD	<i>Department of Defense</i>
EA	<i>Electronic Attack</i>
EEM	Espectro Eletromagnético
EMP	<i>Electromagnetic Pulses</i>
FAB	Força Aérea Brasileira
GE	Guerra Eletrônica
HEL	<i>High-Energy Laser</i>
HPM	<i>High Power Microwave</i>
IRP	Intervalo de Repetição de Pulso
ISR	<i>Intelligence, Surveillance and Reconnaissance</i>
JSR	<i>Jamming to Signal Ratio</i>
LP	Largura de Pulso
MAE	Medidas de Ataque Eletrônico
MAGE	Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica
MGE	Medidas de Guerra Eletrônica
MPE	Medidas de Proteção Eletrônica
PBW	<i>Particles Beam Weapons</i>
RAM	<i>Radar Absorber Materials</i>
RCS	<i>Radar Cross Section</i>
SDAI	Supressão da Defesa Aérea Inimiga
USAF	<i>United States Air Force</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>1.1 Apresentação do Problema</b> .....	12
<b>1.2 Justificativa e Relevância</b> .....	12
<b>1.3 Objetivos</b> .....	13
1.3.1 Objetivo Geral.....	13
1.3.2 Objetivos Específicos.....	14
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
<b>2.1 Capacidade de Guerra Eletrônica</b> .....	15
<b>2.2 MAE Destrutiva</b> .....	17
2.2.1 Dispositivos de Energia Direcionada.....	17
2.2.2 Mísseis Antirradiação.....	19
<b>2.3 MAE não Destrutiva</b> .....	20
2.3.1 Supressão Eletromagnética.....	20
2.3.2 Despistamento Eletromagnético.....	22
2.3.3 Dispositivos de Energia Direcionada.....	24
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	25
<b>3.1 Classificação da Pesquisa</b> .....	25
3.1.1 Quanto aos fins.....	25
3.1.2 Quanto aos meios.....	25
<b>3.2 Limitações do Método</b> .....	26
<b>3.3 Coleta e Tratamento de Dados</b> .....	26
<b>4 AERONAVES DE ATAQUE ELETRÔNICO</b> .....	27
<b>4.1 EA-18G Growler</b> .....	28
<b>4.2 EC-130H <i>Compass Call</i></b> .....	29
<b>4.3 EC-37B <i>Compass Call Re-Host</i></b> .....	32
<b>4.4 F-35 <i>Joint Strike Fighter</i></b> .....	32
<b>5 EMPREGO DE VANTs EM MEDIDAS DE ATAQUE ELETRÔNICO</b> .....	35
<b>5.1 Projeto CHAMP</b> .....	36

<b>5.2 Drone Swarm</b> .....	38
<b>5.3 Stealth Drone</b> .....	39
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>6.1 Considerações Finais</b> .....	42
<b>6.2 Sugestões para futuros trabalhos</b> .....	42
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	43

# 1 INTRODUÇÃO

A GE é um componente da guerra moderna, particularmente em resposta a ameaças colocadas por adversários tecnologicamente sofisticados. A GE geralmente se refere a operações que utilizam o EEM para detectar, ouvir, bloquear e enganar radares inimigos, sistemas de comunicação via rádio, links de dados ou outros sistemas eletrônicos. Também se refere a operações de defesa contra tentativas inimigas de fazer o mesmo.

Quando olhamos para os últimos anos do século XXI, a importância dos sistemas de GE aumentou a fim de fornecer segurança com o desenvolvimento das capacidades militares e operacionais dos sistemas que utilizam o EEM.

Os sistemas de GE em questão estão divididos em diferentes departamentos e funções dentro de si, em caso de uma possível ou atual operação, conflito ou guerra. Estes sistemas, responsáveis por várias tarefas em uso, não são utilizados apenas de uma forma, como ataque ou apenas defesa em possíveis situações de conflito, mas também contra elementos ativos como espionagem, apoio a ataques e apoio de proteção em áreas cibernéticas em desenvolvimento e também para o fluxo de informações e inteligência. Sistemas de GE integrados aerotransportados são vitais para sobreviver a qualquer missão no caso de aviões de combate, aeronaves de transporte e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs).

Quando a GE é analisada neste contexto, ela pode ser examinada sob três títulos principais. Ela é dividida em Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE), Medidas de Ataque Eletrônico (MAE) e Medidas de Proteção Eletrônica (MPE) (NERI, 2006). As MAGE são conjuntos de ações visando a busca, interceptação, identificação e localização eletrônica das fontes de energia eletromagnética. Os equipamentos MAGE detectam a presença de emissores, determinam sua direção e os identificam comparando as características dos seus sinais emitidos com as dos sinais armazenados nos seus bancos de dados. As MPE são conjuntos de ações para proteção de equipamentos, pessoal ou instalações. Isto pode ser conseguido através do monitoramento do espectro eletromagnético e controle das emissões (NERI, 2006).

As MAE envolvem as ações para atacar equipamentos, pessoal ou instalações com a intenção de degradar, neutralizar ou destruir a capacidade de combate do inimigo. De acordo com Adamy (2004), as MAE são classificadas em dois grupos básicos: MAE

não destrutivas (*soft kill*) e MAE destrutivas (*hard kill*). As MAE não destrutivas são aquelas que se valem do uso ativo ou passivo do EEM para o ataque eletrônico sem causar nenhum tipo de destruição física ao oponente, como por exemplo, despistamento eletromagnético. As MAE destrutivas são aquelas que causam destruição física ao inimigo, a título de exemplo, o míssil antirradiação.

## **1.1 Apresentação do Problema**

Nos últimos anos, tem crescido a quantidade de eventos em que a presença das Forças Armadas é solicitada para a preservação e garantia da lei e da ordem nas diversas nações, nestas oportunidades, crescem a importância da efetividade e integração entre todos os elementos do poder de combate, com o objetivo de propiciar ao comando todas as ferramentas disponíveis para o melhor emprego dos meios e o cumprimento da missão recebida. Entre os vetores responsáveis por estes elementos, encontra-se a GE, tendo como uma de suas missões o planejamento e execução das ações de MAE em apoio às operações.

As tecnologias mais recentes expandem ainda mais os limites do ataque eletrônico ao envolver sofisticados sensores de aquisição de alvo de longo alcance, como radares de abertura sintética e vigilância aerotransportada, tornando-se, assim, um elemento essencial e integrante do domínio do espaço de batalha. A falta de consciência situacional sobre as novas tecnologias empregadas nos Teatros de Operações coloca em risco as missões militares dependentes do EEM para se concretizarem, por exemplo, a aplicação de VANTs como plataformas de manipulação do EEM visando ao emprego do Ataque Eletrônico.

## **1.2 Justificativa e Relevância**

O ataque eletrônico aerotransportado envolve o uso de aeronaves tripuladas ou não tripuladas para neutralizar, destruir ou degradar temporariamente (suprimir) a defesa aérea inimiga e os sistemas de comunicação, seja por meios destrutivos ou perturbadores. Essas capacidades são cada vez mais importantes e complexas à medida que sistemas em rede, controles distribuídos e sensores sofisticados se tornam onipresentes em equipamentos militares.

As aeronaves que executam missões de ataque eletrônico empregam uma variedade de sistemas de missão, como bloqueadores eletrônicos, e armas, como dispositivos de energia direcionada e lançadores de chaff. Os VANTs apresentam a vantagem de poderem operar infiltrados, muito além das linhas inimigas e são particularmente importantes para a vigilância quando as operações são realizadas por longos períodos. Nesse sentido, os VANTs aliviam as plataformas tripuladas da necessidade de manter o ritmo operacional elevado por vários dias.

### **1.3 Objetivos**

A finalidade deste trabalho é o estudo do emprego de MAE por aeronaves em proveito da GE. Será analisada a importância dos conceitos de GE para a tomada de decisões importantes para as Forças Militares, explicitando as várias formas de emprego e a utilidade para o cumprimento eficiente de missões.

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Analisar como o ataque eletrônico aerotransportado está revolucionando os conflitos armados e a GE e discutir as tecnologias presentes em sistemas de MAE utilizados por aeronaves.

Entender o emprego de VANTs e mostrar que é a principal tendência das guerras futuras, principalmente no que tange à GE.

Abordar a importância de todas essas tecnologias para uso militar e buscar atualizar a Marinha do Brasil quanto às inovações na GE. Ampliar a consciência situacional sobre o tema, demonstrando como a aplicação de equipamentos MAE sofisticados torna-se algo vantajoso para as Forças Militares.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Realizar um levantamento da literatura sobre assuntos relevantes a GE e sobre as aplicações de MAE buscando a doutrina, teses e dissertações informações sobre o tema.

Apresentar os conceitos de Capacidade de Guerra Eletrônica (CGE) e suas ramificações de forma a aprofundar os conhecimentos sobre o emprego do Ataque Eletrônico e como este recurso é concretizado, indicando suas vantagens e desvantagens.

