

**MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO  
ESCOLA DE ARTILHARIA DE COSTA E ANTIAÉREA  
(CI A Cos/1934)**

**CURSO DE ARTILHARIA ANTIAÉREA PARA OFICIAIS**

**ARTIGO CIENTÍFICO - 2021**



**O EMPREGO DAS ARMAS DE ENERGIA DIRIGIDA NA ATUALIDADE**

**Rio de Janeiro  
2021**

1º Ten (QC-FN) **MATHEUS LEMOS BAHIA**

**O EMPREGO DAS ARMAS DE ENERGIA DIRIGIDA NA ATUALIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea, como requisito para a obtenção do Grau de Pós-graduação *Lato Sensu* de **Especialização em Operações Militares de Defesa Antiaérea e Defesa do Litoral.**

Orientador: Cap FRIEDRICH LAWRENTZ STREHLAU CENTURION TEXEIRA

**Rio de Janeiro**

**2021**

1º Ten (QC-FN) **MATHEUS LEMOS BAHIA**

## **O EMPREGO DAS ARMAS DE ENERGIA DIRIGIDA NA ATUALIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea, como requisito para a obtenção do Grau de Pós-graduação *Lato Sensu* de **Especialização em Operações Militares de Defesa Antiaérea e Defesa do Litoral**.

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de 2021.

COMISSÃO DE AVALIAÇÃO:

---

LEONARDO VIGLONGO CONSTANT - Cap - Presidente  
Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea

---

FRIEDRICH LAWRENTZ STREHLAU CENTURION TEXEIRA - Cap - Orientador  
Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea

---

DIEGO ROCHA MIRANDA - Cap - Membro  
Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea

# O EMPREGO DAS ARMAS DE ENERGIA DIRIGIDA NA ATUALIDADE

1º Ten (QC-FN) MATHEUS LEMOS BAHIA<sup>1</sup>

**ORIENTADOR:** Cap Art FRIEDRICH LAWRENTZ STREHLAU CENTURION TEXEIRA<sup>2</sup>

## RESUMO

O presente estudo tem como finalidade atualizar os conhecimentos acerca das Armas de Energia Dirigidas, de caráter destrutivos, existentes e em desenvolvimento, realizando um estudo sobre o seu funcionamento, possibilidades e limitações desse tipo de tecnologia, tendo como destaque o emprego deles no âmbito da Defesa Antiaérea observando sua aptidão para o emprego nesta área, bem como o desenvolvimento de contramedidas para se opor a esse tipo de armamento. Ainda, a partir das informações levantadas, este estudo objetiva dar subsídios para se avaliar a capacidade desse tipo de armamento alterar e revolucionar o emprego e a estrutura da Defesa Antiaérea na atualidade ou em um futuro próximo.

**Palavras-chave:** Armas de Energia Dirigida, Defesa Antiaérea, Laser, Micro-ondas.

## ABSTRACT

This study aims to update the knowledge about existing and in development of destructive Directed Energy Weapons, conducting a study on the operation, possibilities, and limitations of this type of technology, highlighting their use within the scope of Anti-aircraft Defense observing its suitability for employment in this area, as well as the development of countermeasures to oppose this type of weaponry. Also, based on the information collected, this study aims to provide subsidies to assess the capacity of this type of weapon to change and revolutionize the use and structure of Air Defense today or in the near future.

**Keywords:** Directed Energy Weapons, Anti-Aircraft Defense, Laser, Microwave.

<sup>1</sup> Ten Fuzileiro Naval. Engenheiro Eletricista com ênfase em Eletrônica pela Universidade de São Paulo (USP), no ano de 2015.

<sup>2</sup> Bacharel em Ciências Militares pela Academia Militar das Agulhas Negras, no ano de 2010, pós-graduado em Ciências Militares com ênfase na Defesa da Costa e Antiaérea pela Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea, no ano de 2013, e pós-graduado em Ciências Militares com ênfase em Gestão Operacional pela Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, no ano de 2020.

## 1. INTRODUÇÃO

A humanidade sempre possuiu em seu imaginário a utilização de uma energia, altamente concentrada, que seria capaz de causar danos e levar a destruição, principalmente em cenários de guerras, como por exemplo a lenda de Luciano de Samósata, no qual Arquimedes utilizou refletores côncavos para concentrar a luz do sol nas velas do navio incendiando-as, ou então no livro de ficção “A guerra dos mundos” de H.G. Wells que em 1898, 60 anos antes da invenção do laser, descreveu uma arma que emite um feixe de luz muito potente.

Dessa forma a partir de 1960 quando o LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) foi pela primeira vez produzido por Theodore Harold Maiman, cientistas e engenheiros procuram formas de levar essa tecnologia para o campo de batalha, em aplicações militares das mais diversas características. No entanto com o desenvolver da tecnologia, as principais pesquisas e programas governamentais têm priorizado a utilização desse tipo de arma com foco no *Force Protection*<sup>3</sup>.

Nesse contexto surge o conceito de Armas de Energia Dirigida (AED) que conforme o Departamento de Defesa dos EUA (US DoD, 2013) é uma arma que utiliza tecnologias relacionadas com a produção de um feixe concentrado de energia eletromagnética ou feixe de partículas atômicas ou subatômicas, para incapacitar, danificar ou destruir equipamentos, instalações ou pessoal inimigo.

Ressalta-se também que outros autores não consideram arma de feixe de partículas atômicas e subatômicas como AED uma vez que esse o princípio de funcionamento dessa tecnologia transmite matéria e depositam sua energia cinética no alvo e não apenas ondas eletromagnéticas como os lasers e micro-ondas, sendo assim possuem familiaridade com o armamento convencional apesar de algumas peculiaridades da tecnologia. (RANHOLA, 2014 e DEVECI, 2007)

Dentro do aspecto da Guerra Eletrônica as AED, podem ser definidas como Medidas de Ataque Eletrônico (MAE) e conforme manual EB70-MC-10.201 podendo ser classificadas tanto como destrutivas como não destrutivas sendo esta última, dentro da faceta dos bloqueadores, conforme mostra a figura 1. Observa-se também que pela doutrina do Exército Brasileiro de Armas de Energia Direcionada está incluso a tecnologia de bomba eletromagnética (e-

<sup>3</sup> Consiste de medidas preventivas para mitigar ações hostis contra pessoal, recursos, instalações e informações críticas da força (US DoD, 2013).

bomb), entretanto deve-se ressaltar que esse tipo de não dirige a energia a um ponto específico e sim a uma grande área de ação.

