

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

**CURSO DE ARTILHARIA ANTIAÉREA PARA OFICIAIS**

---

**ARTIGO CIENTÍFICO - 2021**



**O DESENVOLVIMENTO DA ARTILHARIA ANTIAÉREA FRENTE AOS  
ARMAMENTOS AR-SOLO DE ALTA PRECISÃO**

**Rio de Janeiro  
2021**

1º Ten Art **BRUNO MATIAS CRISTINO QUEIROZ**

**O DESENVOLVIMENTO DA ARTILHARIA ANTIAÉREA FRENTE AOS  
ARMAMENTOS AR-SOLO DE ALTA PRECISÃO**

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 Art PEDRO PAULO GAMBARRA JÚNIOR

**Rio de Janeiro**

**2021**

1º Ten Art **BRUNO MATIAS CRISTINO QUEIROZ**

**O DESENVOLVIMENTO DA ARTILHARIA ANTIAÉREA FRENTE AOS  
ARMAMENTOS AR-SOLO DE ALTA PRECISÃO**

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:

---

DIEGO ROCHA MIRANDA – Cap Art - Presidente  
Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea

---

PEDRO PAULO GAMBARRA JÚNIOR – Cap Art - Membro  
Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea

---

GUILHERME BAGGIO – 1º Ten Art - Membro  
Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea

# **O DESENVOLVIMENTO DA ARTILHARIA ANTIAÉREA FRENTE AOS ARMAMENTOS AR-SOLO DE ALTA PRECISÃO**

1º Ten Bruno Matias Cristino Queiroz<sup>1</sup>

## **RESUMO**

O presente trabalho tem como objetivo levantar os principais aspectos relacionados aos desafios que a Artilharia Antiaérea encontra frente aos modernos armamentos ar-superfície (ASM) que compõem as ameaças aéreas de alta precisão, em especial os mísseis de cruzeiro, balísticos e antirradiação. A fim de facilitar a compreensão do estudo, serão abordados assuntos acerca dos mísseis ar-solo em emprego na atualidade, bem como as características desses materiais que mais afetam a AAAe. Assim, a obtenção desses conhecimentos sobre as ameaças aéreas que serão enfrentadas em uma incursão inimiga permitirá que a Artilharia Antiaérea se organize ao máximo para execução da defesa aeroespacial. Além disso, será abordado o desenvolvimento da AAAe diante das novas ameaças. Para alcançar os objetivos propostos, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com base em um processo indutivo, dividindo a pesquisa em três capítulos destinados à exposição dos objetos pesquisados sobre: os modernos mísseis ar-superfície; o desenvolvimento dos sistemas antiaéreos e os desafios que a AAAe enfrenta na atualidade, seguidos de uma conclusão sobre o tema.

**Palavras-chave:** Mísseis balísticos; Mísseis de cruzeiro; Mísseis Antirradiação; Ameaça aérea; Artilharia Antiaérea.

---

<sup>1</sup> Bacharel em Ciências Militares pela Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN), ano de 2018. Pós-graduado (*lato sensu*) em Ciências Militares com ênfase na especialização em Artilharia Antiaérea pela Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea (EsACosAAe), 2021.

## **ABSTRACT**

This paper aims to raise the main aspects related to the challenges that Air Defense Artillery faces against modern air-to-surface weapons (ASM) that make up high-precision air threats, especially cruise missiles, ballistic missiles and anti-radiation missiles. In order to facilitate the understanding of the study, issues will be addressed about air-to-ground missiles in use today, as well as the characteristics of these materials that most affect ADA. Thus, obtaining this knowledge about the air threats that will be faced in an enemy incursion will allow the Air Defense Artillery to organize as much as possible for the execution of aerospace defense. Furthermore, the development of ADA in the face of new threats will be addressed. To achieve the proposed objectives, a bibliographical research was carried out based on an inductive process, dividing the research into three chapters aimed at exposing the researched objects on: modern air-to-surface missiles; the development of anti-aircraft systems and the challenges that ADA is currently facing, followed by a conclusion on the subject.

**Keywords:** Ballistic Missiles; Cruise Missiles; Anti-Radiation Missiles; Air Threat; Air Defense Artillery.

## 1. INTRODUÇÃO

A busca pela superioridade aérea é uma condicionante de extrema importância para o emprego futuro das operações terrestres, sendo a Artilharia Antiaérea um dos grandes atores envolvidos nesta fase dos conflitos. Além disso, durante o decorrer da batalha, a AAAe tem um papel ímpar na defesa de pontos e áreas sensíveis. Dessa forma, cresce de importância a evolução da AAAe concomitante com a modernização das ameaças enfrentadas.

Dentro de uma retomada histórica, observa-se na 1ª Guerra Mundial (1914-1918) o palco para o início do uso do avião como instrumento bélico, momento no qual as ameaças deixaram de provir apenas do solo e o céu tornou-se mais um aspecto a ser considerado nos planejamentos, sendo a Artilharia Antiaérea o meio constituído para contrapor esse novo agente presente no combate. Assim sendo, a evolução tecnológica elevou os padrões dos conflitos mundiais, com a defesa aeroespacial tornando-se uma das primeiras preocupações da batalha.

Por conseguinte, o crescente aprimoramento das ameaças aéreas compeliu a Artilharia Antiaérea evoluir seus armamentos a fim realizar a defesa aérea de maneira eficaz, de modo que os objetivos vitais em superfície possam ser preservados.

As modernas ameaças, no contexto dos conflitos assimétricos e não lineares (conflitos de 4ª geração), alcançam níveis cada vez mais elevados de tecnologia, sobrepujando suas capacidades e potencialidades, gerando, assim, obstáculos a serem ultrapassados pelas defesas antiaéreas.

Dessa forma, constitui-se como fator essencial obter conhecimento sobre as possibilidades e limitações dos armamentos de emprego das ameaças aéreas, bem como analisar as inovações tecnológicas da Artilharia Antiaérea quanto às capacidades e potencialidades desse sistema de defesa.

O desenvolvimento de habilidades para fazer frente a tais vetores bélicos tem sido uma das prioridades estabelecidas pelos principais exércitos no mundo, em decorrência do grande estrago que esses armamentos altamente precisos podem causar.

Assim sendo, analisar informações acerca do desenvolvimento tecnológico bélico, seja na área da defesa antiaérea, seja no campo dos armamentos ar-solo, consiste em um fator importante para discutir sobre o assunto.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 METODOLOGIA

O tema central do presente trabalho refere-se ao estudo da evolução da Artilharia Antiaérea frente aos modernos armamentos ar-solo empregados no mundo, sobre os sistemas de defesa antiaérea de ponta, bem como, tratar dos principais obstáculos e limitações da AAAe na modernidade.

Em relação à natureza, o presente trabalho define-se como uma pesquisa do tipo aplicada, possui o objetivo de produzir conhecimentos com propósito de auxiliar estudos futuros sobre sistemas de DA Ae, ameaças aéreas e os desafios da AAAe no que tange ao combate moderno contra os precisos armamentos ar-solo. Para isso, emprega-se o método indutivo, por apoiar-se nas observações de casos e buscar a generalização dos dados.

Trata-se de estudo bibliográfico, visto que tem como método a leitura seletiva do material examinado, assim como sua revisão para a realização da análise dos dados levantados e a posterior síntese, com o intuito de formar uma nova literatura atualizada e relevante sobre o tema.

Para tanto, as principais fontes de pesquisa utilizadas no presente trabalho foram, em sua maioria, documentos digitais disponíveis na internet, sendo de domínio público. Foram priorizados artigos e publicações militares, livros específicos sobre os diversos conflitos (também disponíveis em fontes livres na rede), manuais militares nacionais e mídia aberta em geral.

### 2.1 A MODERNA AMEAÇA AÉREA – MÍSSEIS AR-SUPERFÍCIE

A ameaça aérea é definida como todo vetor aeroespacial que tem o propósito de destruir ou neutralizar objetivos terrestres, marítimos (submarinos) e outros vetores aeroespaciais. A moderna ameaça aérea não se restringe somente aos diversos tipos de aeronaves, mas, também, abrange sistemas de mísseis e satélites para variados fins (BRASIL, 2015).

A ampliação das possibilidades e capacidades das ameaças aéreas é contínua e ocorre em

ritmo acelerado, sendo possível constatar novas atualizações de sistemas, armamentos e equipamentos bélicos frequentemente.

Todavia, é interessante refletir que as novas perspectivas da defesa aeroespacial não surgem para findar com conceitos e doutrinas anteriores, estas vieram para complementar conhecimentos e aplicações frente aos inéditos obstáculos a serem enfrentados.

Segundo o General Gabriel Augusto do Espírito Santo, do Exército Português, a detecção em tempo da ameaça e sua neutralização seguem como a essência da resposta diante da problemática apresentada:

Detectar novas ameaças no espaço aéreo impõe que se ultrapasse a tecnologia do radar, sem a abandonar, tentando descobrir novas tecnologias para sensores, redundantes nas suas capacidades, com coberturas alargadas de espaços, visando o espaço aéreo nas faixas mais baixas da atmosfera e incidindo especialmente sobre áreas e pontos sensíveis (SANTO, 2005).

Assim sendo, a constante evolução na indústria bélica proporciona a ampliação das capacidades e possibilidades de emprego das ameaças aéreas nos seus variados modos de atuação.

Dentro do rol de ameaças aéreas em exercício estão os mísseis lançados de plataformas aéreas. São materiais com modernos sistemas de guiamento, grandes alcances e elevado teto de emprego. Tais mísseis possuem diversas denominações que podem ser utilizadas para aprofundar as pesquisas, dentro do cenário mundial, como “*Air-to-Surface Missile (ASM)*”, “*Air-to-Ground Missile (AGM)*”, “*Air-Launched Ballistic Missile (ALBM)*” e “*Air-Launched Cruise Missile*”.

Define-se o míssil como engenho autopropulsado e não tripulado que possui a capacidade de ter sua trajetória alterada após ser lançado, devido ao sistema de guiamento, e possui como missão transportar carga a fim de causar danos a determinado alvo (BRASIL, 2015). Os mísseis ar-superfície são artefatos lançados a partir de uma plataforma aérea, como aeronaves e SARP, projetados para atingir alvos em terra.