Abordar as aplicações de MAE embarcadas em aeronaves modernas, explorando as táticas, os equipamentos e tecnologias empregadas na guerra moderna.

Expor os tipos de aeronaves não tripuladas e como executam ações de MAE, tendo como foco principal as plataformas utilizadas em vigilâncias, reconhecimentos, bloqueios, interferências e despistamentos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

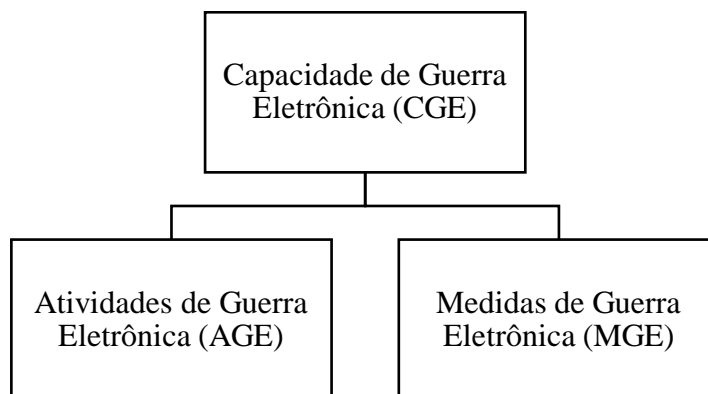
O controle do EEM pode ter um grande impacto no sucesso das operações militares em todos os níveis de conflito. O emprego adequado de GE aumenta a capacidade dos comandantes operacionais de atingir os objetivos. A GE é um multiplicador de força e opera em vários níveis de conflito, desde autoproteção até planos operacionais de ataque. Quando as ações GE são devidamente integradas com outras operações militares, um efeito sinérgico é alcançado, as perdas minimizadas e a eficácia aumentada.

Segundo Brasil (2017) Ações de Guerra Eletrônica (AçGE) tem por finalidade explorar as emissões do inimigo, em toda a faixa do EEM, com o objetivo de conhecer sua ordem de batalha eletrônica e intenções. Adicionalmente, utilizar medidas adequadas para negar o uso efetivo de seus sistemas, enquanto se protege e utiliza, com eficiência, os próprios equipamentos.

### 2.1 Capacidade de Guerra Eletrônica

Brasil (2017) conceitua CGE como “somatório de meios e recursos de toda ordem que permita ao Poder Naval empreender eficazmente AçGE em proveito de suas operações”. A CGE se divide em Atividades de Guerra Eletrônica (AGE) e Medidas de Guerra Eletrônica (MGE).

Figura 2.1 – Estrutura da Capacidade de Guerra Eletrônica

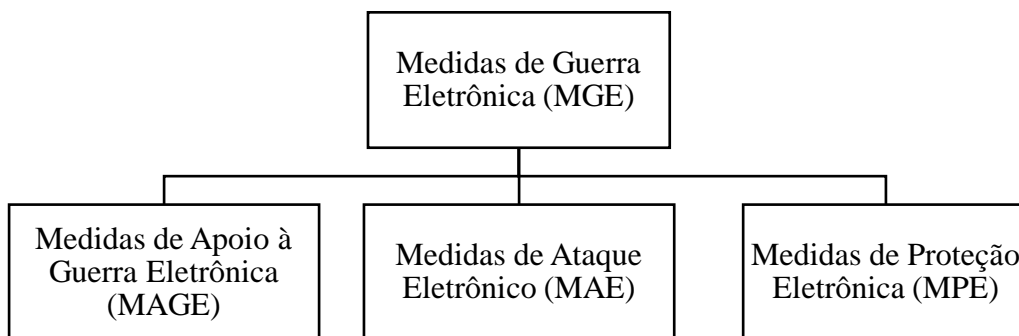


Fonte: Autor.



As AGE possuem uma essência estratégica e de apoio a operações de Guerra. Por outro lado, as MGE visam o emprego da CGE. E é sob este aspecto que este trabalho se desenvolverá. Atualmente, as MGE é constituída por: Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE), Medidas de Ataque Eletrônico (MAE) e Medidas de Proteção Eletrônica (MPE)

Figura 2.2 – Medidas de Guerra Eletrônica

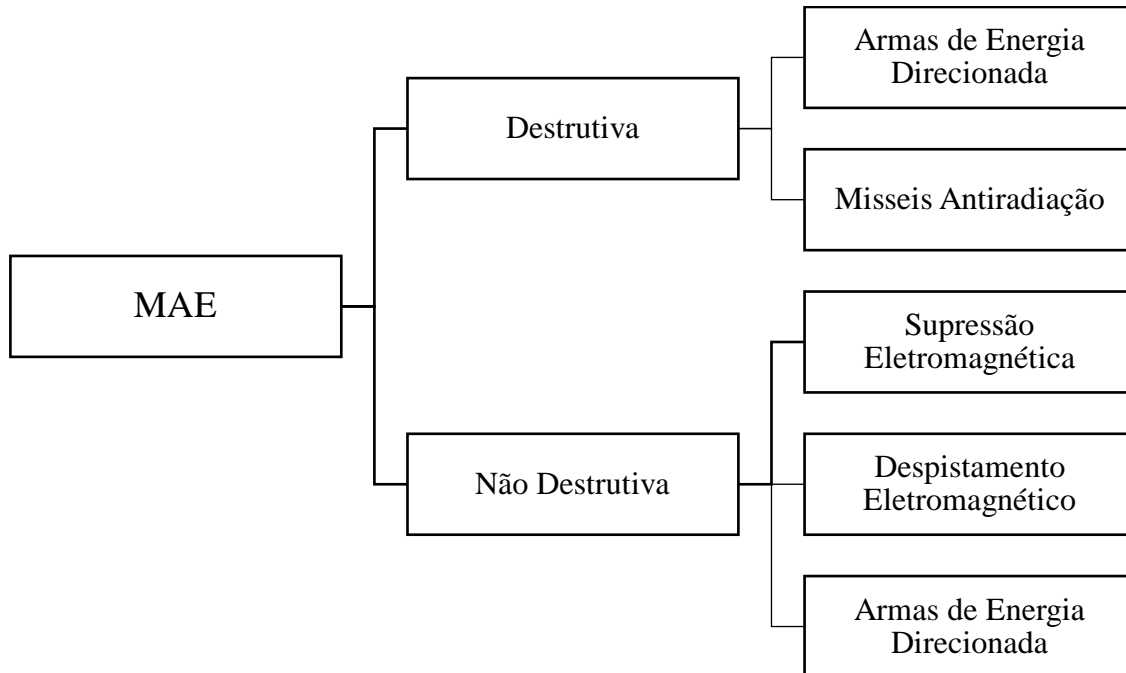


Fonte: Autor.

O presente trabalho se concentra na aplicação das MAE, com foco em AAE e VANT. Por seu termo, as MAE ou EA (*Electronic Attack*, em inglês) objetivam evitar ou reduzir o uso efetivo do espectro eletromagnético pelo oponente, bem como degradar, neutralizar ou destruir sua capacidade de combate, empregando, para isso, o próprio EEM ou, ainda, armamentos que se aproveitam das vulnerabilidades inerentes às emissões eletromagnéticas.

Por apresentarem várias formas de emprego, as MAE dividem-se em destrutivas e não destrutivas. As MAE não destrutivas são aquelas que se valem do uso ativo ou passivo do espectro eletromagnético para atingir os propósitos do ataque eletrônico sem, no entanto, causar nenhum tipo de destruição física ao oponente. São divididas em: Supressão Eletromagnética, Despistamento Eletromagnético e Armas de Energia Direcionada. As MAE destrutivas incorporam o conceito de letalidade à GE, tida até pouco tempo como um recurso defensivo de combate. Dentre as medidas destrutivas estão mísseis antirradiação e os dispositivos de energia direcionada.

Figura 2.3 – Medidas de Ataque Eletrônico



Fonte: Autor.

## 2.2 MAE Destrutiva

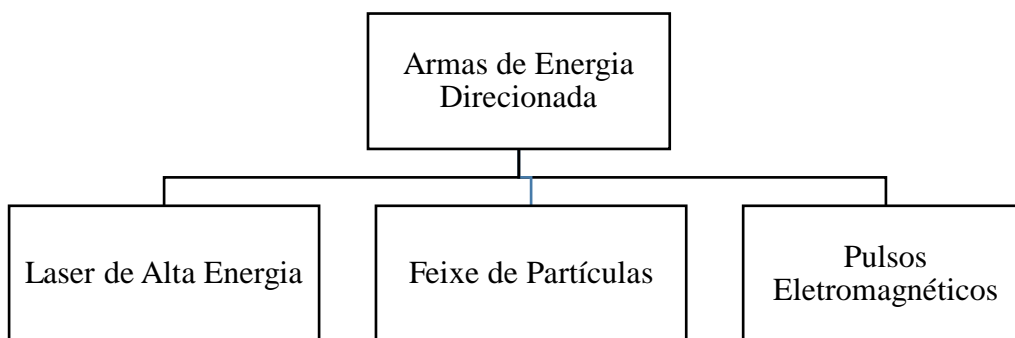
### 2.2.1 Dispositivo de Energia Direcionada

As Armas de Energia Direcionada (*Directed Energy Weapon - DEW*) são definidas pela *Forces* (2012), do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (*Department of Defense - DoD*) como “um sistema que utiliza energia direcionada principalmente como um meio direto de danificar ou destruir equipamentos, instalações e pessoal inimigo”. A publicação define ainda Guerra de Energia Direcionada como:

Ação militar, incluindo o uso de armas de energia direcionada, dispositivos e contramedidas para causar danos diretos ou destruição de equipamentos, instalações e pessoal inimigo, ou para determinar, explorar, reduzir ou prevenir o uso hostil do espectro eletromagnético através de danos, destruição e interrupção (*FORCES*, 2012, p.I-16).