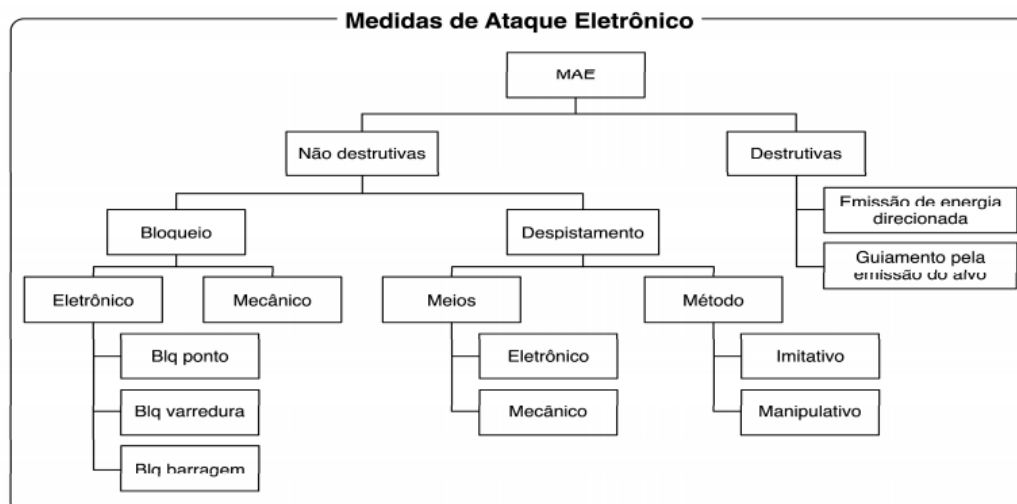


Figura 1 - Medidas de Ataque Eletrônico (EB70-MC-10.201)

Também deve-se ressaltar que o presente trabalho só irá abordar Armas de Energia Dirigidas do tipo destrutiva e não versará sobre a tecnologia de feixe de partículas atômicas e subatômicas, uma vez que elas possuem muito mais complexidades tecnológicas, sendo consideradas não viáveis dentro das próximas décadas (DEVECI, 2007). Além disso o presente trabalho só irá abordar armas que de fato dirigem a energia, excluindo assim as *e-bombs*, apesar do fato da tecnologia desse tipo de armamento ser abordada no presente trabalho

Ressalta-se que apesar do projetos anteriores, décadas de 70 e 80, o desenvolvimento e utilização de AED destrutivas só começou a ganhar viabilidade a partir da segunda metade da década de 90, devido ao avanço tecnológico e a utilização de diferentes tipos de lasers, assim foi possível realizar projetos mais robustos, como o desenvolvimento do ATL (Advanced Tactical Laser), sendo que, no início dos anos 2000 na guerra do Afeganistão, os EUA utilizou armas de Energia direcionada para destruir minas terrestres e marítimas a mais de 300m (RANHOLA, 2014).

Ainda assim a tecnologia possuía uma serie de limitações que só começaram a ser tecnologicamente superadas no início dos anos de 2010, onde diversos projetos conseguiram atingir elevadas potências e um gerando um grande aumento do alcance das armas de energia direcionada como afirma

Ranhola (2014), culminando em 2019 onde, supostamente uma unidade Turca teria abatido um SARP Chinês (PECK, 2019).

Outro fato a se destacar é que diversos estudos já apontam grande utilidade da utilização de AED não destrutiva no conflito moderno contra SARPs, porém observa-se que esse tipo de armamento, atualmente, só seria eficaz contra ameaças de baixa altura, de categoria 2 do manual EB20-MC-10.214 (LEMOS, 2020).

Dessa forma num contexto mais abrangente de DAAe contra outros tipos de vetores, especialmente os não eletrônicos, e de maiores alturas as AED não destrutivas não seriam eficazes.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho irá analisar apenas as AED destrutivas, observará os projetos já desenvolvidas e em processo de desenvolvimento no contexto da Defesa Antiaérea (DAAe), em virtude da baixa eficácia das AED não destrutivas no contexto amplo da DAAe, e verificar se elas irão de fato revolucionar o emprego e a estrutura da Defesa Antiaérea.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- a. Verificar os tipos de AED destrutivas existentes;
- b. Verificar possibilidades das AED destrutivas;
- c. Verificar as Limitações das AED destrutivas;
- d. Observar direção de desenvolvimento tecnológico das AED; e
- e. Verificar tecnologias e medidas para contrapor AED.

## 2. METODOLOGIA

O trabalho apresentará um estudo qualitativo sobre a aplicação de dispositivos e armamentos de energia dirigida do tipo destrutivo, principalmente sobre o enfoque da defesa aeroespacial e mais especificamente sobre a ótica da defesa antiaérea.

Para atingir o objetivo desta pesquisa este trabalho foi dividido em três fases: levantamento bibliográfico sobre as tecnologias das armas de energia dirigida, pesquisa de levantamento sobre sistemas de energia dirigida na atualidade e por fim uma análise dos resultados.

Para o estudo bibliográfico foram pesquisados os princípios de funcionamento das tecnologias empregadas nas armas de energia dirigidas, no caso deste trabalho, armas a laser e de micro-ondas, bem como, buscou-se observar as possibilidades e limitações deste tipo de armamento

Já a pesquisa de levantamento sobre os sistemas de energia dirigida, buscou-se as características e capacidades de cada equipamento, podendo, através dos dados levantados, comparar os sistemas entre si e tentar vislumbrar uma tendência de evolução temporal dos sistemas.

O enfoque dos dados buscado na pesquisa de levantamento foi dado por meio dos principais parâmetros de funcionamento, dos diferentes tipos de armas, que foi entendido no estudo bibliográfico como importante para um melhor funcionamento desses sistemas.

Por fim, na terceira e última parte do trabalho, a análise dos resultados, foi feita uma conclusão buscando observar o impacto desse tipo de armamento no âmbito da Defesa Aeroespacial e principalmente na Defesa Antiaérea, na atualidade ou em um futuro próximo, levando em conta todo o estudo realizado no estudo bibliográfico, bem como no estudo de levantamento, relacionando possibilidades, limitações e barreiras tecnológicas.



### **3. OPERAÇÃO DAS ARMAS DE ENERGIA DIRIGIDA DESTRUTIVAS**

Atualmente existem três principais tipos de tecnologia utilizadas dentro do contexto das AED, sendo elas laser, micro-ondas/Radiofrequência e feixe de partículas e apesar de todas elas estarem dentro do mesmo contexto das Armas de Energia Dirigidas possuem princípios de atuação, utilização e aplicação completamente diferentes (DEVECI, 2007).

Os princípios de utilização dessas tecnologias serão abordados a seguir, com exceção das armas de feixe de partícula uma vez que no contexto atual esse tipo de tecnologia está muito distante das aplicações militares, sendo empregada atualmente apenas em laboratórios, bem como outros diversos pesquisadores apontam para o “Dilema do feixe de partículas” no qual não caracterizam esse tipo de tecnologia como AED pelo fato de possuir a característica de ser uma arma cinética (DEVECI, 2007).

Dessa forma a tecnologia de Feixe de Partículas não será abordada neste trabalho.

#### **3.1 Laser**

##### **3.1.1 Princípio de Funcionamento Laser**

Os primeiros conceitos de laser surgiram em 1917 com a fundamentação teórica proposta por Albert Einstein que demonstrou que fótons poderiam estimular mais emissões de outros fótons a partir da excitação atômica, dessa forma surge a ideia de Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação (Light Amplification by Stimulated of Radiation – LASER<sup>4</sup> (HECHT, 2010).

Um laser consiste em uma emissão estimulada de fótons, os quais possuem a mesma frequência e fase, que gera uma interferência construtiva, aumentando sua amplitude, formando um feixe coerente e unidirecional de luz. Podem operar entre as faixas de infravermelho a ultravioleta do espectro eletromagnético (DEVECI, 2007).