O manual EB60-ME-23.403 classifica os mísseis quanto à sua faixa de emprego e quanto à velocidade, que são divididas em:

**Tabela 1** – Classificação quanto à faixa de emprego

<b>Faixa de Emprego</b>	<b>Distância</b>
Baixa altura	até 3.000m
Média altura	de 3.000m a 15.000m
Grande altura	acima de 15.000m

Fonte: BRASIL, 2015

**Tabela 2 – Classificação quanto à velocidade**

<b>Classificação</b>	<b>Velocidade</b>
Subsônico	velocidade inferior a 1 mach
Sônico	velocidade de 1 mach
Supersônico	superior a 1 mach
Hipersônico	superior a 5 mach

Fonte: BRASIL, 2015

Tais classificações servem para auxiliar no entendimento sobre as capacidades, características e possibilidades do material. Contudo, é comum que existam variados parâmetros para distinguir os tipos de mísseis, tanto na faixa de emprego, quanto na propulsão, bem como o sistema de guiamento, tudo para facilitar a análise desses artefatos.

Atualmente, existe uma vasta gama de mísseis em operação no mundo, sua maioria não se restringe a um objetivo específico, podendo ser empregados contra alvo em superfície, no mar e no espaço aéreo. Dentre diversos os enquadramentos possíveis, o estudo será acerca dos mísseis de cruzeiro, mísseis balísticos e mísseis antirradiação.

### 2.2.1 MÍSSEIS DE CRUZEIRO

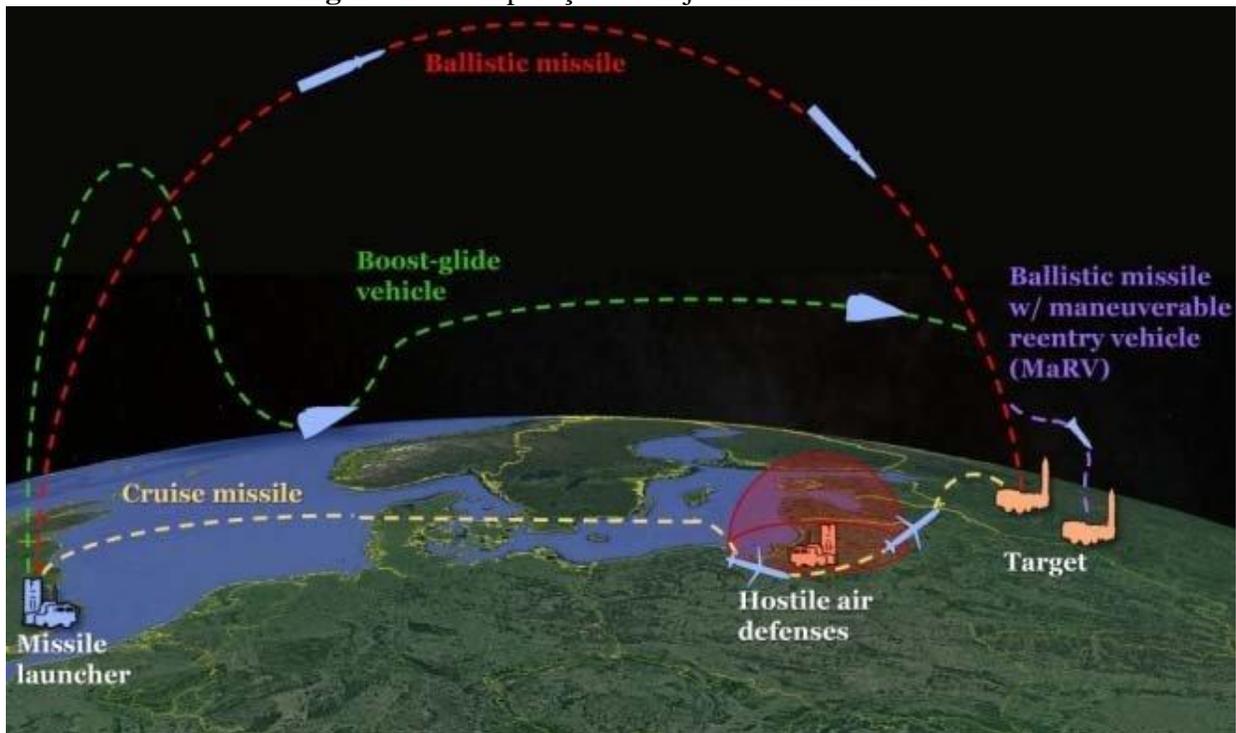
Os mísseis de cruzeiro são engenhos guiados que se deslocam em trajetória horizontal, com uma velocidade constante e sua propulsão é, na maior parte do percurso, a jato. Esse míssil possui um perfil de voo, em geral, muito baixo, com a capacidade de manter-se a 5 metros do solo, fator importante, pois dificulta sobremaneira sua detecção e, em consequência, diminui-se a chance de ser abatido. (BRASIL, 2015)

Os mísseis de cruzeiro são armamentos com alto poder de dissuasão devido ao seu elevado alcance, poder de fogo e possibilidade de lançamento a partir de diversas plataformas – aérea, naval, terrestre e submarina:

A finalidade principal deste tipo de míssil é transportar ogivas-convencionais ou de destruição em massa -por grandes distâncias de forma a atingir determinado alvo com grande precisão. O alcance dos mísseis de cruzeiro pode variar de aproximadamente 300 km a até 1000 Km. Além desse fator, os mísseis podem ser transportados em diferentes plataformas - terrestres, navais, submarinas ou aéreas - fazendo deles um excepcional meio dissuasório e uma das principais ameaças aéreas da atualidade, sendo seu desenvolvimento controlado e desencorajado para países que ainda não o possuem (BRASIL, 2015)

Esses engenhos podem alcançar velocidades supersônicas e, em alguns casos, hipersônicas, de modo a apresentarem grande dificuldade aos sistemas antiaéreos contra mísseis. Além disso, seus modernos sistemas de guiamento permitem uma navegação mais complexa em relação aos mísseis balísticos.

**Figura 1** – Comparação da trajetória entre mísseis



Fonte: Breaking Defense, 2020

Dentro da relação de mísseis de cruzeiro lançados de plataforma aérea, o Míssil de Cruzeiro Supersônico BrahMos (Índia e Rússia) destaca-se por ser o primeiro míssil de cruzeiro supersônico em operação que pode ser lançado por variadas plataformas contra alvos terrestres e navais.

O projeto foi desenvolvido pela *joint venture* BrahMos Aerospace, união entre a *Defense Research and Development Organisation* (DRDO), da Índia, e NPO *Mashinostroeyenia* (NPOM), da Rússia.

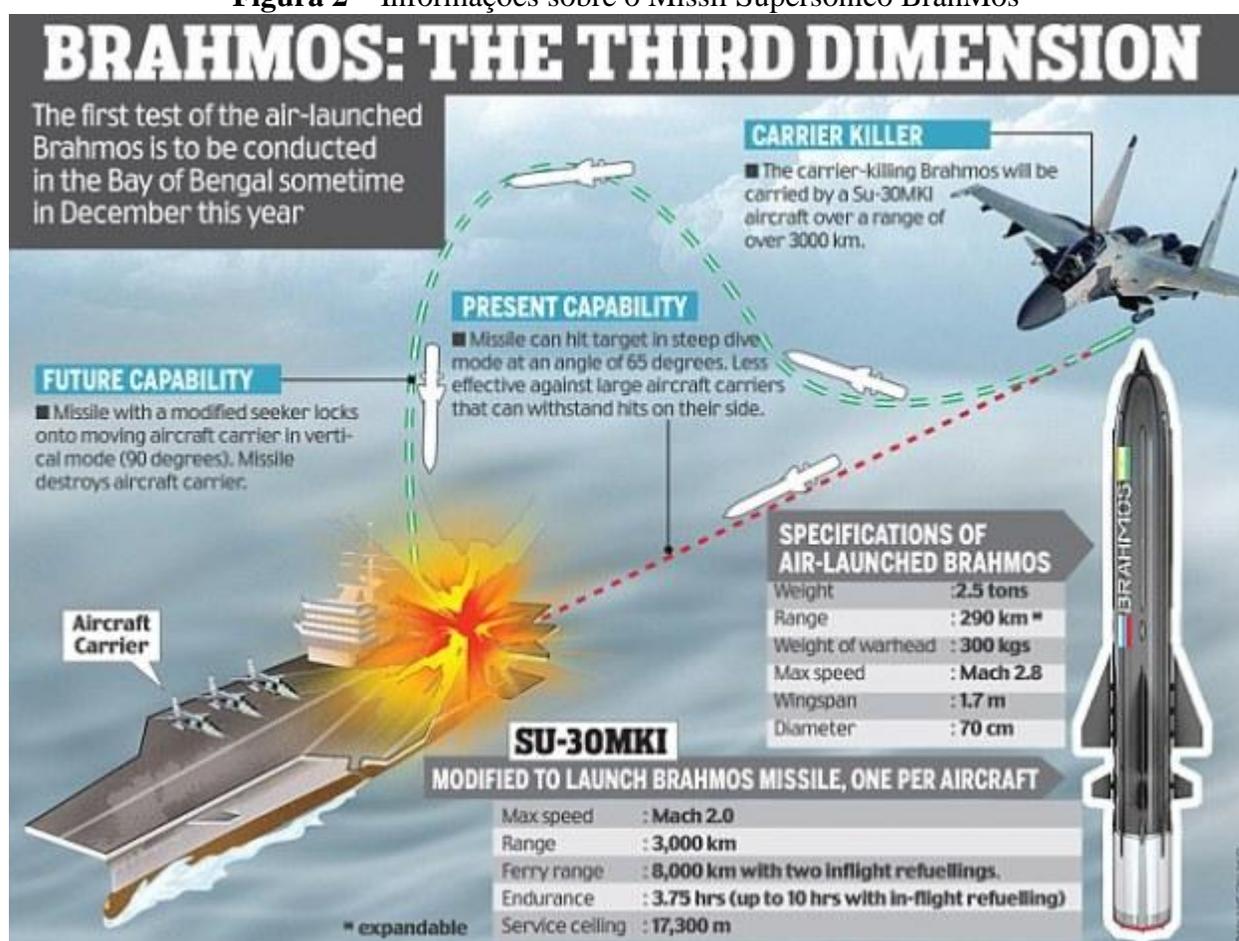
O BrahMos é um míssil de propulsão híbrida, que ocorre em duas fases. A primeira fase é realizada por propelente sólido, responsável pela velocidade supersônica, após isso, separa-se do míssil. A segunda fase é durante a trajetória de cruzeiro, na qual a velocidade do armamento chega próximo de Mach 3.