Dotadas de extrema capacidade de potência eletromagnética, este tipo de armamento visa, neste caso, a destruição física dos meios oponentes. As Armas de energia direcionada destrutivas incluem Laser de Alta Energia, Armas de Feixes de Partículas e Pulsos Eletromagnéticos. A tecnologia de energia direcionada pode ser empregada em uma bomba, na cabeça de guerra de um míssil ou ainda, em canhões embarcados em aeronaves, veículos terrestres e navios de combate.

Figura 2.4 – Armas de Energia Direcionada



Fonte: Autor.

Laser é o acrônimo de amplificação da luz por emissão estimulada de radiação (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). Eles são normalmente alimentados por um combustível químico, energia elétrica ou um fluxo gerado de elétrons. Os lasers têm vários efeitos nos alvos, que podem ser usados para obter vantagens militares, seu efeito mais básico é o aquecimento. Em intensidades mais altas, eles podem criar calor e um impulso mecânico. Juntas, essas propriedades podem causar danos mais extensos do que quando usadas sozinhas. (NIELSEN, 2009). O principal uso de armas Laser de Alta Energia (*High-Energy Laser-HEL*) é a destruição da estrutura material de defesa aérea e destruir as munições ou aeronaves antes de alcançarem seus alvos. Embora muitas dessas armas a laser existam apenas algumas delas podem atingir níveis de energia suficientemente altos. Estes seriam os lasers químicos, os lasers de estado sólido e os lasers de elétrons livres. Os HEL têm potencial para servir a uma variedade de missões militares, particularmente como armas ou como dispositivos de comunicação de alta largura de banda. No entanto, as enormes exigências de tamanho, peso e potência dos sistemas a laser limitam seu uso em muitas plataformas. Além destas limitações, há a turbulência na atmosfera que se manifesta à medida que as

flutuações da densidade do ar aumentam, assim como o tamanho do feixe laser no alvo com a distância, limitando a eficácia em longas distâncias e diminuindo a irradiação.

Armas de Feixes de Partículas (*Particles Beam Weapons* – PBW) estão mais próximas das armas convencionais do que as armas a laser ou de pulsos eletromagnéticos, pois dependem da energia cinética. Mas ao invés de projéteis, elas disparam partições atômicas ou subatômicas em um alvo com o objetivo de perturbar ou destruir a estrutura molecular ou atômica desse alvo. Essencialmente, elas aquecem rapidamente as moléculas e/ou átomos do alvo a ponto de o material alvo explodir (ROBERDS, 1984). Estas armas podem ser divididas em dois tipos: armas que usam partículas (por exemplo, elétrons ou prótons) que possuem uma carga elétrica, que são adequadas para uso dentro da atmosfera terrestre, e armas de feixe de partículas neutras, compostas de partículas que são eletricamente neutras, que são mais adequadas para uso no espaço. Devido à forma como os feixes de partículas interagem com um alvo, a aplicação de camadas extras de material de proteção dificilmente limitará os danos infligidos.

Pulsos Eletromagnéticos (*Electromagnetic Pulses* - EMP) causam um súbito aumento de tensão em equipamentos eletrônicos, tornando-a inútil antes que os protetores contra surtos tenham uma oportunidade de reagir. O objetivo da EMP é anular as capacidades de Comando e Controle (C<sup>2</sup>), bem como a infraestrutura elétrica (dependendo de sua potência e área de ação). Sua detonação, em princípio, não prejudica as pessoas ou causa a destruição de obras civis, mas afeta o funcionamento dos sistemas eletrônicos; computadores; redes de energia, sistemas de emergência e transporte, entre outros. Os efeitos prejudiciais do EMP de alta energia levaram à introdução de armas, que vão desde mísseis táticos com um pequeno raio de efeito até bombas nucleares (TORRES, 2018).

### 2.2.2 Mísseis Antirradiação

Segundo Neri (2006), Mísseis Antirradiação (*Anti-Radiation Missile* - ARM) são MAEs destrutivas que usam radar e outras fontes de radiação de sinal como alvos. Ele detecta, identifica, localiza e ataca o radar através da recepção de sinais de radar. A identificação do radar emissor ocorre através de um sistema passivo, capaz de extrair os dados angulares. Os ARMs são frequentemente mísseis ar/superfície instalados a bordo

de aeronaves dedicadas à Supressão da Defesa Aérea Inimiga<sup>1</sup> (SDAI). Normalmente, o sistema MAGE a bordo da aeronave intercepta, identifica e localiza o radar da vítima, e o designa ao ARM através de parâmetros como Largura de Pulso<sup>2</sup> (LP), intervalo de repetição de pulso<sup>3</sup> (IRP) e porta em tempo real<sup>4</sup>.

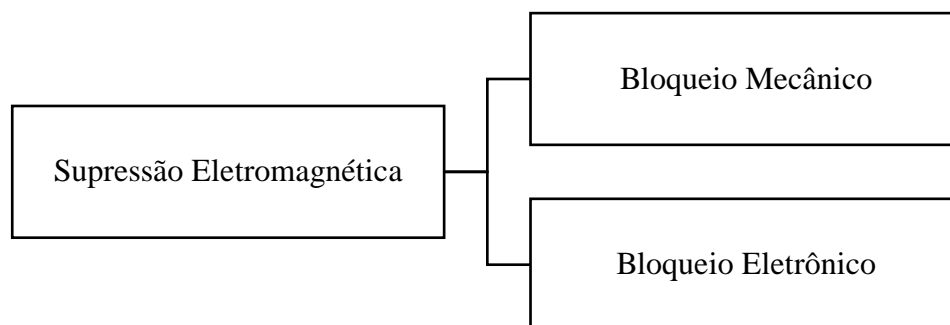
Uma vez lançado, o míssil não necessita de assistência. Para se proteger, o radar da vítima pode parar de transmitir, mas isto não significa garantia de sobrevivência, uma vez que o míssil pode continuar rastreando com base em coordenadas memorizadas.

## 2.3 MAE Não Destrutiva

### 2.3.1 Supressão Eletromagnética

São técnicas de MAE que visam à supressão da utilização do espectro eletromagnético pelo oponente por ações de interferência conhecidas como Bloqueio Eletrônico e de métodos passivos de Bloqueio Mecânico.

Figura 2.5 – Supressão Eletromagnética



Fonte: Autor.

O bloqueio mecânico é obtido quando se empregam meios físicos entre um transmissor e seu objetivo (receptor ou alvo). Dificulta o uso normal da energia eletromagnética através de artefatos que não transmitem por si alguma radiação, apenas

<sup>1</sup> É a Ação que consiste em empregar Meios de Força Aérea para neutralizar ou destruir os sistemas de Defesa Aeroespacial e de C<sup>2</sup> do inimigo.

<sup>2</sup> Tempo em que o transmissor emite durante um ciclo de operação.

<sup>3</sup> É o período de tempo ou intervalo entre a transmissão de dois pulsos radar.

<sup>4</sup> A porta de tempo na qual se espera a chegada dos pulsos do radar.

a absorvem ou a refletem (FAB, 2011). Podem ser exemplos de bloqueio mecânico o emprego de fumaça na faixa visível do espectro, o emprego de agentes obscurantes na faixa do infravermelho e alguns modos de lançamento de janelas, tais como em corredores ou como uma barreira entre um navio e um míssil. O bloqueio mecânico é causado por dispositivos eletrônicos que refletem a energia de volta ao radar para produzir um falso sinal de retorno do alvo no *display* do operador. Os dispositivos mecânicos de bloqueio incluem *chaff*, refletores angulares e *decoys* (CHOUHAN *et al.*, 2017).