Apesar do conceito teórico remontar da década de 1910, o laser prático foi apenas desenvolvido em 1960, que apesar de em seus primórdios não possuir uma aplicação específica, devido a suas características, o mesmo ganhou bastante emprego principalmente na área de engenharia, medicina e comunicações. Na área militar, porém, sua aplicação foi viabilizada mais

<sup>4</sup> Acrônimo da palavra inglesa *Light Amplification by Stimulated Emission Radiation* = LÊISER (PRIBERAM, 2021)

recentemente, devido aos avanços tecnológicos que possibilitaram o emprego de emissões de potências cada vez maiores.

Apesar do conceito de laser ser bem estabelecido existem três principais tecnologias laser são: Laser de Estado Sólido, Laser Químicos e Laser de Elétrons Livres. Deve-se atentar que cada tipo de laser possui características e naturezas bem distintas, que influenciam em suas aplicações e características da forma de onda do laser, qualidade do feixe, capacidades pulsantes e distribuição de energia (BACHMANN, 2003 apud AGITEC, 2021)

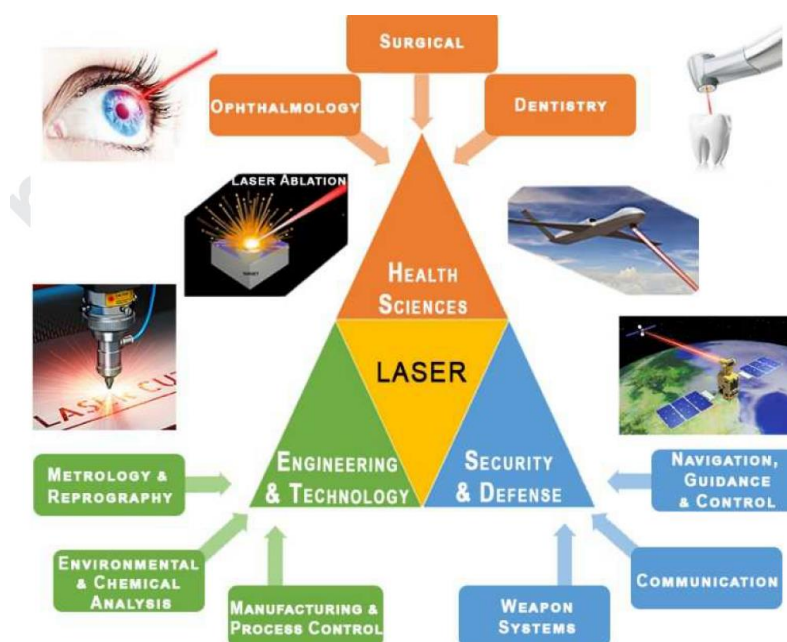


Figura 2 - Categorias de aplicação Laser (AHMED; MOHSIN; ALI, 2020)

Os lasers de estado sólido utilizam sólidos cerâmicos, cristais ou semicondutores para geração do laser, sendo assim necessitam apenas de energia elétrica para emitir o feixe laser. São mais compactos, baratos e possuem vasta aplicação, porém em muitos casos necessitam de grandes sistemas de resfriamento (RANHOLA, 2014). Tipos de Laser.

#### a) Laser de Estado Sólido

O laser de estado sólido é um tipo de laser que se utiliza de meios sólidos para ser gerado, diferentemente dos químicos que se utilizam de gases ou líquidos para gerar o feixe. Os semicondutores são um dos principais meios de geração de laser de estado sólido e são conhecidos como laser diodo, além disso laser de rubi e neodímio são outros sólidos que podem gerar laser desse tipo.

#### b) Laser de Elétrons Livres

O laser de elétrons livres (*FEL – Free Electons Laser*) é um laser que emite elétrons ao invés de fótons. Deve-se ressaltar que o Laser de elétrons livres é um tipo de feixe de partículas, porém o mesmo possui conceitos ondulatórios que permitem classificar a emissão como um laser, ou seja a emissão possui uma frequência específica e unidirecional, gerada por uma interferência construtiva, diferentemente das armas de feixe de partícula que não possuem essa característica ondulatória (TEMPLETON, 2013)

### c) Laser Químico

Lasers Químicos utilizam reações químicas para gerar a excitação atômica e com isso a emissão do laser, são capazes de obter potências na casa do Megawatt, porém possuem limitada capacidade de ajuste do laser emitido, uma vez que os mesmos dependem da reação química. A grande maioria das aplicações militares até os meados da década de 2000 utilizavam esse tipo de laser devido à facilidade de obter grandes potências (COELHO; FREITAS, 2011).

Sua principal desvantagem é o fato de precisar de um “*combustível químico*” para geração do laser o que pode ser um problema logístico, bem como os procedimentos de segurança devido aos químicos envolvidos na propagação do Laser na atmosfera (DEVECI, 2007 e COELHO; FREITAS, 2011).

Pelo fato de o laser ser constituído de ondas eletromagnéticas, e é sabido que esse tipo de emissão possui uma série de interações com os gases atmosféricos que podem degradar e alterar a onda emitida, diminuindo o efeito causado pela arma, sendo assim as condições meteorológicas são um grande limitador para o uso da tecnologia a laser (DEVECI, 2007).

### 3.1.2 Propagação do Laser na Atmosfera

Entre os efeitos atmosféricos que influenciam na propagação pode-se destacar efeitos lineares e não lineares de diversas formas. Entre os principais destacam-se a absorção, espalhamento, turbulência e o florescimento térmico (NIELSEN, 2012).

A absorção atmosférica faz com que seja utilizada apenas algumas janelas de frequências específicas para a transmissão do laser, porém uma vez a que a transmissão esteja dentro dessa janela os efeitos de absorção não

influenciam muito (NIELSEN, 2012).

O espalhamento é o principal efeito que causa o encurtamento da distância máxima de aplicação laser, a causa do espalhamento é a interação do laser com elementos como aerossóis (água, poeira, poluição urbana etc.), dessa forma em dias nublados ou de chuva o efeito das armas será drasticamente afetado (DEVECI, 2007).

A turbulência será responsável pela alteração de direção do feixe do laser que é causado pelas variações do índice de refração do ar causando variações na direção de propagação da luz.

Florescimento Termal é um efeito causado pela distorção da propagação devido ao calor do ar ao redor do feixe, que é causado pela própria energia do feixe, que gera uma alteração nos índices de refração aumentando a distorção no feixe, dessa forma, quanto maior a intensidade do feixe maior será esse tipo de efeito (DEVECI, 2007).

Interação Laser-Alvo e Aplicações

### **3.1.3 Interação Laser-Alvo**

Ao incidir sobre o alvo o laser transfere a sua energia para a superfície do vetor que está sendo incidido, com isso, a superfície sofre diversos efeitos, desde impactos mecânicos, passando por formação de plasma, vaporização até começar a derreter (na ordem de grandeza de segundo) e deixar exposto a energia as partes internas do objeto, que caso sejam combustivas poderão explodir (NIELSEN, 2012).

Para tal fato acontecer é necessário que a energia do laser esteja bastante focalizada e com uma grande intensidade para que haja um grande nível de densidade de energia sobre o objeto. Ressalta-se que quanto maior é o objeto, provavelmente, mais reforçada será a sua carcaça, o que necessitará de uma maior potência para sua destruição, ou então levará à necessidade de um maior tempo de exposição. Leonard (1998) sugere a exposição de um laser de 20kW para realizar um dano de 5 cm de diâmetro em um invólucro de 3mm de espessura, como o de um míssil coreano Taepo Dong 2, já Nielsen (2012) considera-se necessário 10kW/cm<sup>2</sup> para se ter um derretimento em ordem de segundos. Outro fator a se considerar é que esses valores também variariam de acordo com o tipo de material do alvo, uma vez que estes podem ser mais

refletivos e ter uma menor absorção da energia do laser, sendo necessário maiores potências para gerar um efeito destrutivo.