O sistema de orientação e a tecnologia integrada fornecem diversos recursos ao míssil,

como, por exemplo, grande furtividade. Além disso, a versão inicial míssil possui uma autonomia de 290 km, mantendo a velocidade supersônica durante todo o voo. A altitude de cruzeiro pode variar desde 15 km até uma altitude mínima de 10 m, carregando uma ogiva com peso entre 200 kg e 300 kg.

A empresa Brahmos Aerospace realizou uma comparação entre mísseis supersônicos e chegou à conclusão de que seu míssil possui velocidade três vezes maior, alcance de voo de duas vezes e meio a três vezes maior, alcance de detecção de três a quatro vezes maior e uma energia cinética nove vezes maior, o que aumenta seu poder destrutivo consideravelmente.

**Figura 2** – Informações sobre o Míssil Supersônico BrahMos



Fonte: Thai Military and Asian Region Wordpress, 2016

Segundo o Ministério da Defesa da Índia (2019), por meio de seu órgão de imprensa (*Press Information Bureau – PIB*), em 2017 e 2019 foram realizados testes bem-sucedidos de lançamento do míssil BrahMos, a partir do caça Su-30 MKI. Com isso, a capacidade combativa da Força Aérea Indiana (IAF) aumenta significativamente, possibilitando ataque a grandes distâncias (*stand-off*), com alta precisão, durante dia e noite e em qualquer condição climática,

fornecendo, assim, alcance com objetivos estratégicos.

### 2.2.2 MÍSSEIS BALÍSTICOS

Outro tipo de míssil que traz preocupação às defesas aeroespaciais é o Míssil Balístico. Este tipo de míssil apresenta-se como uma das principais ameaças na atualidade, tendo em vista a grande distância que pode alcançar, a dificuldade que oferece às DA Ae de engajá-lo, bem como a capacidade de transportar ogivas com poder de destruição em massa. (BRASIL,2015)

O míssil balístico, em geral, utiliza-se da mesma tecnologia que coloca os satélites em órbita, de maneira que possibilita o engenho transportar carga a enormes distâncias, com objetivos bélicos. A trajetória do míssil balístico inicia-se, em primeira fase, com a propulsão para fora da atmosfera, com uma curvatura suborbital, momento em que os mecanismos de propulsão inicial são descartados. Após isso, o míssil segue em trajetória balística até o alvo.

A variação entre os mísseis balísticos reside, principalmente, na classificação quanto ao seu alcance, exposta na tabela abaixo:

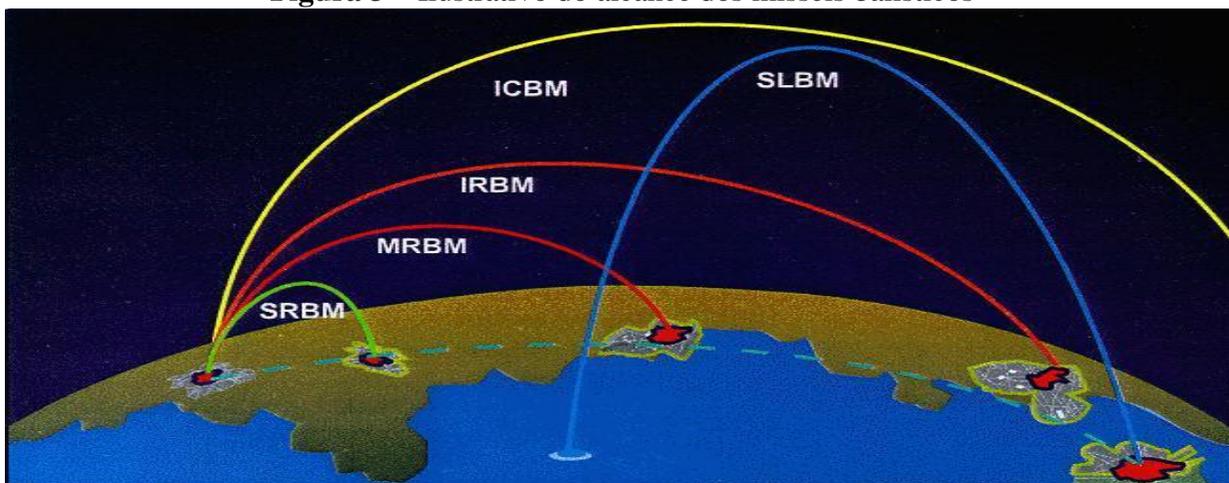
**Tabela 3** – Classificação dos mísseis balísticos quanto ao alcance

<b>Designação</b>	<b>Alcance</b>
Míssil balístico de curto alcance (SRBM)	Inferior a 1000 Km
Míssil balístico de médio alcance (MRBM)	Entre 1000 e 3000 Km
Míssil balístico de alcance intermediário (IRBM)	Entre 3000 e 5500 Km
Míssil balístico intercontinental(ICBM)	Superior a 5500 Km
Míssil balístico lançado de submarino (SLBM)	Qualquer míssil balístico lançado de submarino, independente de alcance

Fonte: BRASIL, 2015

Mísseis balísticos configuram uma ameaça extremamente poderosa devido às suas capacidades de velocidade supersônica, baixo RCS e altitudes orbitais que, ao serem combinadas, dificultam a detecção por parte dos sensores de monitoramento, fornecendo ao armamento maior eficácia. Além do poder dissuasório causado pelas características acima, tais artefatos impõem poder e auxiliam na negação do uso do espaço aéreo por parte dos vetores aéreos inimigos que pretendem sobrevoar a região.

**Figura 3** – Ilustrativo do alcance dos mísseis balísticos



Fonte: BRASIL, 2015

Os mais temíveis mísseis balísticos são lançados a partir de plataformas terrestres ou navais, devido ao tamanho e carga de transporte. Entretanto, existem mísseis balísticos lançados de aeronaves (*Air-Launched Ballistic Missile* – ALMB), a exemplo do míssil hipersônico russo Kinjal (ou Kinzhal).

O KH-47M2 Kinzhal é um míssil com capacidade nuclear, que pode ser lançado das aeronaves: caça Mig-31K (1 un.), bombardeiro Tu-22M3 (4 un.) e caça Su-57 (em processo de adaptação) (SOUTHFRONT, 2021). O armamento está operacional desde 2017, mas foi amplamente divulgado no primeiro trimestre de 2018, quando o presidente russo Vladimir Putin anunciou o Kinzhal como uma arma “invulnerável” às defesas antiaéreas (BBC, 2018), em um discurso para a Assembleia Federal Russa, oportunidade na qual apresentou, além do Kinzhal, outros cinco armamentos nucleares.

A revelação de Putin causou grande preocupação no cenário internacional, principalmente pelas potencialidades do Kinzhal. Por ser um míssil balístico com alto poder de destruição disparado por aeronave, gera incerteza da direção que virá o míssil, pela grande manobrabilidade da plataforma em conjunto com o alcance de 2.000 km do míssil.

Segundo a *Russian News Agency* (TASS, 2018), estatal russa, o alcance do míssil poderá ser estendido para 3.000 km quando equipado no bombardeiro Tupolev Tu 22M3, em relação aos 2.000 km se embarcado no Mig-37K, aumentando o raio de ação da Força Aérea Russa. Considera-se o raio de ação a distância máxima que a aeronave percorre para voar até o alvo, cumprir sua missão e retornar para sua base.

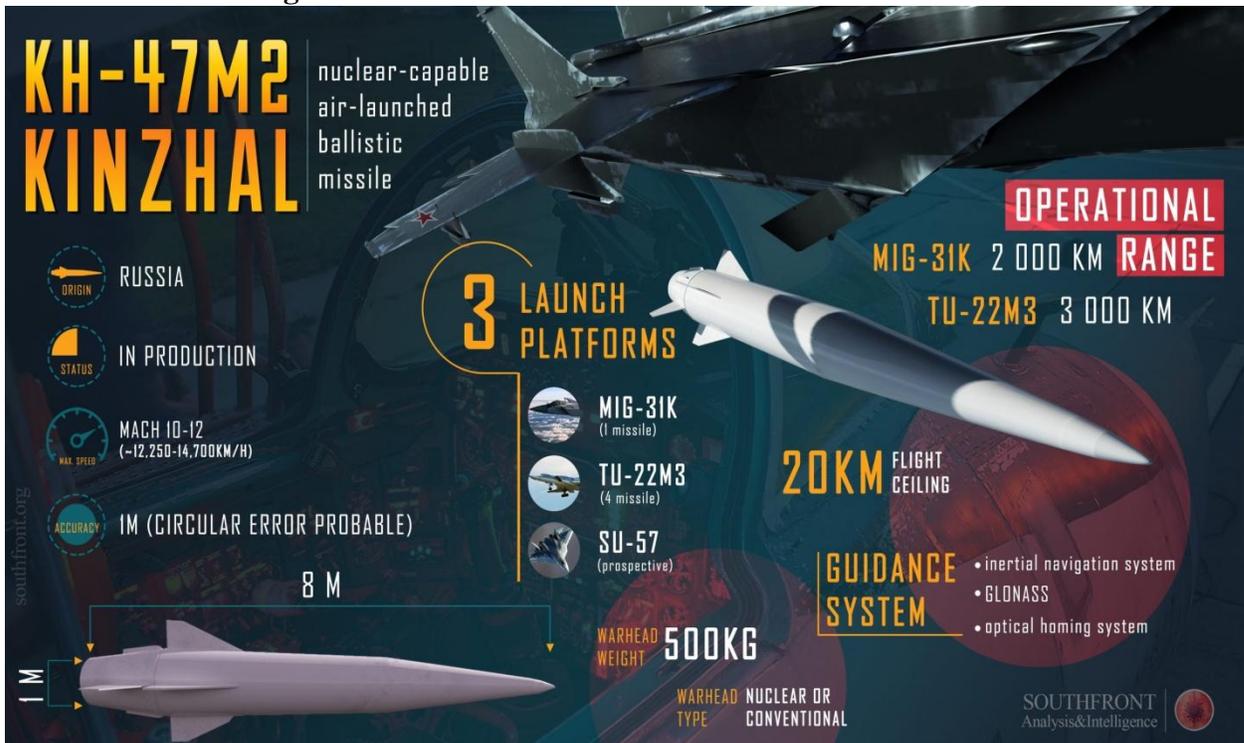
**Figura 4 - KH-47M2 Kinzhal instalado no MiG-31K**



Fonte: AEROMAGAZINE, 2021

Ainda, o Kinzhal pode transportar carga nuclear ou convencional de 480 kg, pode atingir uma velocidade de Mach 10 a Mach 12 (aproximadamente 12.250 a 14.700 km/h) e possui um sistema de guiamento inercial com base no GLONASS (Sistema de Navegação Global via Satélite da Rússia).