- O *chaff* é feito de tiras metálicas de diferentes comprimentos, que refletem frequências diferentes, de modo a criar uma grande área de falsos ecos na qual um contato real seria difícil de detectar facilmente. O *chaff* moderno é normalmente fabricado em fibras de vidro revestidas de alumínio. Seu peso extremamente baixo e tamanho reduzido permite-lhes formar uma densa e duradoura nuvem de interferência.
- Os **refletores angulares** têm o mesmo efeito que o *chaff*, mas são fisicamente muito diferentes destes. Eles são objetos de múltiplas faces que refletem a energia irradiada de volta aos radares. Uma aeronave não consegue carregar facilmente tantos refletores angulares quanto os *chaff*.
- Os *decoys* são objetos voadores manobráveis que se destinam a enganar um operador de radar, fazendo-os acreditar que são realmente aeronaves. Eles são muito perigosos, já que podem atacar um radar com alvos falsos, induzindo o inimigo a ficar dentro do alcance do armamento. Refletores angulares podem ser instalados em *decoys* para aumentar o seu tamanho, criando a ilusão de que um *decoy* é uma aeronave. Os *decoys* também têm um propósito deliberadamente sacrificial, se necessário, os oponentes podem disparar mísseis guiados para atingir os *decoys*, esgotando assim estoques limitados de armamento letal que poderiam ter sido usados contra alvos genuínos de forma eficaz.

De acordo com Chouhan *et al.* (2017), o bloqueio eletrônico é uma forma de GE onde os bloqueadores irradiam sinais de interferência em direção ao radar do inimigo, bloqueando o receptor com sinais de energia altamente concentrados, impedindo a comunicação. Ele é usado para impedir, ou pelo menos dificultar, a recepção de sinais nos equipamentos oponentes de detecção, de radiocomunicações, de navegação eletrônica, bem como nos sistemas de direção e controle de armas e de identificação

eletrônica. O bloqueio eletrônico se baseia em três tipos, que são chamados de bloqueio de ponto (*spot*); barragem (*barrage*); e varredura (*swept*).

- **Bloqueio de ponto** ocorre quando um bloqueador concentra toda a sua potência em uma única frequência. Enquanto isso degradaria a capacidade de rastrear na frequência bloqueada, um radar com agilidade de frequência dificilmente seria afetado, já que o bloqueador só pode bloquear uma frequência de cada vez. Embora vários bloqueadores pudessem possivelmente bloquear uma faixa definida de frequências, isto consumiria uma grande quantidade de recursos para ter um efeito sobre um radar com a agilidade de frequência, e provavelmente ainda seria ineficaz.
- **Bloqueio de varredura** é quando a potência total de um bloqueador é deslocada de uma frequência para outra de cada vez. Embora isto tenha a vantagem de ser capaz de bloquear várias frequências em sucessão rápida, não as afeta simultaneamente, e assim limita a eficácia deste tipo de bloqueio até certo ponto. A vantagem é que, ao mesmo tempo, em que concentra toda a potência do bloqueio em uma estreita faixa de frequências, cobre uma ampla banda, que pode conter vários equipamentos.
- **Bloqueio de barragem** é o bloqueio de múltiplas frequências em um instante por um único bloqueador. A vantagem é que múltiplas frequências podem ser bloqueadas simultaneamente; no entanto, o efeito de bloqueio pode ser limitado porque exige que o bloqueador espalhe toda a sua potência entre estas frequências definidas. Além disso, todos os equipamentos das forças amigas operando dentro da banda bloqueada poderão ser atingidos.

### 2.3.2 Despistamento Eletromagnético

O despistamento eletromagnético é a radiação deliberada, rerradiação, alteração, supressão, absorção, negação, melhoria, ou reflexo da energia eletromagnética de uma maneira destinada a transmitir informações enganosas a um inimigo, ou as armas

dependentes do EEM, assim, degradando ou neutralizando a capacidade de combate do oponente (*FORCES*, 2012).

Os equipamentos que realizam o despistamento podem ser usados para colocar alvos falsos sobre o alcance do radar inimigo ou fazer com que avalie incorretamente a velocidade do alvo, alcance ou azimute. Estes equipamentos geralmente operam recebendo o pulso de energia do radar, amplificando-o, retardando-o ou multiplicando-o, e rerradiando o sinal alterado de volta ao radar de transmissão do inimigo. As MAEs de despistamento podem ser classificadas quanto ao método e quanto aos meios empregados.

Quanto ao método, o despistamento pode ser classificado em duas categorias de acordo com a *Forces* (2012):

- **Despistamento manipulativo** envolve uma ação para eliminar indicadores reveladores ou para transmitir indicadores enganosos do EEM que podem ser usados por forças hostis.
- **Despistamento imitativo** introduz a energia eletromagnética que imita as emissões inimigas.

No que se refere aos meios empregados no despistamento, segundo FAB (2011) se classifica em:

- **Despistamento mecânico**, onde vários artefatos refletores podem agir como alvos de despistamento, os quais confundem os operadores e sistemas radar por se parecerem com alvos legítimos. Trata-se de dispositivos mecânicos que, ao fornecerem retornos de eco ao radar (vítima), diminuem o número de sistemas de armas alocados contra os alvos verdadeiros, bem como dividem a atenção dos operadores. Tal designação abrange toda forma de despistamento que não emita ondas eletromagnéticas.
- **Despistamento Eletrônico** é aquele que envolve o uso ativo de emissões eletromagnéticas por meio da irradiação, rerradiação, alteração de sinais. Considerado mais sutil que o bloqueio, o despistamento exige menores potências e propicia maior discricção, além de ser seletivo. Outra característica do despistamento é a margem de criatividade que ele permite pelo uso de técnicas de reflexão, absorção, rerradiação e irradiações de energia eletromagnética, luminosa ou térmica.



Uma divisão adicional do despistamento eletromagnético é a tecnologia *stealth*, ou capacidade de ocultação, que inclui vários métodos para esconder ou tornar os ativos menos detectáveis pelo radar, infravermelho ou outros sensores. Esta tecnologia proporciona ao usuário uma vantagem significativa no combate, tornando mais difícil detectar um adversário. Isto permite ao usuário conduzir missões militares surpresa e, em última instância, resulta em um aumento em sua capacidade de sobrevivência.

### 2.3.3 Dispositivo de Energia Direcionada

Além do HEL e PBW, já discutidos anteriormente, os dispositivos de energia direcionada não destrutivos também incluem emissores de Micro-ondas de Alta Potência (*High Power Microwave-HPM*), o objetivo deste método é a redução da capacidade de operar, por interferir ou degradar a operação dos sensores oponentes com a geração de fortes campos eletromagnéticos.

As armas de HPM fornecem novos meios e interessantes características tanto para operações defensivas quanto ofensivas. Em primeiro lugar, é uma arma de área ampla que pode afetar múltiplos alvos. São armas sintonizáveis que permitem aos usuários variar os efeitos impostos aos diferentes alvos, tais como equipamentos eletrônicos e pessoas, não causam danos físicos ou estruturais. As armas HPM podem ser eficazes contra a eletrônica, mesmo quando esses sistemas estão desligados (THOMPSON e GOURE, 2003). São armas (multiplataforma) que podem ser transportadas por VANTs, veículos terrestres, aeronaves, helicópteros, bombas ou mísseis e navios.

### **3 METODOLOGIA**

Para a construção do embasamento teórico e com o objetivo de levantar o arcabouço de conhecimento sobre o assunto abordado, buscar-se-á o enriquecimento do conteúdo através de uma compilação de pesquisas bibliográficas, utilizando-se, para isso, artigos extraídos da internet e diversas outras fontes tais como livros e publicações das forças armadas nacional e internacional.

#### **3.1 Classificação da Pesquisa**

De acordo com Vergara (2016), os tipos de pesquisa podem ser definidos de acordo com dois critérios básicos: quanto aos fins, classificando-se em pesquisas exploratórias, descritivas, explicativas, metodológicas, aplicadas e intervencionistas; e quanto aos meios, subdividindo-se em documentais, bibliográficas, experimentais e pesquisas de campo e de laboratório.

##### **3.1.1 Quanto aos fins**

Quanto aos fins, esta pesquisa pode ser classificada como descritiva, ao expor características claras e objetivas de utilização do EEM para aplicação de MAE por parte das AAEs e VANTs e, ainda, classificada como explicativa, pois tem como principal objetivo tornar os fatos estudados em dados de fácil compreensão, justificando e explicando a importância de seu conhecimento.

##### **3.1.2 Quanto aos meios**

Quanto aos meios, pode-se classificar o presente trabalho como documental, ancorando-se em análises de documentos encontrados em órgãos públicos ou privados para apresentação do conteúdo. Adicionalmente, identifica-se como uma pesquisa bibliográfica, pois, teve como base, materiais publicados em livros, artigos científicos, dissertações, monografias e teses disponíveis em sítios da internet, formando o arcabouço literário para a construção da fundamentação teórica do trabalho.

### **3.2 Limitações do Método**

A presente pesquisa se limita a análise bibliográfica e documental, onde são abordados importantes tópicos teóricos a respeito do assunto em lide. No entanto, não é possível esgotar o assunto ou apresentar todos os conceitos relacionados ao tema, pois, a gama de abordagens é ampla e a pesquisa buscou focar-se na importância dos conhecimentos de MAE e sua aplicabilidade prática para AAEs e VANTs.