Como visto, é necessário que o laser incida sobre o mesmo local por uma certa quantidade de tempo a depender de fatores como potência incidida e

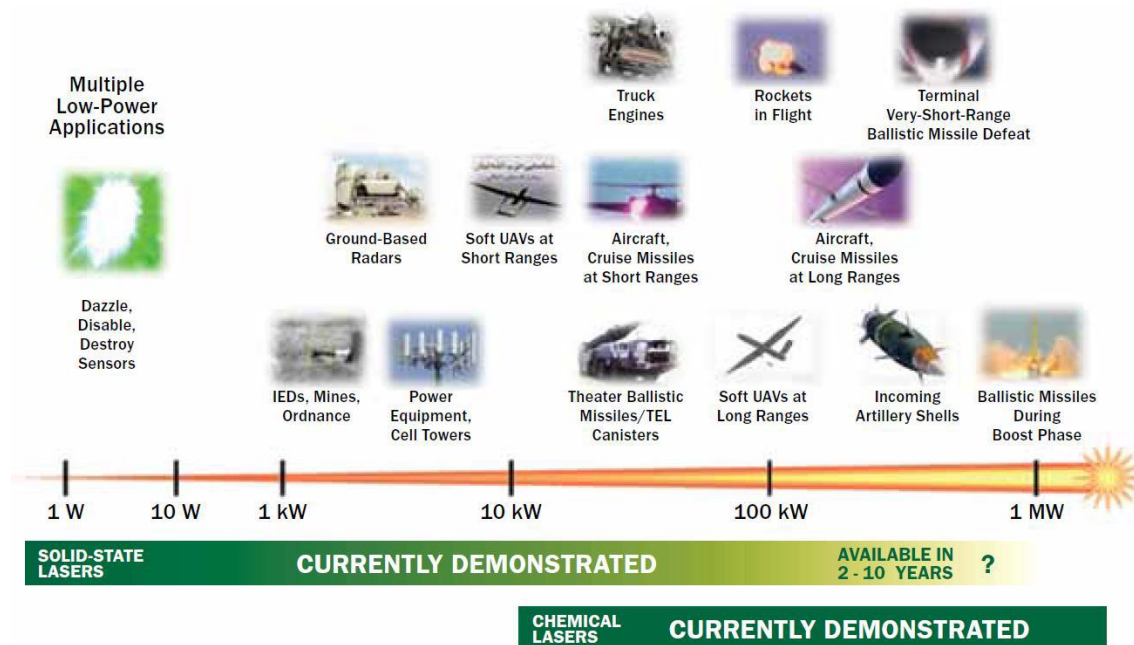


Figura 3 - Capacidade de destruição Laser (Gunzinger & Dougherty, 2012)

absorção da energia pelo material e a espessura do mesmo, e como os vetores aéreos são de grande mobilidade é de fundamental importância que se haja um sistema de direção de tiro extremamente preciso para que se mantenha o acompanhamento do alvo e o apontamento do laser durante seu disparo (MOWTHORPE, 2002).

### 3.1.4 Possibilidades Laser

Devido ao seu princípio de funcionamento as armas laser possuem uma série de vantagens sobre o armamento convencional cinético, visto que devido a sua natureza eletromagnética os mesmos incidem sobre o alvo a partir do disparo na velocidade da luz, cerca de 160 mil vezes mais rápida que a munição comum, tendo assim uma duração de trajeto mínima (RANHOLA, 2014).

Entretanto, apesar da duração do trajeto ser mínima é necessário que o laser incida sobre um alvo por um certo período, o que, além de aumentar o tempo de resposta do sistema, permite com que o vetor aéreo que esteja sobre ação do laser, caso seja alertado, realize manobras de contramedidas.

Entretanto, ressalta que em situações de curto alcance a velocidade da luz e o poder destrutivo da arma, não permite tempo suficiente para o míssil reagir (MCAULAY, 2011 apud RANHOLA, 2014).

Apesar de sofrer efeitos atmosféricos as armas laser possuem uma elevada precisão, visto que não sofrem tanta influência de outros fatores como vento e gravidade como as munições convencionais. Com isso lasers possuem um baixo risco de dano colateral, apesar de que para isto seja necessário um preciso sistema de apontamento e acompanhamento de alvo, bem como a ter a visada direta entre a estação de tiro e o alvo. (MCARTHUR, et al., 2013)

Entre outros fatores a se destacar é que a depender do tipo de tecnologia a “munição” para o laser será apenas a energia elétrica, o que permite realizar uma grande quantidade de disparos enquanto sem a necessidade de se ter grandes recursos logísticos, bem com possuir um baixo custo por disparo, apesar de que o desenvolvimento desse tipo de sistema possui custos muito elevados.

Entre os principais entraves da tecnologia hoje se dá em aumentar a escala de potência dos sistemas devido a problemas de arrefecimento, manter a precisão do acompanhamento a distâncias maiores, uma vez que aplicações de maiores potências desejam engajar alvos mais distantes, bem como controlar o feixe devido a vibrações e movimentações da plataforma (plataformas aéreas e navais)

## **3.2 Micro-ondas**

### **3.2.1 Princípio de Funcionamento de Armas de Micro-ondas**

A arma de micro-ondas assim como Laser é uma arma de energia dirigida, porém em comparação a essa outra atua em uma faixa de frequência muito menor e com isso um comprimento de onda muito maior, com isso o seu princípio de funcionamento é bastante diferente da arma laser (NIELSEN, 2012)

De forma geral toda arma que opera no espectro rádio é chamada de micro-ondas, mesmo aquela que opere fora da faixa de micro-ondas, que vai de 0,3 GHz até 300 GHz. Pelo fato de operar na faixa de frequência radio esse tipo de sistema utiliza-se de antenas para irradiar sua potência, diferentemente dos lasers que utilizam de lentes e dispositivos eletro-ópticos que são bem mais sensíveis (DEVECI, 2007).

Além disso, é muito mais fácil gerar altas potências de micro-ondas, bem como irradiar essa onda do que operando no espectro de luz, sendo assim armas de micro-ondas possuem potências muito mais elevadas que a laser atualmente, de forma que a depender da distância do alvo essa radiação irá causar danos diferentes ao alvo (DEVECI, 2007).

O clássico princípio de funcionamento das armas de micro-ondas se dá pela lei de Faraday onde a variação de um campo magnético (que pode ser de uma onda eletromagnética) sobre um circuito gera uma tensão elétrica (que induz uma corrente elétrica), sendo assim uma onda eletromagnética de alta intensidade pode gerar uma corrente elétrica tal que queime os materiais eletrônicos sensíveis do circuito e faça o sistema para de funcionar.

Além disso, ressalta-se que mesmo que materiais metálicos sejam bons refletores das ondas eletromagnéticas, devido a alta intensidade que esses campos são incididos sobre o alvo o mesmo pode sofrer efeitos térmicos devido ao aquecimento molecular (DEVECI, 2007).