**Figura 5 – Informativo sobre o míssil KH-47M2 Kinzhal**



Fonte: South Front, 2020

### 2.2.3 MÍSSEIS ANTIRRADIAÇÃO

Atualmente, os Mísseis Antirradiação (*Anti-Radiation Missile – ARM*) são as maiores ameaças aéreas quando se trata de poder dissuasório, principalmente em missões de supressão de defesa aérea inimiga – SEAD. Normalmente, as aeronaves *Wild Weasels* são responsáveis por carregar esses mísseis, como o americano F-16CJ Block 50.

As missões de SEAD afetam diretamente os sistemas de DA Ae, de maneira a desestabilizar essas defesas. Segundo o EB 60 – MT – 23.454 Guerra Eletrônica de Não-Comunicações, as missões de Supressão de DA Ae são definidas da seguinte maneira:

Supressão de Defesa Aérea é a missão Aérea destinada a destruir, neutralizar ou degradar a capacidade de defesa aérea e de C<sup>2</sup> (Cmnd e Ct) inimigo, em determinada área e por um período de tempo, usando energia eletromagnética ou armamento que empregue a emissão intencional do alvo para o seu guiamento (utilização de mísseis antirradiação). [...] A Missão de Supressão de Defesa, de caráter essencialmente ofensivo, caracteriza-se pela utilização de métodos destrutivos, ou seja, aqueles que se valem do uso do espectro eletromagnético com a finalidade de causar dano físico ao oponente (BRASIL, 2015)

Desde meados do século 20, mísseis antirradiação têm sido usados contra radares, por meio da detecção de radiação eletromagnética. Em decorrência disso, os sistemas dos radares são atualizados e modificados face a modernização dos armamentos antirradar. O “progresso técnico desses dispositivos é uma competição sem fim” (CZESZEJKO, 2013).

Por conseguinte, essas armas vêm sendo utilizadas em diversos conflitos: Guerra do Vietnã (1965), guerra Árabe-Israelense de Yom Kippur (1973), guerra Irã-Iraque (1980), 1ª Guerra do Golfo (1990), 2ª Guerra do Golfo (2003) e, o conflito mais recente com emprego de ARM, a Guerra Russo-Georgiana (2008) (CZESZEJKO, 2013).

O resultado da neutralização dos radares durante esses conflitos, e a consequente ineficiência da defesa antiaérea, evidenciou a importância de afetar a DA Ae inimiga para um prosseguimento no combate, facilitando operações futuras da Força Aérea e Terrestre.

O ARM funciona com base na detecção de emissões eletromagnéticas de um radar e o lançamento de carga útil nas proximidades do alvo. Os mísseis mais modernos são integrados com um sistema de navegação inercial, de modo que seguirá em direção ao radar mesmo que o este cesse a emissão de radiação. Foi desenvolvida, também, uma tecnologia denominada *Air Launched Anti-Radiation Missile – ALARM*, na qual existe um guiamento pré-programado até uma região designada e, através de um paraquedas acoplado, com a finalidade de retardar a

trajetória, ocorre a identificação de um alvo emissor de radiação (BRASIL, 2015)

**Figura 6 – Divisão do míssil ALARM**



Fonte: Savi's Shamim, 2013

O site indiano *The Week* (2019) elencou os três melhores ARM a nível mundial, selecionando o AGM-88E AARGM dos EUA, o KH-31P da Rússia e o MAR-1 do Brasil. O Míssil Antirradiação 1, projeto do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial com a empresa Mectron, chegou à fase de ensaio em voo com a aeronave A-1 AMX, contudo, durante o LAAD 2019 foi noticiada a suspensão do programa (PODER AÉREO, 2019). Será abordado mais a fundo o míssil AGM-88E AARGM, armamento que já sofreu diversas atualizações.

O AGM-88 *Advanced Anti-Radiation Guide Missile* (AARGM) é uma modernização na linha do AGM-88 *High Anti-Radiation Missile*, da empresa Orbital ATK (Alliant Techsystems) em operação desde 2012, sendo que em 2018 houve outra atualização para versão AARGM-ER. O míssil é utilizado pela Marinha e pelos Fuzileiros Navais dos EUA, além da Força Aérea Italiana.

O míssil é do tipo *fire and forget* e possui tecnologia de sistema de orientação multi modo, que possibilita o guiamento para o alvo após o desligamento do radar. Possui, ainda, um subsistema *Weapon Impact Assessment* (WIA) que levanta dados sobre o impacto no alvo antes mesmo do impacto, auxiliando na avaliação de danos (NAVAL TECHNOLOGY, 2018).

O AARGM pode ser equipado nas aeronaves FA-18, EA-18 Tornador ECR, F-35 e F-16, e alcança uma velocidade de Mach 2. Seu sistema de orientação é um complexo conjunto de componentes incluídos no engenho:

O AGM-88E é equipado com um sistema multissensor avançado que compreende um localizador de terminal de onda milimétrica (MMW), receptor avançado de *Anti-Radiation Homing* (ARH) e Sistema de Posicionamento Global / Sistema de Navegação Inercial (GPS / INS). O sistema pode engajar rapidamente alvos convencionais e avançados de defesa aérea inimiga, bem como alvos de ataque não sensíveis ao radar. O míssil recebe informações de inteligência tática por meio de um receptor integrado de sistema de transmissão (IBS-R). O IBS fornece informações de consciência situacional e confirmação de segunda fonte para os combatentes. O míssil transfere relatórios de avaliação do impacto da arma em tempo real. Ele oferece engajamento de alcance estendido, bem como capacidade de direcionamento orgânico do emissor na cabine e consciência situacional. (NAVAL TECHNOLOGY, 2018)

**Figura 7 - AGM-88E AARGM**



Fonte: The Drive, 2018

### 2.3 A MODERNIZAÇÃO DA ARTILHARIA ANTIAÉREA

A constante evolução dos materiais bélicos tem elevado a preocupação em montar uma defesa antiaérea capaz de cumprir os objetivos contra os armamentos e ameaças iminentes modernos. A corrida armamentista do século XXI tem gerado um clima internacional semelhante ao da Guerra Fria no século passado. Entretanto, a conjuntura atual apresenta características mais complexas, em que a multipolaridade global aumenta a tensão geopolítica.

Desde 2003, o Departamento de Defesa dos EUA (DoD) deu início ao projeto para adquirir armas de alta precisão e com capacidade de atingir alvos ao redor do mundo em “minutos ou horas” (ACTON, 2013), o programa foi denominado *Convencional Prompt Global Strike* – CPGS. Apesar de não ter definido um sistema, diversos armamentos vêm sendo atualizados e melhorados em busca do objetivo central desse projeto.

Além disso, como exposto no subitem anterior, no início de 2018 o presidente russo,

Vladimir Putin, anunciou seis novos armamentos nucleares com capacidades destrutivas elevadíssimas. A China, a Índia, Israel e países da OTAN são outras potências, no contexto da indústria bélica, que apresentam com frequência novos armamentos, com elevado poder destrutivo e avançada tecnologia.

Diante dessa conjuntura, surge a necessidade das defesas antiaéreas desenvolverem seus equipamentos e sistemas com maior eficiência possível. Assim, a missão da artilharia antiaérea consiste na realização da DA Ae de Zonas de Ação, áreas sensíveis, pontos sensíveis e tropas contra vetores aeroespaciais hostis, de maneira a impedir, neutralizar ou dificultar um ataque (BRASIL, 2017).

Assim como os mísseis, a Artilharia Antiaérea também é classificada em aspectos segundo a tabela abaixo:

**Tabela 4 – Classificação da AAAe**

Tipo	Tubo Míssil
Transporte	Portátil (MANPAD) Autorrebotado Autopropulsado
Teto de Emprego	Baixa Altura – até 3.000m Média Altura – de 3.000 até 15.000m Grande Altura – acima de 15.000m

Fonte: BRASIL, 2015

O manual de defesa antiaérea da FAB, MCA 355-1, apresenta, ainda, a classificação quanto ao alcance do Sistema Antiaéreo, parâmetro o qual é comumente utilizado a nível internacional.

**Tabela 5 – Classificação da AAAe quanto ao alcance**

<b>Curtíssimo Alcance</b> <i>Very Short Range Air Missile (VSHORAD)</i>	Até 3 NM
<b>Curto Alcance</b> <i>Short Range Air Defense (SHORAD)</i>	Entre 3 e 10 NM
<b>Médio Alcance</b> <i>Medium Range Air Defense (MRAD)</i>	Entre 10 e 50 NM
<b>Longo Alcance</b> <i>Long-Range Surface to Air Missile (LRSAM)</i>	Acima de 50 NM