### **3.3 Coleta e Tratamento de Dados**

A presente pesquisa se desenvolveu com uma pesquisa bibliográfica nas doutrinas militares e na literatura disponível ao público, como livros, publicações de artigos, revistas, jornais, teses, dissertações e congressos sobre os assuntos atinentes ao tema. Nessa ocasião foram elencadas as principais aplicações de MAE em aeronaves tripuladas e não tripuladas. Os resultados obtidos das pesquisas realizadas permitiram uma abordagem qualitativa de pesquisa.

## 4 AERONAVES DE ATAQUE ELETRÔNICO

As AAEs são subconjuntos da missão de ataque eletrônico e envolvem o uso de aeronaves para neutralizar, destruir ou degradar temporariamente os sistemas inimigos de defesa aérea e de comunicações, seja por meios destrutivos ou não destrutivos. Estas capacidades são cada vez mais importantes e complexas à medida que os sistemas em rede, controles distribuídos e sensores sofisticados se tornam onipresentes em equipamentos militares, infraestrutura civil e redes comerciais, desenvolvimentos que complicam a capacidade de exercer controle sobre o EEM, quando necessário, para apoiar os objetivos militares. Os sistemas de ataque eletrônico aerotransportados aumentam a capacidade de sobrevivência das forças conjuntas encarregadas de entrar em espaços de batalha negados e enfrentar ameaças ou alvos de alto valor (SULLIVAN *et al.*, 2012).

As aeronaves que executam missões de ataque aéreo eletrônico empregam uma variedade de sistemas, como bloqueadores eletrônicos, e armas, como mísseis antirradiação e lançadores de *chaff*. Essas aeronaves também contam com sistemas de autoproteção e contramedidas defensivas para proteção adicional. Todos os quatro serviços dentro do DoD contribuem e confiam na capacidade de ataque eletrônico aéreo utilizando uma variedade de diferentes aeronaves. Cada serviço também está adquirindo separadamente novos sistemas de ataque eletrônico aerotransportado.

Embora as AAEs americanas sejam relativamente reduzidas em comparação com o número de caças, elas desempenham um papel importante para ajudar a garantir a sobrevivência e a eficácia no combate de outras aeronaves das forças amigas. As AAEs detectam radares inimigos e equipamentos de C<sup>2</sup> de defesa aérea, de modo que caças de ataque, aviões de ataque e bombardeiros podem penetrar com mais segurança no espaço aéreo inimigo.

As quatro principais AAE tripuladas do DoD são o EA-18G *Growler*, o EC-130H *Compass Call*, EC-37B *Compass Call Re-Host* e o F-35 *Joint Strike Fighter*.

## 4.1 EA-18G *Growler*

O Boeing EA-18G *Growler* é uma AAE da Marinha americana com capacidade de transporte. Sua principal missão é detectar e bloquear radares inimigos. Estas aeronaves também são operadas pela Real Força Aérea Australiana.

Figura 4.1 – EA-18G *Growler*



Fonte: *USNI News* (2015).

O EA-18G é o sucessor do transportador EA-6B *Prowler*, que foi operado tanto pela Marinha como pelo Corpo de Fuzileiros Navais americano. Ao contrário do EA-6B, que era uma aeronave de quatro assentos, o EA-18G tem capacidade para dois tripulantes.

A vasta gama de sensores e armas do EA-18G fornece um sistema de armas letal para combater ameaças atuais e emergentes. A primeira variante do EA-18G *Growler* era chamada de *Block 1*. Eram equipados com até três PODs<sup>5</sup> AN/ALQ-99, juntamente com um receptor AN/ALQ-218(V)2 e um sistema de contramedidas de comunicação Raytheon AN/ALQ-227.

---

<sup>5</sup> Equipamento de guerra eletrônica instalado em um contêiner aerodinâmico fixado sob a fuselagem ou sob as asas da aeronave (NERI, 2006).

Todos os *Growlers* no inventário atual são chamados *Block 2*. As atualizações forneceram um radar APG-79 avançado que proporciona uma melhor indicação de localização dos alvos. Atualizações de software também foram incluídas. Esta versão está equipada com o radar multimodo AN/APG-79 com modo de detecção passiva e supressão ativa de radar e receptor de alerta de radar digital ALQ-218(V)2 e sistema de ataque eletrônico AN/ALE-47.

O radar APG-79 *Active Electronically Scanned Array* (AESA)<sup>6</sup> fornece capacidades aéreas e terrestres com modos de detecção, direcionamento, rastreamento e proteção. Os modos de radar intercalados incluem o modo de mapeamento de feixe real e o modo de radar de abertura sintética com busca e rastreamento aéreo, busca na superfície do mar e indicação de alvo móvel no solo. O radar tem um receptor avançado de quatro canais que oferece ampla capacidade de largura de banda e a capacidade de gerar uma ampla gama de formas de onda para GE. Ele também tem a capacidade de operar em múltiplos modos simultaneamente.

O AN/ALQ-218(V)2, desenvolvido pela *Northrop Grumman Electronic Systems*, possui antenas localizadas a bombordo e a boreste da aeronave, no compartimento do motor, nos PODs das asas e à popa do *cockpit*, fornecendo uma cobertura azimutal de 360 graus. O sistema fornece detecção, identificação e localização de ameaças. Na aeronave *block 2*, o ALQ-218 é capaz de entregar dados do alvo a outras plataformas de ataque aéreo e terrestre.

O Sistema de MAE aerotransportado AN/ALE-47 é usado para despistar mísseis teleguiados por infravermelho. Ele funciona lançando *flare*<sup>7</sup> ou *chaff*.

## 4.2 EC-130H *Compass Call*

O EC-130H *Compass Call* é uma AAE baseada em uma versão modificada da aeronave de carga C-130 *Hercules*. O sistema de MAE da aeronave é chamado sistema *Compass Call*. A Força Aérea dos Estados Unidos (USAF) afirma que o EC-130H perturba as comunicações de C<sup>2</sup> do inimigo e limita a coordenação adversária essencial

---

<sup>6</sup> É um tipo de radar cujo transmissor e receptor são compostos de numerosos módulos independentes e utiliza um tipo de antena faseada, possuindo vários elementos ativos controlados por computador. Nessa antena, o feixe de ondas de rádio é direcionado para diferentes direções sem necessidade de qualquer movimento mecânico.

<sup>7</sup> São dispositivos de ataque eletrônico utilizados tanto contra sistemas de rastreamento infravermelho, tanto como contra sistemas de guiagem de mísseis, ao se criar uma fonte de calor com energia infravermelho superior à plataforma lançadora.

para o gerenciamento da força inimiga. O sistema *Compass Call* emprega capacidades ofensivas de contrainformação<sup>8</sup> e ataque eletrônico em apoio às forças táticas aéreas, de superfície e de operações especiais dos EUA.

Figura 4.2 – EA-130H Compass Call



5  
Fonte: USAF (2015).

A aeronave EC-130H é capaz de transportar 13 pessoas. Quatro membros são responsáveis pelo voo e navegação da aeronave (comandante, copiloto, navegador e engenheiro de voo), enquanto nove membros operam e empregam o equipamento de MAE permanentemente integrado no compartimento de carga. A tripulação da missão inclui o comandante da tripulação da missão (oficial de GE), oficial do sistema de armas (oficial de GE), supervisor da tripulação da missão, quatro operadores de análise, um operador de aquisição e um técnico de manutenção.

A configuração atual do EC-130H fornece ao DoD o equivalente a uma capacidade de ataque eletrônico de quinta geração<sup>9</sup>. A aeronave permite que a Força Aérea bloqueie as comunicações, os radares de aquisição e de alerta antecipado e os sistemas de navegação durante as operações táticas aéreas, terrestres e marítimas. A

---

<sup>8</sup> Ação, estratégia ou conjunto de recursos que visam a neutralizar os serviços de informação do inimigo para impedir ou dificultar seu acesso a informação verdadeira, mediante, principalmente, a divulgação de informações falsas.

<sup>9</sup> É a denominação para caças em serviço a partir de 2005, aproximadamente. Estas aeronaves combinam fuselagens de alto desempenho, armamento avançados em combate para o ar/ar, ar/superfície, tecnologia *stealth* e com redes de sensibilização para ambientação de combate. Avançados sistemas de aviação, altamente integrados com sensores a bordo, pilotos livres para se concentrar na tarefa.

maioria das melhorias encontradas no EC-130H *Compass Call* são modificações classificadas no sistema de missão que aumentam a precisão e a capacidade de ataque. O sistema foi projetado para incorporar um aspecto de capacidade de reação rápida *plug-and-play*<sup>10</sup>, que historicamente permitiu ao programa combater ameaças pontuais de alto perfil. Essa flexibilidade permite que a aeronave acompanhe o uso adverso de tecnologia emergente. Ele promove maior proficiência e eficácia da tripulação, manutenção e sustentação com uma configuração de frota comum, novas interfaces de operador, maior confiabilidade e melhor detecção de falhas.