### **3.2.2 Propagação das Micro-ondas na Atmosfera**

Assim como o laser a micro-ondas também sofre e bastante atenuação durante sua propagação na atmosfera, principalmente com líquidos e vapores que geram bastante absorção da energia. Além disso a variação do índice de refração natural da atmosfera faz com que haja dobras no feixe eletromagnético (NIELSEN, 2012).

Outro fator a se considerar é que a difração da onda eletromagnética é bem maior do que das ondas de frequências maiores, como a do laser, sendo assim, é difícil concentrar o feixe em um único ponto, uma vez que durante a sua propagação a onda vai difratando e divergindo. Sendo assim se caso comparássemos lasers a um tiro dado por um rifle, a micro-ondas seria um tiro dado por uma *'shotgun'*, ou seja, possui grande espalhamento, baixo alcance, porém grande área de atuação (NIELSEN, 2012).

### **3.2.3 Interação Micro-ondas – Alvo e Aplicações**

A depender da frequência e da potência na qual a onda de micro-ondas atinge o alvo pode-se classificar a forma de ataque de duas maneiras (DEVECI, 2007):

- a) Acoplamento pela Porta da Frente: ocorre quando a energia da micro-onda é absorvida e penetra por um sensor do alvo que pode ser projetado para operar na faixa de micro-ondas, tal qual comunicações e radares. Nesse tipo de acoplamento a efetividade do ataque é muito maior, já que esse tipo de entrada leva direto a onda aos circuitos eletrônicos do equipamento, porém deve-se ressaltar que caso a frequência de operação seja diferente da frequência de ataque há uma certa degradação da onda atacante
- b) Acoplamento pela Porta dos Fundos: ocorre quando a onda não passa por receptores de micro-ondas e incide diretamente sobre os fios e trilhas do circuito eletrônico, quando os mesmos não são blindados ou há uma falha na blindagem. O caminho pela porta dos fundos requer potências muito mais elevadas.

Também se pode classificar a letalidade do ataque de acordo com as seguintes (DEVECI, 2007):

- a) Upset: pequena alteração no funcionamento do sistema, similar ao efeito de jamming, uma vez que cessa a emissão da micro-ondas o sistema volta a operar normalmente
- b) Lock-up: similar ao Upset, porém é necessário resetar o sistema após cessar a emissão da radiação, para que o sistema volte a funcionar.
- c) Latch-up: forma extrema de lock-up, porém a um pequeno dano permanente ao sistema.
- d) Burnout: quando a queima de capacitores, resistores ou semicondutores do sistema e para o sistema voltar a operar somente trocando os componentes queimados.

#### **3.2.4 Possibilidades das Arms de Micro-ondas**

Devido ao grande aumento da utilização de eletrônica nas aplicações militares as armas de micro-ondas tornaram-se um método bastante interessante a ser explorado, dentre eles missões SEAD, destruição de sistemas de comunicações e destruição de sistemas de Guerra Eletrônica, em particular na defesa aeroespacial pode ser bastante eficaz contra drones (DEVECI, 2007).

Ressalta-se que devido ao espalhamento já mencionado das ondas de micro-ondas esse sistema de energia dirigida pode destruir simultaneamente e



imediatamente, visto que opera na velocidade da luz, um enxame completo de drones a depender das distâncias dos drones entre si.

Assim como o laser a única munição das armas de micro-ondas é a energia elétrica, assim, esse tipo de armamento se beneficia de não precisar de complexos sistema logístico para se manter funcionando (DEVECI, 2007).

Outra vantagem é que não há danos a estruturas físicas devido a utilização desse tipo de arma, porém caso haja sistemas de controle ou sistemas de computadores indispensáveis ao funcionamento de certa estrutura, em determinado local esse tipo de arma pode inutilizar por completo a utilização dessa estrutura física.

Uma das grandes desvantagens desse sistema é que antenas emissoras da micro-ondas possuem lóbulos laterais, que emitem pequena parcela da energia em direção não desejada, que poderá afetar sistemas amigos, causando dano colateral em caso de mal emprego.

## 4. SISTEMAS DE ARMAS DE ENERGIA DIRIGIDA NA ATUALIDADE

### 4.1 - High Energy Laser for Multiple Applications – Power (HELMA-P)

O sistema HELMA-P está sendo desenvolvido para a Marinha Francesa, de forma a realizar a defesa dos navios franceses contra drones. O sistema deverá ter uma potência de laser de 2 kW e estima-se que os mesmos sejam capazes de interceptar os alvos a uma distância de até 1km. Está programado para que este sistema realize testes nos navios no ano de 2022 e que esteja completamente operacional no ano de 2024 (MANARANCHE, 2021).



Figura 4 - HELMA- P (EXPÉRIMENTATION... 2021)

### 4.2 High Energy Laser Weapon (HELW)

O sistema HELW é um Laser desenvolvido por uma empresa da Grécia a Soukos Robots, com o objetivo de atuar na defesa contra drones, fontes consultadas divergem sobre os requisitos operacionais do sistema enquanto Army Recognition (2021) afirma que os sistemas tenham um alcance de 1km, engajando no alvo com um feixe de 20cm de diâmetro, Vlassis (2021) afirma que o alcance efetivo do sistema seja de 1 a 5km e que o laser tenha uma potência de 100 kW.

O sistema possui um sistema de detecção passivo, capaz de identificar alvos até uma distância de 25km, além de possuir uma modularidade que o permite ser acoplado em plataformas terrestres, marítimas e aéreas. Além disso o sistema poderia atingir diversos alvos com um tempo de menos de 2s. (VLASSIS, 2021)



Figura 5 - HELW (VLASSIS, 2021)

### 4.3 High Energy Laser with Integrated Optical-dazzler and Surveillance (HELIOS)

O HELIOS é um sistema desenvolvido pela empresa americana Lockheed Martin de uma AED laser de estado sólido com o objetivo de ser empregados em plataformas navais para proporcionar a autodefesa dos navios.

O sistema a princípio tem uma potência de 60kW podendo ser ajustada para empregar de forma a “cegar” os sensores inimigos ou então o levar a destruição completa. Tem uma capacidade de engajar drones, aeronaves de asa fixa ou rotativa, voando em baixa altura e em alguns casos mísseis. O sistema utiliza sensores eletro-ópticos para detecção e engajamento e já foi instalado em alguns navios, como por exemplo o USS Preble (MAGNUSON, 2021)



Figura 6 - HELIOS (LOCKHEED MARTIN, 2021)

Já se encontra em desenvolvimento outro sistema laser que pode chegar a 150kW para integrar os navios da Marinha americana, sendo inclusive já realizado testes pelo USS Portland. (DEFESANET, 2020)

#### 4.4 High Power Laser Weapon System (HPL-WS)

O HPL-WS é um sistema de arma a laser elétrico desenvolvido em Israel, para ser utilizado em uma plataforma aérea e ser contra foguete, artilharia e morteiros (Counter Rocket, Artillery, and Mortar (C-RAM) (ESHEL, 2021).

Realizou teste de campo em junho de 2021 e conseguiu sucesso em abater 100% dos alvos, inclusive contra drones kamikaze (Loitering munition). Para esse teste os alvos foram engajados a uma altitude de aproximadamente 3000ft e a uma distância de 1km (ESHEL, 2021).