Fonte: BRASIL, 2015

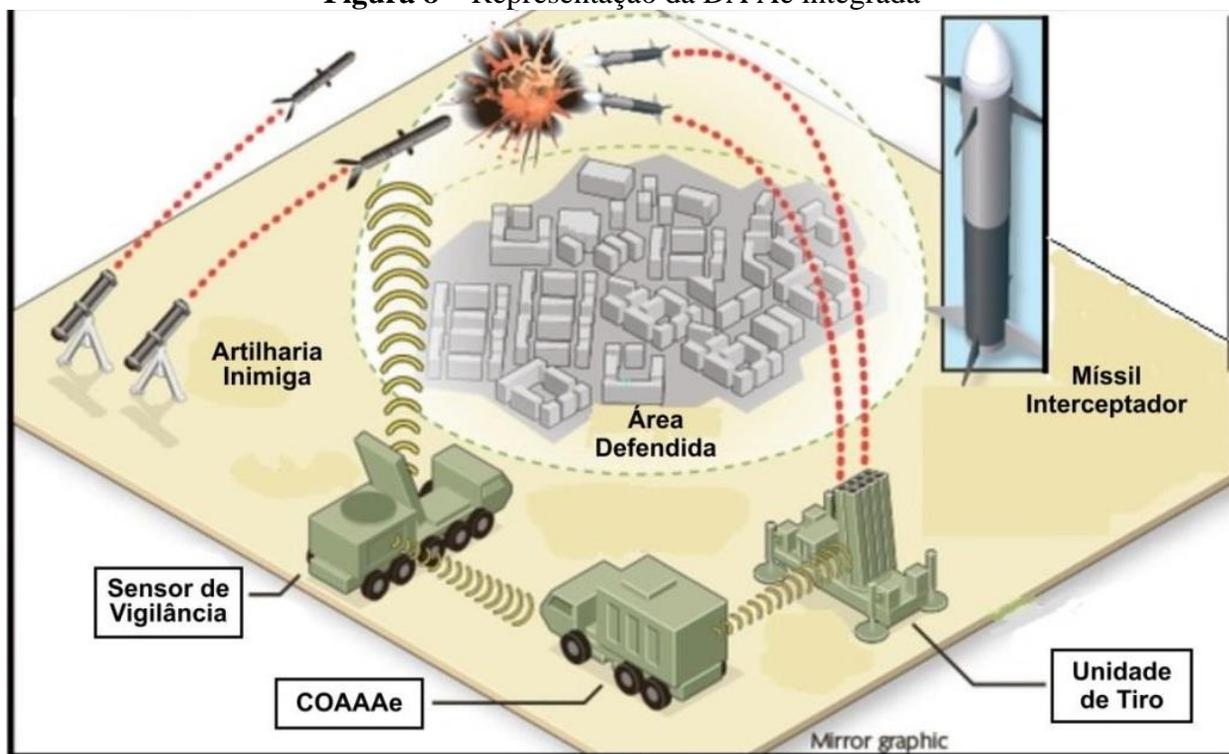
A estrutura do sistema de AAAe é composta por subsistemas que permitem o

cumprimento da missão, permitindo a coordenação entre a AAAe, a força apoiada e demais meios de D Aepc. A estrutura é formada pelos seguintes subsistemas: de Controle e Alerta, de Armas, de Apoio Logístico e de Comunicações (BRASIL, 2017). A integração dos subsistemas é essencial para o funcionamento do todo, existindo uma interdependência entre os componentes do sistema antiaéreo.

O subsistema de Controle e Alerta é responsável pela vigilância do espaço aéreo, de forma a receber e difundir o alerta no caso de aproximação de ameaças aéreas, assim como acionar, controlar e coordenar a AAAe. A composição do Controle e Alerta abrange o Centro de Operações Antiaéreas (COAAe), os sensores de vigilância e os Postos de Vigilância (P Vig) (BRASIL,2017).

O subsistema de Armas é destinado para a destruição dos vetores inimigos e são classificados semelhantemente à classificação da tabela 5. Um fator de grande importância a ser considerado nesse subsistema é o fundamento combinação de armas antiaéreas, tendo em vista que os armamentos possuem suas limitações, e a combinação entre elas visa reduzir as deficiências existentes.

**Figura 8** – Representação da DA Ae integrada



Fonte: BRASIL, 2015

Nesse ínterim, no estudo realizado, em 2019, pela *Georgetown University Studies Review*

(GSSR, 2017), da Universidade de Georgetown, constata-se a relevância do desenvolvimento dos sistemas de defesa antiaérea. O artigo aponta que, desde 1953, tropas dos EUA não são abatidas por aeronaves, em decorrência do grande poderio do país na defesa aeroespacial. Contudo, esses anos de “segurança aérea” geraram uma sensação de invulnerabilidade e uma crença na superioridade aérea, resultando em negligência das capacidades de defesa aérea de curto alcance (SHORAD).

Concomitantemente, diversos países mantiveram a evolução de sistemas ofensivos, como tratado no item 2.1, assim como suas defesas, a exemplo da Rússia, que desenvolveu o imponente sistema SAM S-400, em uso, também, pela China e Índia (GSSR, 2017). A China produziu o SHORAD HQ-7B e o MRAD HQ-6B (mísseis da família HQ), potencializando significativamente suas defesas.

Do exposto acima, conclui-se a relevância do avanço na área da DA Ae, considerando-se a complexa rede de subsistemas. A seguir, serão abordados modernos sistemas de defesa antiaérea e antimíssil.

### 2.3.1 Sistema S-400 Triumpf

**Figura 9** – Lançadores 5P85 do sistema AAe S-400



Fonte: TASS, 2019

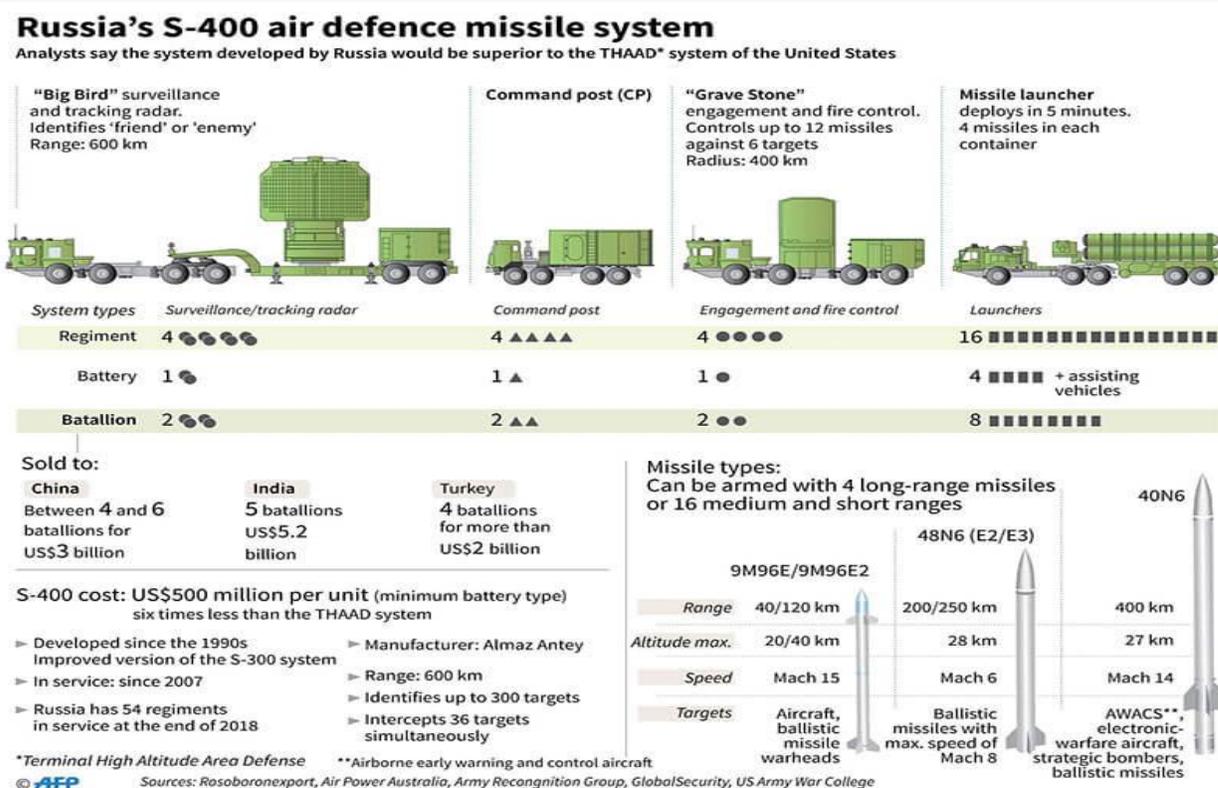
O sistema antiaéreo S-400, cuja denominação da OTAN é SA-21 Glowler, é um

impressionante sistema de mísseis Russo, fabricado pela Almaz Central Design Bureau e encontra-se em operação desde 2007 (MISSILE THREAT, 2021)

O sistema é composto por um subsistema de Comando e Controle, em uma viatura 55K6E, um Posto de Comando móvel, baseado no veículo URAL-532301. Utiliza o radar de vigilância 91N6E, com alcance de 300 km e com a capacidade de acompanhar 300 alvos simultaneamente, incluindo caças, helicópteros, mísseis de cruzeiro e balísticos e drones. Integram, ainda, radares 92N6E, para controle do tiro e orientação dos mísseis, através de suas estações em terra, até um alcance de 400 km (ARMY TECHNOLOGY, 2020).

O subsistema de armas é composto pelas lançadoras móveis quádruplas de míssil SAM 5P85, com ogiva de explosão direcional, com carga útil de até 180 kg. Além disso, possuem sistema de navegação por radar e por infravermelho, com a possibilidade de alterar o curso quando em comunicação com os radares 92N6E, em terra. As lançadoras são capazes de disparar quatro tipos de mísseis (HOJE NO MUNDO MILITAR, 2016)

**Figura 10 – Ilustrativo sobre capacidades do S-400**



Fonte: ATALAYAR, 2020

Segundo a assessoria do Ministério da Defesa da Rússia, encontra-se em andamento a produção e testes a modernização do sistema S-400, o S-500 Prometeu. A imprensa russa afirma

que não existem sistemas análogos ao S-500 atualmente, com um teto de emprego de 200 km e alcance de 500 km. Informam, ainda, que o sistema AAe tem capacidade de abater qualquer tipo de ameaça aeroespacial existente, inclusive mísseis balísticos intercontinentais – ICBM (TASS, 2021).