As capacidades de comunicação da aeronave foram aprimoradas com uma expansão da conectividade de comunicação por satélite compatível com as arquiteturas do DoD emergentes, redes de coordenação de múltiplos ativos aumentados e terminais de link de dados atualizados. As comunicações externas aprimoradas permitem que as equipes do *Compass Call* mantenham a consciência situacional e a conectividade em ambientes operacionais e táticos dinâmicos. Além disso, as modificações na fuselagem proporcionam melhor desempenho e capacidade de sobrevivência da aeronave.

A cabine de comando de várias aeronaves foi atualizada para uma cabine de vidro. Essas atualizações fornecem ao EC-130H uma capacidade de aviônica civil atualizada para resolver problemas de obsolescência e cumprir os requisitos de Gerenciamento de Tráfego Aéreo Global. Foram instalados novos visores de instrumentos eletrônicos de voo que exibirão todos os dados do motor, pressões hidráulicas, posição dos flaps e compensadores para os ailerons e leme. Um novo radar meteorológico colorido foi instalado, incluindo mapeamento preciso do solo e funções de cisalhamento do vento.

O *Compass Call* se integra às operações aéreas táticas em qualquer nível. A natureza versátil e flexível da aeronave e sua tripulação permitem que o poder do combate eletrônico seja utilizado em praticamente qualquer situação de combate. Os seus equipamentos são mantidos como segredo de estado e não são divulgados em fontes abertas pela USAF.

---

<sup>10</sup> Os dispositivos *plug and play* entram em modo de operação rapidamente ao serem conectados a um computador ou sistema sem a necessidade de intervenção do usuário, pois o computador se encarrega de realizar todas as funções a fim de identificar e estabelecer conexão com o dispositivo conectado.



### 4.3 EC-37B *Compass Call Re-Host*

A aeronave EC-37B está sendo desenvolvida para fornecer melhores capacidades de ataque eletrônico para a USAF. Ela será equipada com o sistema de GE *Compass Call* existente, instalado nas aeronaves de ataque eletrônico EC-130H *Compass Call*.

Espera-se que a aeronave EC-37B forneça maior capacidade de bloqueio de emergência, em comparação com a EC-130H. A Força Aérea afirma que os EC-37Bs receberão equipamentos da missão principal de aeronaves EC-130H, bem como novos e atualizados. Em comparação com o EC-130H a aeronave EC-37B fornecerá maior alcance, velocidade, resistência e altitude operacional para melhor autonomia e capacidade de sobrevivência. Isto permitirá que a USAF conduza eficazmente o Ataque Eletrônico em um ambiente Anti-Acesso/Negação de área (A2AD<sup>11</sup>) (USAF, 2019)

Figura 4.3 – EA-37B *Compass Call Re-Host*



Fonte: USAF (2017).

### 4.3 F-35 *Joint Strike Fighter*

O F-35 *Joint Strike Fighter* está sendo adquirido em três versões para a Força Aérea (F-35A), Corpo de Fuzileiros Navais (F-35B), e Marinha (F-35C) dos EUA.

---

<sup>11</sup> Um dispositivo ou estratégia usada para impedir um adversário de ocupar ou atravessar uma área de terra, mar ou ar.

Enquanto as principais missões do F-35 são combate a alvos de superfície e combate a alvos aéreos, o F-35 tem uma capacidade de GE incorporada significativamente maior do que a dos caças e aeronaves de ataque anteriores dos EUA. O sistema de GE do F-35 é o AN/ASQ-239 serve como um sistema coletor de sinais que fornece alarme aéreo antecipado, identifica a geolocalização de emissores eletrônicos, rastreia várias aeronaves simultaneamente e MAE de alto ganho (LEMONS e CARRINGTON, 2018). As capacidades de GE são projetadas para fornecer: cobertura de ampla frequência, tempo de reação rápida, alta sensibilidade e probabilidade de interceptação, localização precisa da direção, rastreamento de múltiplas aeronaves, e fornecer MAE de bloqueio.

O F-35 não requer uma AAE dedicada para apoiá-lo; isto potencialmente liberaria outras aeronaves para realizar missões de ataque eletrônico para proteger aeronaves menos furtivas. Para fornecer sua capacidade de interferência orgânica, o F-35 utiliza seu radar AESA que se aliou a pacotes avançados de algoritmos de interferência.

Figura 4.4 – F-35 *Joint Strike Fighter*



Fonte: *Lockheed Martin Corporation* (2016).

Para as missões de MAE, os pilotos de F-35 serão capazes de detectar e seguir o inimigo, interromper ataques e bloquear radares de forma muito eficiente devido aos avançados recursos eletrônicos de guerra da aeronave. Além disso, os pilotos estarão sempre um passo à frente, tendo acesso em tempo real às informações do espaço de batalha com cobertura de 360 graus, graças à aviônica avançada. Os sensores na aeronave serão capazes de coletar dados e compartilhá-los instantaneamente com os

comandantes. Os radares inimigos praticamente não conseguem detectar o F-35 devido a sua capacidade de ocultação sem precedentes, proporcionada por seus materiais avançados absorvedores de energia radar (*Radar Absorber Materials – RAM*), bocal de eixo assimétrico e projeto integrado de estrutura de aeronaves (*LOCKHEED MARTIN CORPORATION*, 2016).

O F-35 aumenta a consciência situacional de toda a rede de centros de operação e aviões, compartilhando todos os dados coletados a partir das informações do campo de batalha. Os modernos links de dados táticos e o suporte logístico via web proporcionarão ao F-35 um alto nível de interoperabilidade entre as forças armadas dos EUA (OZDEMIR, 2009).

Aviônica, sistemas de comunicação, *displays* e sensores eletrônicos integrados são conhecidos como sistemas de missão. Os sistemas de missão são responsáveis pela coleta e compartilhamento de dados com o piloto e aeronaves amigáveis no mar e no solo. A aeronave F-35 está equipada com as versões mais avançadas destes componentes relacionados à comunicação, como o radar AESA, mostrador montado no capacete, sistema de abertura distribuída, sistema de direcionamento, e aviônica de comunicação, navegação e identificação.

## 5 EMPREGO DE VANTs EM MEDIDAS DE ATAQUE ELETRÔNICO

Os VANTs também podem ser aplicados em MAE e apresentam algumas vantagens em relação às AAEs. A principal missão da maioria das aeronaves militares não tripuladas, em vez de combate, é a missão de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (*Intelligence, Surveillance and Reconnaissance - ISR*). As missões ISR incluem vigilância no campo de batalha, retransmissão de comunicações e alerta aéreo antecipado.

Ressalta-se que as ações de MAE, de uma maneira geral, podem ser empregadas contra qualquer sistema que dependa de receptores, como os de radares, comunicações ou óticos. Duas situações interessantes podem ser obtidas quando um VANT carrega o equipamento gerador de bloqueio contra um radar, ao invés de uma aeronave tripulada. Primeiro, considerando que um VANT consiga ter uma Seção Reta Radar (*Radar Cross Section – RCS*) menor que o de uma aeronave convencional, por diferenças de tamanho e geometria, será possível ao VANT aproximar-se mais do radar a ser atacado, pois, a distância de *look-through*<sup>12</sup> será menor, eventualmente permitindo um ataque ou lançamento de armamentos mais eficazes. Em segundo lugar, todo equipamento que transmite, a exemplo de um POD, é susceptível à localização por triangulação, o que colocaria a tripulação de aeronaves em risco. Venâncio e Feldens (2019) afirmam que o VANT, neste caso, pode proteger uma força atacante se for colocado em uma posição diferente dela, pois, irá atrair a atenção das forças inimigas para um setor do qual não virá o ataque real, podendo ser usados para o lançamento de *chaff*, bloqueio eletrônico, bem como criar um setor diversionário<sup>13</sup>.

Para despistamento os VANTs também apresentam características interessantes para serem exploradas, seja ele destinado a sistemas de comunicações, radar ou óticos. Contra comunicações, VANTs podem ser empregados tanto como repetidores (*relays*) dos sinais de despistamento vindos de uma estação, quanto para emitir sinais previamente gravados. Quando agindo como *relays*, só o fato de estarem em voo já os permite obter um horizonte rádio maior que o das estações de solo ou navais, mas, além disto, uma proteção comum em posições convenientes atrás das linhas inimigas, auxiliando para que os sinais falsos sejam aceitos pelo oponente. A RCS de um VANT

---

<sup>12</sup> Distância de na qual o alvo é visível mesmo com a presença de bloqueio.

<sup>13</sup> Que se presta para distrair, desviar a atenção do inimigo.

pode ser aumentada pelo uso de geometria e refletores apropriados ou equipamentos eletrônicos, dando a impressão de que é um alvo muito maior, ou, de outra forma, ser recoberto de RAM para se tornar um alvo minúsculo.