O objetivo do sistema é ter as mesmas capacidades do Iron Dome, porém com um custo por disparo menor que o atual (que está em dezenas de milhares de dólares), dessa forma, se objetiva a engajar foguetes a dezenas de quilômetros de distância (ESHEL, 2021).

Pelo fato de se encontrar em uma plataforma aérea, o mesmo possui vantagens com relação ao fato de se ter maior mobilidade e não ser interferido tanto por questões climáticas e atmosféricas, permitindo engajar o alvo mais próximo da fronteira, ou até mesmo em território inimigo (ESHEL, 2021).

Estima-se desenvolver um sistema de 100kW com alcance de 20km para 2024, sendo que sistemas terrestres de mesma potência possuiriam alcance de apenas 8 a 10km (ESHEL, 2021).



Figura 7- HPL-WS (ESHEL, 2021)

#### 4.5 Directed-Energy Maneuver-Short Range Air Defense (DE-M-SHORAD)

Arma a laser desenvolvida pela Northrop Grumman e pela Raytheon de um sistema de 50kW a ser utilizado em uma plataforma terrestre 8x8 blindada Stryker de forma a compor o sistema M-SHORAD de defesa antiaérea. (COX, 2020)

O objetivo do sistema é ser C-RAM e contra drone e aeronaves de asa rotativa e seu emprego seria juntamente com viaturas de armamento cinético, tendo previsão de entrega para 2022. (COX, 2020)



Figura 8 - DE-M-SHORAD (COX, 2020)

#### 4.6 Indirect Fire Protection Capability – High Energy Laser (IFPC-HEL)

Desenvolvido pela Lockheed Martin e pela Dynetics, esse sistema tem como base o High Energy Laser Tactical Vehicle Demonstrator (HEL-TVD) de 2018, que foi uma arma a laser autopropulsada com potência de 100kW. (JONES-BONBREST, 2020)

Para o IFPC-HEL a potência da arma ganhou um incremento e terá como objetivo ter uma potência de 300kW para ser utilizado contra Drones, aeronaves, mísseis de cruzeiro e C-RAM. (MIZOKAMI, 2019)

A demonstração do laser está prevista para 2022 e o sistema integrado para 2024. O desenvolvimento inclui quatro protótipos totalmente operacionais do sistema completo e objetivará ser utilizado em complemento a outros tipos de laser defesa antiaérea, tal como o M-SHORAD. (JONES-BONBREST, 2020)





Figura 9 - IFPC-HEL (MIZOKAMI, 2019)

#### 4.7 Self-Protect High Energy Laser Demonstrator (SHiELD)

O SHiELD é um programa de demonstração de capacidade desenvolvido pela Lockheed Martin e pela Northrop Grumman para um sistema de AED laser para prover autoproteção para aeronaves, incluindo as de alta performance, contra mísseis. (STROUT, 2021)

A expectativa é que o sistema possua capacidade para destruir mísseis em voo e em rota contra as aeronaves. Os testes estão programados para acontecer em 2024. (STROUT, 2021)



Figura 10 - SHiELD (TACTICAL... 2021)

O sistema vem sendo desenvolvido desde 2017 e alguns especialistas estão céticos sobre o funcionamento do sistema (DURSO, 2020)

#### 4.8 Tactical High Power Microwave Operational Responder (THOR)

O THOR é uma arma de energia dirigida do tipo de micro-ondas que está sendo desenvolvida pela Air Force Research Lab. Diferentemente das armas a laser o THOR é capaz de destruir dezenas de drones com um só disparo.

O sistema utiliza radar para realizar a detecção dos alvos e tem como objetivo se contrapor a drones. Foi realizado em 2021 um teste de mundo real na África e a expectativa é que em 2024 seja realizado teste operacional para que o mesmo possa entrar em serviço em 2026.



Figura 11 – THOR (HITCHENS, 2020)

#### 4.9 PHASER™



Figura 12 – PHASER™ (RAYTHEON MISSILES & DEFENSE, 2021)

O PHASER™ é um sistema de micro-ondas desenvolvido pela Raytheons. O sistema utiliza radares e sensores eletro-ópticos para detecção do

alvo. O sistema além de ser utilizado para a defesa antiaérea também pode ser utilizado para a defesa terrestre, ao direcionar sua antena contra alvos terrestres. (RAYTHEON MISSILES & DEFENSE, 2021)

Já ocorrem testes com o sistema desde 2019, porém não está claro quão efetivo é o mesmo nem tão pouco qual seu alcance e a sua potência.

#### **4.10 ALKA Directed-Energy Weapon System**

O ALKA é um sistema de energia direcionada, desenvolvida pela empresa Roketsan da Turquia, que contempla tanto uma arma a Laser quanto uma arma eletromagnética. Esse sistema foi revelado em 2019 e está sendo empregado na guerra civil da Líbia. Alega-se que esse sistema tenha derrubado um drone chinês, o CAIG Wing Loong II, e caso seja verdade, foi a primeira vez que uma arma a laser tenha sido utilizada para se destruir uma plataforma inimiga durante período de guerra. (PECK, 2019)

A arma laser do sistema possui um alcance de destruição de 500m e a arma eletromagnética possui um alcance de destruição de 1000m, porém o mesmo pode interferir eletromagneticamente em drones a uma distância efetiva de até 4000m. (ROKETSAN A.S, 2021).

Para detecção de alvos possui um sistema radar e um sistema eletro-óptico capaz de acompanhar alvos a uma distância de 1000m com precisão de 8mm, bem como acompanhar velocidades de até 150km/h (para destruição) (ROKETSAN A.S, 2021).



Figura 13- ALKA (DAILY SABAH, 2021)



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando os fatos expostos nos capítulos anteriores, percebe-se que apesar de se ter, em teoria, uma grande gama de possibilidades, as armas de energia dirigida ainda são pouco utilizadas na atualidade e demonstram ser bastante incipientes no seu aspecto tático, técnico e doutrinário, principalmente devido a questões tecnológicas que impedem o desenvolvimento de maiores potências para esse tipo de armamento, aliada a uma boa relação peso/potência e mobilidade.

Apesar do pouco desenvolvimento desse tipo de armamento, percebe-se um grande esforço para viabilizar e evoluir as armas de energia dirigida, devido aos grandes investimentos atuais que propiciarão a entrega de diversos projetos nos próximos anos desta década, principalmente as armas a laser.

Já as armas de micro-ondas, apesar de possuírem alguns projetos em desenvolvimento, e alguns outros de menor porte já em emprego, segundo a pesquisa, possuem menos equipamentos em vias de ser utilizado, o que pode indicar que este tipo de material deve demorar um pouco mais a se tornar plenamente operacional, mas que ainda assim se encontram em caminho de expansão de utilização.

Foi visto também a grande possibilidade da utilização desse tipo de equipamento, que seria capaz de atuar desde uma defesa C-RAM, onde já é possível ser utilizado AED para esses fins, até o emprego contra mísseis balísticos, estado o qual ainda se necessita de bastante amadurecimento da tecnologia.

Entretanto pelo fato de que esse tipo de armamento ainda se encontrar em desenvolvimento e não é plenamente empregado ainda se vê pouco movimento da utilização de contramedidas, o que no futuro poderá limitar um pouco mais o emprego das AED.