### 2.3.2 Sistema Terminal High Altitude Area Defense - THAAD

**Figura 11** – Disparo realizado pela lançadora THAAD



Fonte: US ARMY, 2016

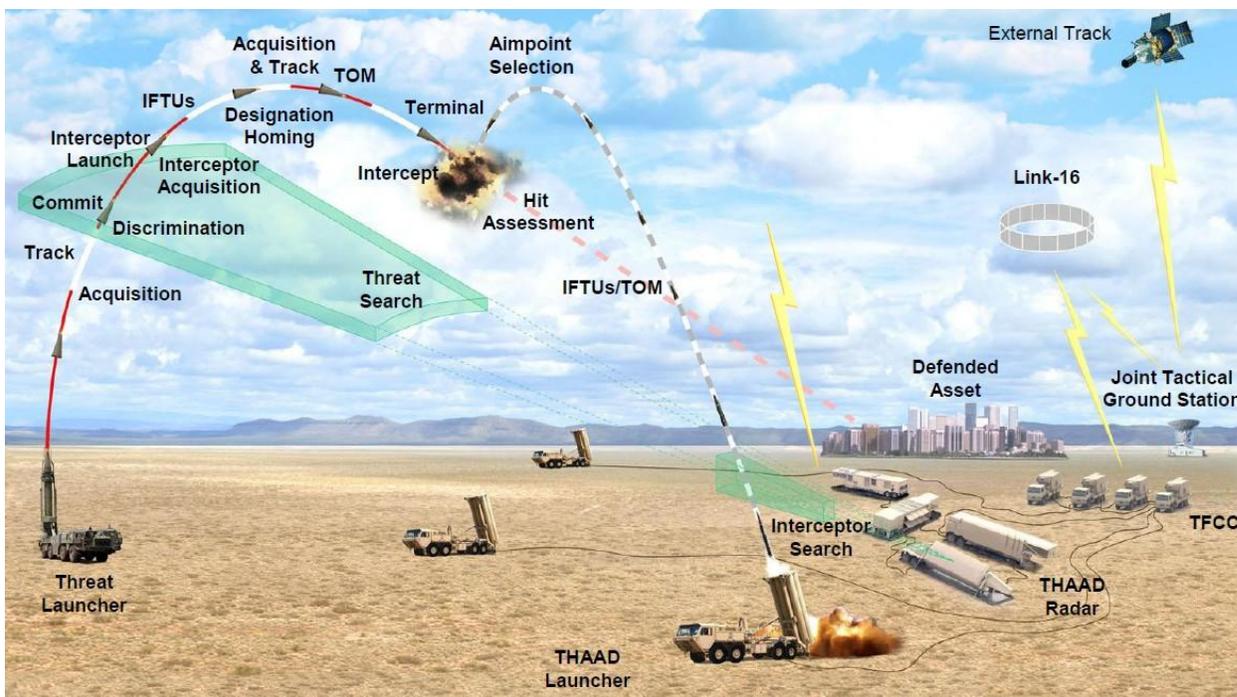
O THAAD é um sistema antiaéreo desenvolvido pela Lockheed Martin, empresa estadunidense, cuja finalidade é abater mísseis balísticos, tanto dentro, quanto fora da atmosfera. O armamento utiliza a tecnologia *hit to kill*, que destrói a ameaça por meio da elevada energia cinética alcançada. Além disso, a capacidade de abater armas de destruição em massa em grandes altitudes minimiza os efeitos da explosão (MISSILE DEFENSE AGENCY, 2021).

O sistema pode ser transportado para qualquer local do globo e rapidamente instalado, com condições de realizar a interceptação de mísseis. O transporte pode ser realizado via aérea, terrestre e marítima. A bateria do THAAD conta com três componentes (MISSILE THREAT, 2021):

- a) Lançador THAAD, instalado em viatura de grande mobilidade, com capacidade de

- carregar oito mísseis interceptadores. Cada bateria, em geral, é composta por seis lançadores. O tempo de recarga de cada lançador não passa de 30 minutos.
- b) Radar AN/TPY-2, Radar de Vigilância com capacidade de detecção até 3.000 km. O sensor opera em dois modos: modo avançado, que detecta o míssil na fase de ascensão; e o modo terminal, no qual ocorre o rastreamento e transmissão de dados para o engajamento. O radar conta com uma Unidade de Equipamento de Antena (AEU), com 9,2 m<sup>2</sup> e possui tecnologia *phased array*, e mais de 25.000 módulos. Além disso, a alta resolução operacional viabiliza a discriminação de alvos e *decoys*.
  - c) Sistema de Controle de Tiro e Comunicações (THAAD *Fire Control and Communications – TFCC*), responsável por supervisionar a operação das baterias, bem como transmitir informações sobre os disparos dos mísseis. Em uma operação conjunta, o sistema TFCC integra a rede de Comando, Controle, Gerenciamento de Combate e Comunicações (C2BMC), ligação que permite a troca de dados com os sistemas Aegis, GMD e Patriot.

**Figura 12 – Funcionamento do sistema THAAD**



Fonte: US ARMY, 2017

O sistema THAAD é utilizado por alguns países, além dos EUA, como Emirados Árabes Unidos, Guam, Israel e Coreia do Sul. É interessante ressaltar que o envio de baterias para esse

último país resultou em grande desgaste geopolítico entre os EUA, China e Rússia.

A instalação das baterias THAAD na Coreia do Sul, em 2017, não agradou a Rússia e a China, os quais alegaram que o ato causa desequilíbrio bélico na região. Tal preocupação surgiu devido ao alcance dos mísseis e da detecção dos radares, tendo em vista que adentrariam os territórios chinês e russo, afetando a segurança das duas nações (VEJA, 2017)

### 2.3.3 Sistema de Armas David's Sling (DSWS)

O sistema de defesa David's Sling foi desenvolvido pela empresa Rafael, israelense, em conjunto com a Raytheon, estadunidense. Juntamente com os sistemas Iron Dome, Arrow 2 e Arrow 3, o David's Sling compõe a defesa em camadas de Israel.

**Figura 13** – Camadas da DA Ae de Israel

<b>Israel's missile defence</b>			
<b>System</b>	<b>Intercepts</b>	<b>Operational since</b>	
<b>Iron Dome</b>	Rockets and mortars up to 70km - 100 km range (e.g Qassams and Katyushas)	2012	
<b>David's Sling</b>	Medium range heavy payload missiles up to 300km range (e.g. Zelzal 2, Fateh 110, and Syrian M600)	2017 but Israel possesses very few interceptors	
<b>Arrow 2</b>	Long range ballistic missiles over 200km (e.g. Scud missiles or Iranian Shahab missiles)	2000	
<b>Arrow 3</b>	Long range ballistic missiles over 200km during space-flight portion of trajectory	2017	

Fonte: AIJAC, 2019

Em operação desde 2012, o David's Sling foi projetado para interceptar mísseis balísticos de curto alcance, foguetes de grande calibre e mísseis de cruzeiro, de modo a ocupar uma

posição intermediária da defesa israelense. O DSWS tem capacidade de abater mísseis balísticos e de cruzeiro até a distância de 300 km e altura de 15 km (MISSILE THREAT, 2021)

O míssil utilizado pelo sistema é o Stunner, que utiliza propelente sólido que impulsiona o engenho a uma velocidade de Mach 7,5. O Stunner não possui ogiva, a tecnologia de interceptação é *hit to kill*, por meio da elevada energia cinética atingida (DEFENSE NEWS, 2018)

Ademais, o míssil para DSWS possui a cabeça de guiamento encurvada, com dois sensores de orientação: um sensor IR eletro-ótico de imagem e um sensor de localizador de radar. Tais tecnologias permitem que o míssil receba dados das estações radar em solo, procedendo a sua orientação. O valor unitário do míssil Stunner é cerca de US\$ 1 milhão, e cada plataforma de lançamento tem capacidade para 12 mísseis. (MISSILE THREAT, 2021)

**Figura 14** – Míssil Stunner



Fonte: The Times of Israel, 2017

O sistema DSWS é composto pelo radar Multimissão (MMR) ELM-2084, montado pela ELTA System. O radar opera em 3D por meio da tecnologia *Active Electronically Steered Array* (AESA). Possui capacidade de identificar local de disparo, bem como provável local de impacto da arma inimiga. Possui um alcance de vigilância superior a 400 km e 100 km para detecção de

armas. Pode detectar até 1200 alvos para vigilância e 200 alvos para acompanhamento. (IAI, 2021)

## 2.4 OS DESAFIOS DA DEFESA ANTIAÉREA

Em 11 de setembro de 2001, marcam-se 20 anos dos atentados às Torres Gêmeas (*World Trade Center*), em Nova York, e ao Pentágono, em Washington DC. À época, houve grande mobilização para entender como se desencadeou o ataque, assim como se intensificou a preocupação com as ameaças assimétricas.

O evento evidenciou as falhas, inicialmente no serviço de informação e inteligência e, conseqüentemente, testou as vulnerabilidades da defesa aérea (caças de interceptação e Artilharia Antiaérea), bem como, sua mobilização em tempo oportuno. Assim, os EUA não estavam em condições de prever a utilização de aviões comerciais como arma de destruição (BENRÓS, 2005).

O século XXI baliza um período de incertezas e antagonismos e encaminha-se para ser o século dos conflitos irregulares assimétricos. As operações no amplo espectro tornam-se cada vez mais evidentes, com a aplicação de operações ofensivas, defensivas, de estabilidade e de apoio à população em concomitância (CORBARI, 2012)

Nesse sentido, temos como exemplo em voga os ataques à Israel por parte do Hamas (“movimento de resistência” palestino). No primeiro semestre de 2021, milhares de foguetes foram lançados contra o território de Israel e o grupo Hamas assumiu a responsabilidades pelos ataques. Por tratar-se de uma investida com vetores de baixa altura, a primeira camada de defesa antiaérea israelense, o Iron Dome, entrou em operação. O ataque resultou em poucos danos para Israel, tendo em vista a elevada eficácia do sistema de defesa.

Inserida no contexto das operações de amplo espectro, Israel foi a primeira nação que empregou um sistema de defesa antiaérea para proteger a população civil diretamente. Visto que o conflito na região se estende por vários anos, e os israelenses vêm sofrendo com a situação, Israel despende de quantia considerável para o setor de defesa, a fim de chegar a uma solução para o problema em pauta (SHAPIR, 2013)

**Figura 15** - Mísseis israelenses, à esquerda, lançados para interceptar foguetes do Hamas, à direita.



Fonte: BBC News, 2021

Entretanto, algumas críticas foram realizadas sobre a implementação do sistema Iron Dome, principalmente no que diz respeito ao alto custo do armamento. Um míssil Tamir, utilizado pelo Iron dome, tem um custo estimado de US\$ 50.000, enquanto um míssil Qassam, utilizado pelo Hamas, custa aproximadamente US\$ 800 (THE JERUSALEM POST, 2021).

Assim sendo, o problema do alto custo dos mísseis de defesa abrange os diversos sistemas antiaéreos. Por conseguinte, cresce de importância a análise do emprego desses armamentos quanto ao custo-benefício. Um importante fator que deve ser considerado diz respeito às prioridades da DA Ae.