Segundo Gomes (2006), drones podem ser empregados como veículos transmissores de energia direcionada, como os EMP e HPM que visam danificar circuitos eletrônicos, ou mesmo de HEL, contra sistemas óticos ou visão humana, bem como, iluminar alvos. O autor afirma ainda que os ARM também são enquadrados dentro das MAE, e, neste caso, os VANTs podem ser guiados pelas emissões de algum sistema inimigo, atingindo-o.

Existem muitas tecnologias desenvolvidas para o emprego de VANTs em MAE, podemos destacar o Projeto CHAMP, os *Drone Swarm* e os *Stealth Drones*.

## 5.1 Projeto CHAMP

O *Counter-electronics High Powered Advanced Missile Project (CHAMP)* é um sistema não tripulado capaz de voar em uma área contestada e desativar os sistemas eletrônicos de um adversário. Ele emprega uma tecnologia de radiofrequência de alta potência, que foi desenvolvida nas últimas duas décadas no Laboratório de Pesquisa da USAF em parceria com a empresa Boeing.

Figura 5.1 - Projeto CHAMP



Fonte: Lewis (2012).

CHAMP é uma EMP não nuclear montada sobre um míssil e juntamente com um sistema avançado de armas eletrônicas de guerra que emite HPM para desativar equipamentos eletrônicos e sistemas de computador de um alvo específico com alta precisão. A arma foi projetada para afetar a funcionalidade dos sistemas eletrônicos, não resultando em nenhum dano físico às estruturas e pessoas que operam o equipamento.

De acordo Lewis (2012), o teste de lançamento do míssil foi realizado com sucesso em 2012 utilizando um míssil de cruzeiro convencional AGM-86. Durante a demonstração ao vivo do voo sobre o Campo de Teste e Treinamento de Utah, o míssil navegou por um plano de voo pré-programado e emitiu explosões de energia de alta potência, derrubando efetivamente os sistemas eletrônicos do alvo. O míssil nesta fase de demonstração realizou ataques seletivos de ondas de rádio de alta frequência contra numerosos alvos durante uma única missão. O autor afirmou que o CHAMP disparou rajadas de HPM em uma estrutura de vários andares contendo sistemas e dispositivos eletrônicos, a arma tipo drone desabilitou irreparavelmente os computadores, a eletrônica e até mesmo as câmeras que registram a operação de sete alvos em um período de uma hora.

CHAMP pode ser usado como um sistema de armas confiável para paralisar os Centros de  $C^2$  com muito pouco ou quase nenhum dano colateral. Ele fornece uma solução atrativa para combater uma gama completa de equipamentos de armas modernas e suas plataformas. Uma arma HPM pode atingir múltiplos alvos e simultaneamente afetar todos os alvos que caem na linha de visão. Tal arma também seria capaz de atacar alvos dispersos através de travamento simultâneo de acordo com a capacidade do sistema e pode ser usada para rastrear e distribuir energia em alvos diferentes ao mesmo tempo. Pode ser eficaz em danos permanentes às redes de telecomunicações, redes de energia, componentes eletrônicos de armas e sistemas de computador, deixando intacta a infraestrutura. A avaliação e indução bem sucedida do CHAMP indica que a tecnologia de armas HPM amadureceu consideravelmente desde o tempo em que a pesquisa estava restrita à geração de onda de frequência fixa com alta potência de saída. Mais importante é que o sistema de armas produziu um efeito EMP sem o envolvimento de reações nucleares; ele é de natureza não cinética e tem um efeito insignificante sobre os seres humanos. A tecnologia agora abriria o uso de armas HPM em diferentes plataformas de armas e desabilitaria a capacidade do adversário mesmo antes do início das hostilidades. Como a tecnologia HPM prolifera, é natural que contramedidas como a blindagem passiva de todos os aparelhos eletrônicos



particularmente usados em sistemas de armas e elementos de apoio se tornem uma norma (PATIL, 2015).

## 5.2 Drone *Swarm*

O laboratório de Pesquisas da USAF está desenvolvendo MICRO<sup>14</sup> e NANO<sup>15</sup> VANTs baseados em animais biológicos, como aves e insetos, chamados de Drone *Swarm* (“Enxame de Drones”), podem ser empregados para confundir os sensores inimigos e evitar que estes empreguem armas de precisão. Esta tecnologia trabalha em conjunto para atingir um objetivo específico. Cada drone em um enxame é impulsionado por um número específico de rotores e consegue pairar verticalmente, decolar e aterrissar. O voo dos VANTs pode ser controlado manualmente, ou seja, por operações de controle remoto, ou de forma autônoma, usando processadores implantados. No enxame, cada drone possui tarefas dedicadas de coleta e processamento de dados com capacidade computacional suficiente para executar estas tarefas em tempo real. Seu processamento central ocorre no servidor/estação base mais eficiente ou mesmo na nuvem.

Figura 5.2 - Drone *Swarm*



Fonte: <https://www.information-age.com/ai-powered-drone-swarms-123479202/>.

<sup>14</sup> VANTs com peso superior a 250 g e inferior a 2 kg

<sup>15</sup> VANTs com peso inferior a 250 g.

A grande vantagem desta tecnologia é que, devido ao seu pequeno tamanho, são menos vulneráveis a ameaças, portanto, exigem menos precauções de autodefesa, além disso, são mais baratos e, em alguns casos, são dispensáveis.

Para obter um componente de MAE, o “Enxame de Drones” é definido como o domínio do problema e os elementos individuais são modelados como um conjunto de antenas. O projeto resultante é uma antena de radar *phased array*, que é frequentemente chamada como uma matriz oportunista<sup>16</sup> (KOCAMAN, 2008). Na aplicação de bloqueio de sinal por enxames, Kocaman (2008) conclui que a potência do sinal emitido de cada antena e o número de elementos do enxame tem o maior efeito sobre os parâmetros do bloqueio: Distância de *Burn-through*<sup>17</sup> e Relação Bloqueio/Sinal<sup>18</sup> (*Jamming to Signal Ratio-JSR*).

### 5.3 *Stealth Drones*

Uma das principais exigências no projeto do VANTs é a furtividade, que significa baixa capacidade de detecção por radares. As vantagens da aeronave com capacidade de ocultação é poder voar mais profundamente em território inimigo e não ser detectada até que esteja muito próxima de seu alvo (COPPIN, 2014). Embora a tecnologia *stealth* aumente a capacidade de sobrevivência da aeronave, isto cria um desafio na aerodinâmica. Portanto, devem ser projetados de forma que pequena porção da energia do radar iluminante seja espalhada em setores táticos, e a maior parte da energia seja espalhada em direções consideradas seguras. Todos os tipos de assinaturas devem ser considerados, tais como infravermelho, espectro visível, assinatura acústica e micro-ondas. Entretanto, a baixa RCS é um aspecto importante porque a maioria das forças militares modernas desenvolvem sistemas de radares cada vez mais avançados (PERSSON, 2016).

Embora já existam VANTs *stealth*, como o X-47B, essa tecnologia é tão sofisticada que poucos países têm capacidade de desenvolvê-la. O X-47B, da *Northrop*

---

<sup>16</sup> É um novo conceito de antena digital em que os elementos de *phased array* são colocados em áreas abertas disponíveis em todo o comprimento da plataforma. Os elementos são módulos de transmissão/recepção autônomos que não requerem nenhuma conexão de hardware além da alimentação principal. Todos os sinais de sincronização e dados são transmitidos sem fio entre os elementos e um processador central.

<sup>17</sup> É a distância na qual os alvos se tornarão visíveis na tela do radar apesar da presença do bloqueio (a tela permanece borrada porém certos alvos se mantêm constantes).

<sup>18</sup> Razão, geralmente expressa em dB, entre a potência de um sinal de bloqueio e a de um sinal desejado em um determinado ponto.



*Grumman*, é uma das maiores promessas para esse segmento militar. Com formato triangular, que reforça sua qualidade *stealth*, ele mede 11,6 metros de comprimento e 18,9 de envergadura, pode voar acima de 12 mil metros de altitude, no raio de 4 mil quilômetros, durante quase 10 horas sem reabastecer, e carrega até dois mísseis guiados em compartimentos internos. Ainda não há informações precisas disponíveis sobre a velocidade máxima, embora seja conhecido que pode atingir altas velocidades subsônicas (GERTLER, 2012). Ele foi projetado para operar em navios-aeródromo, para isso, o VANT deve está equipado com novos mecanismos, como software para decolagens e aterrissagens mais curtas e precisas, “gancho de aterrissagem”, cujo uso é considerado difícil até mesmo por pilotos experientes, e asas dobráveis, para facilitar seu alojamento. Além disso, ele foi projetado para ser remotamente controlado em ambientes de alta intensidade eletromagnética, na medida em que um navio-aeródromo constitui espaço de altíssima interferência eletromagnética quando todos seus radares e transmissores estão ligados (FREEDBERG, 2014).