Ainda assim, ressalta-se que as Armas de Energia Dirigida podem causar uma quebra de paradigmas dentro do contexto da defesa-aeroespacial, visto que caso se consiga alcançar resultados esperados para esse tipo de tecnologia e que todas as possibilidades sejam alcançadas, o emprego dos vetores aéreos será amplamente modificado.

Dentro do âmbito da defesa antiaérea observa-se que o emprego de

armas a laser para a defesa de ponto-sensível, bem como em autodefesa, já está em sendo empregado, de forma incipiente, porém possível. No entanto ressalta-se que devido às limitações da tecnologia deve-se atentar para o fundamento do emprego das unidades antiaéreas de Combinação das Armas Antiaéreas, visto que esta pode tornar inoperante em condições climáticas adversas, tornando vulnerável uma defesa que só utilize esse tipo de armamento.

Também se observa a possibilidade da utilização de AED em aeronaves para cumprir missões que antes eram exclusivas da defesa antiaérea, como no caso do equipamento de HPL-WS de Israel, o que permitiria abater mísseis, foguetes e outros pequenos vetores aéreos a partir de uma aeronave, acima até do teto das nuvens, o que diminuiria alguns aspectos limitador da tecnologia. Sendo assim ao permitir que a defesa aérea cumpra missões de DA Ae pode-se flexibilizar ainda mais o planejamento e emprego da defesa feita em terra.

Outro fator a se considerar é que uma das maiores ameaças à Defesa Antiaérea que vem surgindo recentemente, é o emprego de drones, principalmente na tática de enxame, poderia ser amplamente combatido com a utilização da energia dirigida, sobretudo com o emprego das armas de micro-ondas.

Já dentro do aspecto da Defesa Aérea a utilização das armas de energia dirigida também possui um potencial de realizar uma quebra de paradigmas, principalmente as armas laser, visto que como os lóbulos laterais podem causar uma interferência e destruição de equipamentos da própria aeronave. O emprego de armas laser pode ser utilizada, como visto anteriormente, para a defesa de um ponto sensível contra pequenos vetores aéreos, em caso de autodefesa da aeronave, como no caso do equipamento SHIELD, ou até por meio de táticas com utilização de escolta laser.

Caso seja eficaz esse tipo de emprego, o que por este estudo não se dará em um breve espaço de tempo, as armas laser têm a possibilidade de diminuir drasticamente a importância dos mísseis contra alvos aéreos, estes que atualmente constituem a principal forma de defesa aeroespacial, visto que o laser nas aeronaves poderia facilmente destruir esses artefatos que se dirigissem contra as aeronaves, o que poderá acarretar grandes mudanças doutrinárias tanto da DA Ae como da Defesa Aérea.

Sendo assim o desenvolvimento de armas a laser para aeronaves irá forçar ainda mais o emprego desse tipo de armamento contra as próprias aeronaves, sejam por meio do emprego por plataformas terrestres, com maior capacidade, ou outras plataformas aéreas, fato este que poderá acabar com o combate BVLoS (*Beyond Visual Line-of-Sight* – Além da linha de visão visual), visto que armas laser operam apenas dentro do alcance visual.

Outro fator que poderá ter implicações na utilização de armamentos de energia dirigida em aeronaves é haver uma forte retomada do emprego de canhões e metralhadoras, armamento este que não é tão facilmente influenciado pelo emprego de AED.

Outro aspecto interessante levantado é que já existem sistemas que combinem diferentes tecnologias de energia dirigida integrada, fato este que poderá ampliar as capacidades do sistema mesmo que possua requisitos técnicos inferiores aos de sistemas isolados, visto que sistemas desse tipo podem ter sido utilizados para destruir uma plataforma inimiga durante período de guerra pela primeira vez.

Assim observa-se que as AED podem gerar grandes vantagens operacionais, no entanto estas não substituem por completo as armas convencionais. Também se percebe que seu emprego está incipiente e que necessita de maiores provações em campo de batalha para determinar a sua real capacidade de constituir uma revolução militar ou então alterar a condução das operações militares.

## 6. REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Manual EB20-MC-10.214: Vetores Aéreos**. 2.ed. Brasília, DF, 2020

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Manual EB70-MC-10.201: A Guerra Eletrônica na Força Terrestre**. 1.ed. Brasília, DF, 2019

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. AGITEC. **Tecnologia em Laser para Defesa**. Relatório de Prospecção Tecnológica. 002/2021.

AHMED, Syed Affan; MOHSIN, Mujahid; ALI, Syed Muhammad Zubair. **Survey and technological analysis of laser and its defense applications**. *Science Direct: Defense Technology*, Paquistão, v. 17, n. 2, p. 583-592, 25 fev. 2020. Bimensal. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214914719312231?via%3Dihub>. Acesso em: 05 ago. 2021.

ARMY RECOGNITION. **DEFEA 2021: soukos robots showcases high energy laser weapon system**. Soukos Robots showcases High Energy Laser Weapon system. 2021. Disponível em: [https://www.armyrecognition.com/defea\\_2021\\_news\\_official\\_online\\_show\\_daily\\_defense\\_exhibition/defea\\_2021\\_soukos\\_robots\\_showcases\\_high\\_energy\\_laser\\_weapon\\_system.html](https://www.armyrecognition.com/defea_2021_news_official_online_show_daily_defense_exhibition/defea_2021_soukos_robots_showcases_high_energy_laser_weapon_system.html). Acesso em: 04 ago. 2021.

BACHMANN, F. **Industrial applications of high power diode lasers in materials processing**. *Applied Surface Science*, v 208, p. 125-136, 2003.

COX, Matthew. **Soldiers to Shoot Lasers from Stryker Vehicles in Upcoming Test**. 2020. Disponível em: <https://www.military.com/dailynews/2020/08/05/soldiers-shoot-lasers-stryker-vehicles-upcoming-test.html>. Acesso em: 04 ago. 2021.

DAILY SABAH (Turquia) (org.). **Turkey's Roketsan unveils directed-energy weapon Alka against drones**. Disponível em: <https://www.dailysabah.com/defense/2019/05/08/turkeys-roketsan-unveils-directed-energy-weapon-alka-against-drones>. Acesso em: 04 ago. 2021.

DEFESANET (Brasília). **USS Portland Fires Laser Weapon, Downs Drone in First At-Sea Test**. 2020. Disponível em: <https://www.defesanet.com.br/en/technology/noticia/36888/USS-Portland-Fires-Laser-Weapon--Downs-Drone-in-First-At-Sea-Test/>. Acesso em: 04 ago. 2021.

DEVECI, Bayram Mert. **Directed-Energy Weapons: Invisible And Invincible?** 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Science In Electronic Warfare Systems Engineering, Information Sciences, Naval Postgraduate School, Monterey, California, Eua, 2007.

D'URSO, Stefano. **Lockheed Martin Shows New Airborne Defensive Laser System for F-16 and C-130**. 2020. Disponível em: <https://theaviationist.com/2020/08/19/lockheed-martin-shows-new-airborne-defensive-laser-system-for-f-16-and-c-130/>. Acesso em: 04 ago. 2021.

ESHEL, Tamir. **Israel Tested an Airborne High Power Laser Weapon System**. 2021. Disponível em: [https://defense-update.com/20210621\\_hpl-ws.html](https://defense-update.com/20210621_hpl-ws.html). Acesso em: 04 ago. 2021.