Os meios de Artilharia Antiaérea disponíveis, normalmente, são insuficientes para atender todas as necessidades de defesa, por essa razão, são estabelecidas prioridades para defesa antiaérea, dentro dos fatores de avaliação Importância, Vulnerabilidade, Recuperabilidade e Possibilidades do inimigo aéreo. O manual EB70-MC-10.231 Defesa Antiaérea define:

- a) Importância: A importância de cada objetivo a defender deve ser avaliada em relação aos demais, tendo em vista o valor relativo ao curso das operações bélicas e seu potencial político, econômico e militar.

b) Vulnerabilidade: grau de danos que um determinado objetivo pode sofrer, devido a um ataque aéreo. Dependerá das possibilidades de dispersão, disfarce, mobilidade, proteção e dos meios orgânicos de autodefesa antiaérea de cada objetivo a defender.

c) Recuperabilidade: maior ou menor facilidade e rapidez que determinado objetivo requer para sua recuperação, após um ataque aéreo. Dependerá da facilidade de reposição, da facilidade de reparação e de soluções alternativas (substituição);

d) Possibilidades do inimigo aéreo: conhecimento sobre o potencial do inimigo no uso de seus meios aéreos, pois as características do objetivo e do terreno, conjugadas com os aspectos levantados durante a AIC, determinarão o grau de probabilidade de ele realizar um ataque. Os aspectos do inimigo levantados durante a análise de inteligência de combate (AIC) são:

- tipos de Anv em operação;
- raio de ação das Anv;
- armamento empregado;
- táticas e técnicas de ataque;
- número de surtidas por aeronaves;
- localização de suas bases;
- reabastecimento em voo (REVO);
- capacidade de empregar guerra eletrônica;
- capacidade de lançamento de mísseis balísticos e de cruzeiro;
- capacidade de executar reconhecimentos táticos e estratégicos; e
- capacidade de supressão de defesa antiaérea.

Ademais, todo sistema tecnológico possui limitações que devem ser estudadas intrinsecamente, de maneira a buscar soluções para compensar as deficiências existentes. Nesse escopo, uma limitação da DA Ae que precisa ser levada em consideração concerne ao subsistema de Controle e Alerta.

Muitos fatores influenciam no funcionamento do radar, em especial, na propagação de energia eletromagnética, como o terreno, curvatura da terra e índice de refração. Assim, para conseguir superar tais obstáculos, são necessárias tecnologias de ponta, que normalmente esbarram no alto custo de desenvolvimento ou aquisição.

Em relação à curvatura da terra, normalmente são utilizados artifícios como altos mastros

como base para os radares, aeronaves AWACS e aeróstatos (balões estacionários). Contudo, são métodos que solucionam apenas parte do problema, permanecendo com dificuldade, por exemplo, em um ataque de saturação por mais de uma direção (RAND, 2020)

Uma saída possível para reduzir o problema ao mínimo possível, com as tecnologias atuais, é por meio do Radar Além do Horizonte (*Over-The-Horizon* – OTH). Em 2018, o Brasil enquadrou-se dentro dos sete países que detinham a tecnologia OTH. Essa tecnologia permite que se aumente o horizonte radar consideravelmente, com o acompanhamento do radar ao longo da curvatura terrestre (MSIa, 2018).

Existem dois métodos para aplicação da emissão OTH, a *surface wave*, que utiliza a refração próxima da superfície da terra para alongar o alcance do sinal e a *skywave*, em que a emissão será refletida na ionosfera. O melhoramento do radar também facilita a detecção de vetores que utilizam um perfil de voo baixo, como mísseis de cruzeiro. Radares OTH *surface wave* podem, muitas vezes, cobrir uma região de sombra de um radar convencional.

A tecnologia de despistamento, conhecido como *decoys*, é um artifício que traz dificuldades para os sensores do subsistema de Controle e Alerta. São, normalmente, dispositivos que simulam o alvo real, de maneira a atrair a arma inimiga para si. Um exemplo de *decoy* é o Míssil Despistador Leve (*Lightweight Air-Launched Decoy Missile*. Segundo a SAAB, o Gripen E/F, mesmo modelo adquirido pelo Brasil, contará com a nova tecnologia (AERO MAGAZINE, 2020)

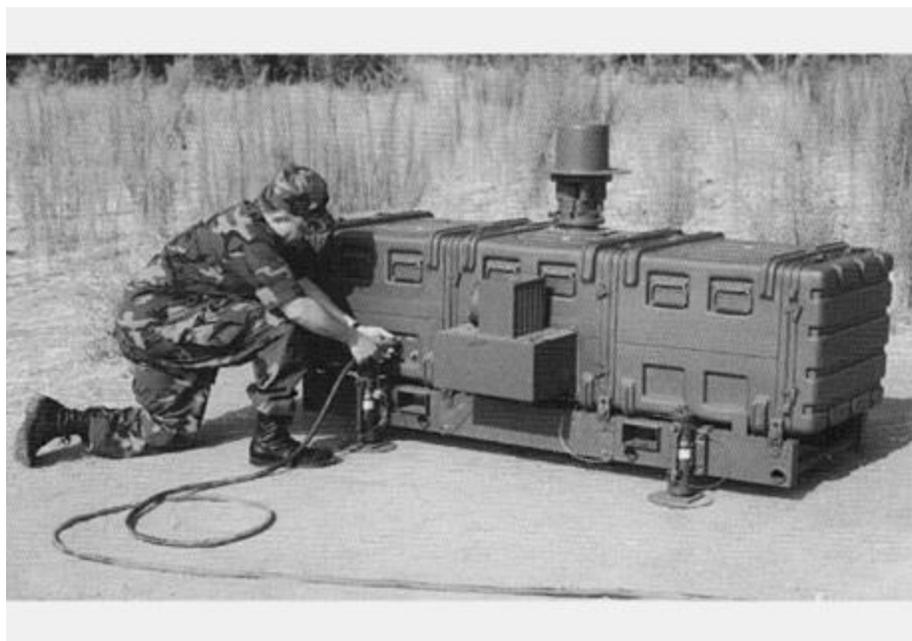
A utilização desse artifício permite que caças, por exemplo, ganhem tempo e espaço para fazer uso de seus armamentos de modo mais eficaz. Sensores de detecção mais avançados já possuem capacidade para distinguir o alvo real e o *decoy*. Portanto, segundo o manual EB60 – MT – 23.454 Guerra Eletrônica de Não Comunicações, esses dispositivos necessitam de requisitos para alcançar seu objetivo de confundir os mísseis antiaéreos, são estes: *rise time* lento; apresentar efetividade com menos de 0.5 segundos após o lançamento, para ainda estar a menos de cinco metros do alvo, ter velocidade horizontal similar à da aeronave; e apresentar emissão IR muito próxima da aeronave real.

Porém, a utilização de *decoys* também pode ser utilizada em prol da defesa antiaérea, na segurança de seus radares. O subitem 2.2.3 deste trabalho abordou sobre os mísseis antirradiação, utilizados principalmente contra os sensores antiaéreos. Dessa forma, a AAAe, utilizando-se de despistadores com emissões eletromagnéticas semelhantes às dos radares, é

capaz de iludir o ARM, enquadrando-se como Medida de Proteção Eletrônica:

A este artefato dá-se o nome de *Dummy* (espantalho), o qual consiste em ser um transmissor que emite sinais de RF idênticos ao do radar, fazendo com que o míssil se dirija para o Dummy, ou para um ponto intermediário entre este e o radar. Deve ser colocado de 30 a 300 metros afastado do radar (BRASIL, 2015).

**Figura 16 - AN/TLQ - 32 ARM DECOY (EUA).**



Fonte: ASIAN MILITARY REVIEW, 2020

Além dos mísseis antirradiação, aeronaves stealth, mísseis balísticos e mísseis de cruzeiro também são ameaças que geram obstáculos para defesa antiaérea. Alguns fatores tecnológicos presentes nesses vetores dificultam sobremaneira a detecção por meio dos sensores de vigilância, como velocidade hipersônica/supersônica, baixíssimas seções reta radar (RCS) e a tecnologia Stealth.

### 3. CONCLUSÃO

A geopolítica do século XXI é marcada pela transição de um mundo unipolar, com os Estados Unidos da América respondendo como única superpotência, para um cenário de multipolaridade. Atualmente, diversos países procuram alcançar o nível econômico e bélico no qual se encontra os EUA, bem como, verifica-se um realinhamento de potências regionais frente a nova conjuntura global (VIEIRA, 2021)

Desde o final do século XX, a Rússia envida esforços para ressurgir como potência

bélica, com diversos projetos militares tornando-se operativos atualmente. Ainda, a China apresentou-se como possível nação a desafiar a hegemonia dos EUA.

Além disso, diversas potências regionais estão evoluindo suas indústrias bélicas, destacando-se, inclusive, no plano mundial, ao mesmo tempo, alinham-se com as grandes potências internacionais. Israel, que vivencia conflitos com os vizinhos constantemente, mantém acordos militares com os EUA. O desenvolvimento bélico indiano está avançando a passos largos, à medida que acordos militares são assinados com países como Rússia e China.

Perante tais circunstâncias, é possível observar uma acirrada corrida armamentista, com o avanço contínuo da indústria militar. A ininterrupta evolução das ameaças aéreas sujeita a Artilharia Antiaérea a novos desafios e, conseqüentemente, o desenvolvimento de ferramentas que possibilitem uma eficaz defesa antiaérea.

Dessa forma, é possível constatar que os armamentos *air-to-surface missile* seguem esse mesmo caminho de superação de capacidades. Esse tipo de ameaça tem demonstrado seu poder destrutivo cada vez mais lesivo, bem como vem alcançando altíssima precisão.

Os mísseis de cruzeiro configuram ameaças de grande risco à DA Ae, por meio de seu baixo perfil de voo, alta velocidade, baixíssimo RCS e modernos sistemas de guiamento. Devido a tais características, a detecção desses vetores pode ser prejudicada. Um exemplo prático é a capacidade de voo do míssil a uma altura de até cinco metros do solo, passando por zonas de sombra do radar. Para tal, uma solução desenvolvida para suprir esse problema foi o desenvolvimento do radar *Over-The-Horizon* (OTH), em especial, por meio do modo *skywave*, com a reflexão na ionosfera, sobrepondo grandes obstáculos que prejudicam radares convencionais.