Figura 5.3 - X-47B



Fonte: Freedberg (2014).

As capacidades de automação do X-47B trazem outras características inovadoras, além daquelas específicas para operar em navios-aeródromo. O VANT poderá reagir autonomamente a imprevistos durante uma missão, como controlar a sua velocidade para economizar combustível, definir rotas menos dispendiosas ou determinar o melhor curso de aproximação de um determinado alvo (FREEDBERG, 2014).

## 6 CONCLUSÃO

Quando olhamos para os últimos anos do século XXI, a importância dos sistemas de GE aumentou de modo a fornecer segurança com o desenvolvimento das capacidades militares e operacionais dos sistemas que utilizam o EEM, o controle e a exploração do EEM são de vital importância na guerra moderna e nos futuros conflitos. Diante de tudo o exposto no decorrer deste trabalho torna-se visível à importância do estudo dos tipos de MAE empregadas em missões de GE envolvendo aeronaves.

As AAEs estão se tornando mais eficazes para a neutralização, destruição ou SDAI ou dos seus sistemas de comunicação utilizando a recente integração de bloqueadores e avançados radares AESA com capacidade de ataque eletrônico. O equipamento de MAE está mudando gradualmente das plataformas terrestres para as aerotransportadas devido à miniaturização e melhor gerenciamento de interferência eletromagnética. Os sistemas aerotransportados, embora limitados por tamanho e potência, têm a vantagem de obter maior alcance além das linhas inimigas. Bloqueadores e PODs usados em AAEs são tecnologicamente mais capazes do que aqueles instalados em outros tipos de aeronaves.

A recente ascensão do desenvolvimento dos VANTs destaca a questão de saber se substituirão os papéis e missões das aeronaves tripuladas, permitindo que as operações sejam executadas de forma rápida, segura e com menor custo. O drone empregado em MAE está ficando mais importante, uma vez que a GE se tornou o coração da guerra cibernética. Os MICRO e NANO VANTs, começaram a desempenhar um papel fundamental porque são muito pequenos para serem notados por sistemas de radar hostis e são mais baratos. Com a melhoria das capacidades de rede, estes drones podem ser controlados a partir de um centro de operações remoto e podem enviar dados em tempo real para os tomadores de decisão ou comandantes de campo e operação.

Novos VANTs vêm sendo equipados com tecnologia *stealth* e com armas eletromagnéticas como os DEWs, o que deverá aumentar a discrepância entre AAEs, os VANTs simples, de baixa altitude e curto alcance, e VANTs sofisticados, com maiores capacidades ofensivas. Espera-se que as futuras gerações de drones sejam mais versáteis, mas também mais caras e complexas do que as atuais.

Finalmente, o futuro está sob a sombra dos sistemas MAE tecnologicamente sofisticados. Quem construí-los e controlá-los da melhor maneira, desempenhará papel de maior importância na arena política e militar.

### **6.1 Considerações Finais**

Cabe ressaltar as fontes de consulta sobre o tema são amplas e, em sua grande parte, divulgadas em outras línguas ou em repositórios pagos. Por serem assuntos relacionados à Defesa, muitas informações são sigilosas ou pouco divulgadas. No entanto, a gama de abordagens é grande, possibilitando inúmeras formas de discorrer sobre o tema, tornando-se importante focar em alguns poucos cenários para não incorrer em perda de coerência nos assuntos abordados.

A corrida armamentista tecnológica visando incrementar MAEs tecnologicamente avançadas busca aperfeiçoar as ações estratégicas e táticas em conflitos. Tratando-se de segurança, defesa e soberania nacional, o tema é de grande relevância para o país e, conseqüentemente, para a Marinha do Brasil.

### **6.2 Sugestões para Futuros Trabalhos**

A GE é um assunto amplo e relativamente novo no universo acadêmico por este motivo as possibilidades de abordagem são numerosas. Este trabalho objetivou focar no emprego de MAE por aeronaves tripuladas e não tripuladas, porém, existem muitas outras formas de apresentar a tecnologia. Uma sugestão de trabalho futuro seria o emprego dos equipamentos de MAE em outros ambientes de guerra, como navios e forças terrestres.

O trabalho abordou a tecnologia utilizada pelas forças armadas dos Estados Unidos, também seria possível realizar uma abordagem de meios de outras forças internacionais ou o que o Brasil vem desenvolvendo na área de MAE pelas forças de segurança.

## REFERÊNCIAS

- ADAMY, David. **EW 102: a second course in electronic warfare**. Artech House, 2004.
- BRASIL. Ministério da Defesa, Marinha do Brasil, Estado Maior da Armada. **Doutrina Militar Naval**. Rio de Janeiro-RJ, 2017.
- CHOUHAN, Subodh *et al.* **Jammers: A Case Study**. International Journal of Engineering Science and Computing, 2017.
- COPPIN, Joe. **Aerodynamics, stability and shape optimisation of unmanned combat air vehicles**. 2014. Tese de Doutorado. University of Sheffield.
- FORCES, U. S. Joint Publication 3-13.1. **Electronic Warfare, Jan**, Washington, DC: Joint Staff, 2012.
- FREEDBERG, Sydney J. **X-47B Drone & Manned F-18 Take Off & Land Together In Historic Test. Breaking Defense**. 2014. Disponível em: <http://breakingdefense.com/2014/08/x-47b-drone-manned-f-18-take-off-land-together-in-historic-test/>. Acesso 07 Mar. 2021.
- GERTLER, Jeremiah<sup>4</sup>US. **Unmanned Aerial Systems**. In: Library of Congress Washington DC Congressional Research Service, the Library of Congress: Washington, DC, USA. 2012.
- GOMES, Venâncio Alvarenga. **Poder Aeroespacial Não-Convencional: Tendências Doutrinárias de Emprego de Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Ciências Aeronáuticas. Universidade da Força Aérea. Rio de Janeiro.
- KOCAMAN, Ibrahim. **Distributed beamforming in a swarm UAV network**. NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA, 2008.
- LEMONS, Greg T.; CARRINGTON, Karen. **F-35 Mission Systems Design, Development & Verification**. Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. 2018.
- LEWIS, Brandon. **Raytheon EMP weapon tested by Boeing**, USAF Research Lab. 2015.
- LOCKHEED MARTIN CORPORATION. **F-35's capabilities**. Outubro, 2016. Disponível em: <https://www.f35.com/about/capabilities>. Acesso em 12 Mar. 2021.
- Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica-FAB. **Guerra Eletrônica: Medidas de Ataque Eletrônico**. Brasília, DF, 2011.
- NERI, Filippo. **Introduction to electronic defense systems**. SciTech Publishing, 2006.

NIELSEN, Philip E. **Effects of directed energy weapons: lasers, high power microwaves, particle beams**. Directed Energy Professional Society, 2009.

PATIL, Gp Capt PA. **Counter-Electronics High-powered Microwave Advanced Missile Project**. CAPS, 2015.

PERSSON, Björn. **Assessment of Aircraft Radar Cross-Section for Detection Analysis**. 2016. Tese de Doutorado. KTH Royal Institute of Technology.

ROBERDS, Richard M. **Introducing the Particle-Beam Weapon**. Air University Review, 1984.

SULLIVAN, Michael J. *et al.* **Airborne Electronic Attack: Achieving Mission Objectives Depends on Overcoming Acquisition Challenges**. GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE WASHINGTON DC, 2012.

THOMPSON, Loren B.; GOURE, Daniel. **Directed-energy weapons: technologies, applications and implications**. Lexington Institute, 2003.

TORRES, José Ignacio Castro. **El impulso electromagnético y las armas de radiofrecuencia: La vulnerabilidad de las sociedades evolucionadas**. *bie3: Boletín IEEE*, n. 10, p. 69-92, 2018

USAF. **EC-130H Compass Call Fact Sheet**, 2015. Disponível em: <http://www.af.mil/AboutUs/FactSheets/Display/tabid/224/Article/104550/ec-130h-compass-call.aspx>. Acesso em 13 Mar. 2021.

\_\_\_\_\_. **Electronic Warfare Isn't Going Away—But EC-130Hs Will**. 2017. Disponível em: <https://www.airforcemag.com/article/ew-electronic-warfare-ec-130h-compass-call/>. Acesso em 15 Mar. 2021.

\_\_\_\_\_. **Department of Defense Fiscal Year (FY) 2020 Budget Estimates: Research, Development, Test & Evaluation**. Air Force Vol– II, 2019.

*USNI News*. **Electronic Warfare Executive Committee to Focus on Strategy, Acquisition**. March 18, 2015. Disponível em: <https://news.usni.org/2015/03/18/electronic-warfare-executive-committee-to-focus-on-strategy-acquisition>. Acesso em 01 Abr. 2021.

VENÂNCIO, A. G.; FELDENS, J. F. **VANT em Missões de Guerra Eletrônica**. São José dos Campos: Centro Tecnológico Aeroespacial, 2019.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 16<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 2016.