EXPÉRIMENTATION du système laser HELMA-P pour la lutte anti-drone. 2021. (5 min.), P&B. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ND4DvkoNEVU&t=259s>. Acesso em: 04 ago. 2019.

GUNZINGER, M. & DOUGHERTY, C. **Changing the Game: The promise of Directed Energy Weapons**. Center for Strategic and Budgetary Assessments. Washington DC. 2012

HECHT, Jeff. **Short history of laser development**. Optical Engineering. [S.l.], p. 99-122. set. 2010. Disponível em: <https://www.spiedigitallibrary.org/journals/optical-engineering/volume-49/issue-09/091002/Short-history-of-laser-development/10.1117/1.3483597.full?tab=ArticleLinkCited>. Acesso em: 08 ago. 2021.

HITCHENS, Theresa. **THOR: Air Force Tests Counter-Drone Microwave In Africa**. 2020. Disponível em: <https://breakingdefense.com/2020/12/thor-air-force-tests-counter-drone-microwave-in-africa/>. Acesso em: 04 ago. 2021.

JONES-BONBREST, Nancy. **Scaling up Army advances 300kw Class Laser Prototype**. 2020. Disponível em: [https://www.army.mil/article/233346/scaling\\_up\\_army\\_advances\\_300kw\\_class\\_laser\\_prototype](https://www.army.mil/article/233346/scaling_up_army_advances_300kw_class_laser_prototype). Acesso em: 04 ago. 2021.

LEMOS, Leandro de Souza. **Estudo de Viabilidade de Emprego de Armas de Energia Dirigida Contra SARP**. 2020. 20 f. Especialização em Operações Militares, Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea, Rio de Janeiro, 2020.

LEONARD, Steven G.. **Laser Options for National Missile Defense**. 1998. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de [S.I.], Air University, Air Command And Staff College, Alabama, 1998.

LOCKHEED MARTIN. **More Than a Laser, HELIOS is an Integrated Weapon System**. 2021. Disponível em: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2021/more-than-a-laser-helios-is-an-integrated-weapon-system.html>. Acesso em: 04 ago. 2021.

MAGNUSON, Stew. **Navy to Fully Integrate Laser into Aegis Combat System (Updated)**. 2021. Disponível em: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2021/2/15/navy-to-fully-integrate-laser-into-aegis-combat-system>. Acesso em: 04 ago. 2021.

MANARANCHE, Martin. **French Navy To Test New Laser Weapon System At Sea**. 2021. Disponível em: <https://www.navalnews.com/naval-news/2021/07/french-navy-to-test-new-laser-weapon-system-at-sea>. Acesso em: 04 ago. 2021.

MCAULAY, A. D., 2011. Military Laser Technology for Defense: Technology for Revolutionizing 21st Century Warfare. Online ed. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.

MCARTHUR, et al., 2013. **Viable Short-Term Directed Energy Weapon Naval**

**Solutions: A systems analysis of current prototypes**, Monterey, California: Naval Postgraduate School.

MIZOKAMI, Kyle. **The U.S. Army Plans To Field the Most Powerful Laser Weapon Yet**. 2019. Disponível em: <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a28636854/powerful-laser-weapon/>. Acesso em: 04 ago. 2021.

MOWTHORPE, Matthew., 2002. The Revolution in Military Affairs and Directed Energy Weapons. Disponível em: <https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Chronicles/mowthorpe02.pdf> Acesso em: 04 ago. 2021.

PECK, Michael. **Did A Turkish Combat Laser Shoot Down A Chinese Drone?** 2019. Disponível em: <https://nationalinterest.org/blog/buzz/did-turkish-combat-laser-shoot-down-chinese-drone-77286>. Acesso em: 04 ago. 2021.

PRIBERAM. **Laser**. Disponível em: <https://dicionario.priberam.org/laser>. Acesso em: 04 ago. 2021.

RANHOLA, Cten M Brazuna. **Armas de Energia Dirigida**. 2014. 70 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Estado-Maior Conjunto, Instituto de Estudos Superiores Militares, Pedrouços, Portugal, 2014.

AYTHEON MISSILES & DEFENSE. **Phaser High-Power Microwave System**. Disponível em: <https://www.raytheonmissilesanddefense.com/capabilities/products/phaser-high-power-microwave>. Acesso em: 04 ago. 2021.

ROKETSAN A.S. Turkish Armed Forces Foundation (org.). **ALKA DIRECTED ENERGY WEAPON SYSTEM**. Disponível em: <https://www.roketsan.com.tr/en/product/alka-directed-energy-weapon-system/>. Acesso em: 04 ago. 2021.

STROUT, Nathan. **Air Force to begin assembly of airborne laser**. 2021. Disponível em: <https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/2021/02/23/air-force-to-begin-assembly-of-airborne-laser/>. Acesso em: 04 ago. 2021.

TACTICAL Airborne Laser Weapon System (TALWS). [S.l.]: Lockheed Martin, 2021. (3 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rLav0zMHut8&t=1s>. Acesso em: 04 ago. 2021.

TEMPLETON, Graham. **A deeper look into lasers, particle beams, and the future of war**. 2013. Disponível em: <https://www.extremetech.com/extreme/153585-a-deeper-look-into-lasers-particle-beams-and-the-future-of-war/2>. Acesso em: 04 ago. 2021.

US DoD, 2013a. **Dictionary of Military and Associated Terms (Joint Publication 1-02)**. Washigton DC: US Department of Defense. US DoD, 2013b. DoD Non-Lethal Weapons Program 2013. Disponível em: [http://jnlwp.defense.gov/Portals/50/Documents/Press\\_Room/Annual\\_Reviews\\_Reports/2013/DoD\\_NonLethal\\_Weapons\\_Program\\_Annual\\_Review\\_11.19.2012\\_HTML\\_format\\_v1.pdf](http://jnlwp.defense.gov/Portals/50/Documents/Press_Room/Annual_Reviews_Reports/2013/DoD_NonLethal_Weapons_Program_Annual_Review_11.19.2012_HTML_format_v1.pdf) Acesso em: 04 ago. 2021.



MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO  
DEP - DET MIL  
**ESCOLA DE ARTILHARIA DE COSTA E ANTIAÉREA**

*TERMO DE CESSÃO DE DIREITO SOBRE ARTIGO CIENTÍFICO*

<b>TÍTULO DO TRABALHO</b>
O EMPREGO DAS ARMAS DE ENERGIA DIRIGIDA NA ATUALIDADE

<b>IDENTIFICAÇÃO DO AUTOR</b>
MATHEUS LEMOS BAHIA
_____
CIENTE DO AUTOR

1. Este trabalho, nos termos da legislação que resguarda os direitos autorais, é considerado de minha propriedade.
2. Conforme o contido nas IPG 05/2007, autorizo a EsACosAAe a utilizar meu trabalho para uso específico no aperfeiçoamento e evolução das Forças Armadas, bem como a divulgá-lo por meio de revistas, informativos ou outros veículos de comunicação.
3. A EsACosAAe poderá fornecer cópia do trabalho de acordo com as normas da escola.
4. É permitida a transcrição parcial de trechos do trabalho para comentários e citações desde que sejam transcritos os dados bibliográficos dos mesmos, de acordo com a legislação sobre direitos autorais.
5. A divulgação do trabalho, por qualquer meio, somente pode ser feita com a autorização do autor e da Direção de Ensino da EsACosAAe.