Os mísseis balísticos ocasionam outra problemática para a AAAe: a elevada altitude que é alcançada durante sua trajetória. Esses mísseis podem chegar a um ponto de inflexão fora da atmosfera, em seu trajeto. Desse modo, tornou-se necessário o desenvolvimento de mísseis antiaéreos capazes de realizar a interceptação desse vetor durante a primeira fase do movimento, em sua subida. O sistema S-400 da Rússia é um exemplo de DA Ae que está habilitado para esse tipo de missão.

Assim sendo, a constante competição entre as modernas ameaças aéreas e os sistemas de defesa antiaérea acarreta na superação das tecnologias existentes, com capacidades e possibilidades antes inimagináveis. Assim sendo, a utilização de sistemas de detecção a partir de

estações espaciais, bem como o emprego de mísseis balísticos intercontinentais (ICBM), que podem chegar a altitudes orbitais com alto nível de destruição, já são realidade.

#### 4. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15287**: informação e documentação: projeto de pesquisa: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

ACTON, James M. Debating Conventional Prompt Global Strike. **Carnegie Endowment International Peace**. 03 out. 2013. Disponível em <<https://carnegieendowment.org/2013/10/03/debating-conventional-prompt-global-strike-pub-53165>> Acesso em: 08 set. 2021.

AGM-88E Advanced Anti-Radiation Guided Missile (AARGM). **Naval Technology**. 26 fev. 2018. Disponível em <<https://www.naval-technology.com/projects/agm-88e-advanced-anti-radiation-guided-missile-aargm/>>. Acesso em 08 set. 2021.

A produção em série de mísseis para sistemas de defesa aérea S-500 começa na Rússia. **Russian News Agency**. 11 ago. 2021. Disponível em <<https://tass.com/defense/1324639>>. Acesso em: 08 set. 2021.

As 6 armas ‘invencíveis’ apresentadas pelo presidente da Rússia, Vladimir Putin, em resposta aos EUA. **BBC News Brasil**. 02 mar. 2018. Disponível em <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-43258300>>. Acesso em: 07 set. 2021.

A system of elements. **Missile Defense Agency**. 21 jul. 2021. Disponível em <<https://www.mda.mil/system/thaad.html>>. Acesso em 09 set. 2021.

BENRÓS, José Carlos L. V. A Artilharia Antiaérea na transformação do Exército. **Boletim da Artilharia Antiaérea**. Lisboa – Portugal, 2005.

BOB, Yonah Jeremy. How much does Hamas’s rocket arsenal cost? **The Jerusalem Post**. 17 mai. 2021. Disponível em <<https://www.jpost.com/arab-israeli-conflict/how-much-does-hamass-rocket-arsenal-cost-668317>>. Acesso em: 10 set. 2021.

BrahMos missile system. **Thai Military and Asian Region**, 25 jun. 2016. Disponível em <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2016/06/25/iafs-su-30-mki-test-flown-with-brahmos-missile-system-5-reasons-why-its-important-for-indias-defence-capability/>. Acesso em: 06 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Defesa. **EB-60-ME-23.403 Generalidades sobre mísseis**. Ministério da Defesa. 1. ed. Brasília, 2015

BRASIL. Ministério da Defesa. **EB-60-ME-23.461 Inteligência nas Operações de Defesa Antiaérea**. Ministério da Defesa. 1. ed. Brasília, 2015

BRASIL. Ministério da Defesa. **EB60-MT-23.454: Guerra Eletrônica de Não-Comunicações**. 1. ed. Brasília, 2015.

BRASIL. Ministério da Defesa. **EB70-MC-10.231: Defesa Antiaérea**. 1. ed. Brasília, 2017.

BRASIL. Estado Maior da Aeronáutica. **MCA 355-1: Manual de Defesa Antiaérea**. Brasília, 2015.

Conflito entre Israel e palestinos: a impressionante foto que mostra luta entre Domo de Ferro de Israel e mísseis do Hamas. **BBC News Brasil**. 15 mai. 2021. Disponível em <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-57055045>>. Acesso em: 10 set. 2021.

CORRÊA, Glauco Corbari. **As operações de amplo espectro e a sua contribuição para o incremento das ações de combate na Amazônia brasileira, no contexto de um conflito assimétrico**. Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, 2012.

COSTA, Sérgio Paulo Muniz. **História Militar – passado e futuro: A Defesa Nacional**, 2000.

CZESZEJKO, Stanislaw. Anti-Radiation Missiles vs. Radars. **International Journal of Electronics and Telecommunications**. Polônia, 2013.

David's Sling (Israel). **Missile Threat**. 13 jul. 2021. Disponível em <<https://missilethreat.csis.org/defsys/davids-sling/>>. Acesso em 10 set. 2021.

Deadly Precision. **Australia/Israel & Jewish Affairs Council**. 27 fev. 2019. Disponível em <<https://aijac.org.au/australia-israel-review/deadly-precision/>>. Acesso em 10 set. 2021.

Death from above? The United States Must Address Air Defense Challenges. **Georgetown Security Studies Review**. 18 out. 2017. Disponível em <<https://georgetownsecuritystudiesreview.org/2017/10/18/death-from-above-the-united-states-must-address-air-defense-challenges/>>. Acesso em: 03 set 2021.

ELM-2084 MMT Multi Mission Radar. **IAI**. 2021. Disponível em <<https://www.iai.co.il/p/elm-2084-mmr>>. Acesso em: 10 set. 2021.

ESPÍRITO SANTO, Gabriel A. Espaço aéreo e armas antiaéreas face a novas ameaças. **Boletim da Artilharia Antiaérea**. Lisboa – Portugal, 2005.

FRANTZMAN, Seth J. Israel Activated its David's Sling missile system for the first time. Will more sales start booming? **Defense News**. 31 jul. 2018. Disponível em <<https://www.defensenews.com/smr/space-missile-defense/2018/07/27/davids-sling-missile-system-used-for-first-time-by-israel/>>. Acesso em: 10 set. 2021.

GALANTE, Alexandre. FAB: Projeto do Míssil Antirradiação MAR-1 está suspenso. **Poder Aéreo**. 15 abr. 2019. Disponível em <<https://www.aereo.jor.br/2019/04/15/fab-projeto-do-missil-antirradiacao-mar-1-esta-suspenso/>> . Acesso em: 08 set. 2021.

GINSBURG, Mitch. Air force starts training operators for David's Sling missile defense. **The Times of Israel**. 29 jun. 2015. Disponível em <<https://www.timesofisrael.com/air-force-starts-training-operators-for-davids-sling-missile-defense/>> Acesso em 10 de set. 2021.

HO, Ben. Air Defense challenges in the new decade. **Asian Military Review**. 14 mai. 2020. Disponível em <<https://www.asianmilitaryreview.com/2020/05/air-defence-challenges-in-the-new-decade/>>. Acesso em 10 set. 2021.

JUNIOR, Sydney J. Freedberg. Hypersonics: DoD wants “hundreds of weapons” ASAP. **Breaking Defense**. 24 abr. 2020. Disponível em <<https://breakingdefense.com/2020/04/hypersonics-dod-wants-hundreds-of-weapons-asap/>> Acesso em: 07 set. 2021

KH-47M2 Kinzhal nuclear-capable air-launched ballistic missile. **South Front**. 23 abr. 2020. Disponível em <<https://southfront.org/kh-47m2-kinzhal-nuclear-capable-air-launched-ballistic-missile-infographics/>>. Acesso em: 06 set. 2021.

Kinzhal. **Missile Threat**. 31 jul. 2021. Disponível em <https://missilethreat.csis.org/missile/kinzhal/>. Acesso em: 09 set. 2021.

KRISHNAN, Anantha. India’s next-gen anti-radiation missile set for trials. **The Week**. 21 mar. 2019. Disponível em <<https://www.theweek.in/news/india/2019/03/21/India-next-gen-desi-anti-radiation-missile-trials-ngarm-drdo.html>>. Acesso em: 08 set. 2021.

LINO, Geraldo Luís. Radar além do horizonte, uma façanha tecnológica nacional. **Movimento de Solidariedade Ibero-americano (MSIa)**. 27 jul. 2018. Disponível em <<https://msiainforma.org/radar-alem-do-horizonte-uma-facanha-tecnologica-nacional/>>. Acesso em 10 set. 2021.

NUNES, Angela. Como funciona o THAAD, o escudo antimíssil que defende a Coreia. **Veja**. 5 mai. 2017. Disponível em <<https://veja.abril.com.br/mundo/como-funciona-o-thaad-o-escudo-antimisseis-que-defende-a-coreia/>>. Acesso em: 09 set. 2021.

MCLNTYRE, Cindy. Fort Sill trains THAAD batteries. **US Army**. 26 out. 2017. Disponível em <[https://www.army.mil/article/195977/fort\\_sill\\_trains\\_thaad\\_batteries](https://www.army.mil/article/195977/fort_sill_trains_thaad_batteries) > . Acesso em: 09 set. 2021.

Russian S-400 systems will be under Turkish top diplomat. **Russian News Agency**. 16 mai. 2019. Disponível em <<https://tass.com/defense/1058594>> Acesso em: 08 set. 2021.

Russian Strategic bomber to extend Kinzhal hypersonic missile’s range. **Russian News Agency**. 18 jul. 2018. Disponível em <<https://tass.com/defense/1013794>>. Acesso em: 07 set. 2021.

S-400 Triumph. **Army Technology**. 03 fev. 2020. Disponível em <<https://www.army-technology.com/projects/s-400-triumph-air-defence-missile-system/>>. Acesso em 08 set. 2021.

S-400 Triumf. **Missile Threat**. 06 jul. 2021. Disponível em <<https://missilethreat.csis.org/defsys/s-400-triumf/>> . Acesso em: 08 set. 2021.

SANTOS, Guilherme Simionato; CEPIK, Marco. **Revista Carta Internacional**. v. 12. n. 3. p. 5 – 29. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Relações Internacionais, 2017.

SEA HARRIER Avionic Systems. **Savi's Blog**. 07 dez. 2013. Disponível em <<https://savishamim.wordpress.com/avionic-systems/>>. Acesso em: 08 set. 2021.

SHAPIR, Yiftah S. Lessons from the Iron Dome. **Military and Strategic Affairs**. Tel Aviv – Israel, 2013.

Sistema S-400. **Hoje no Mundo Militar**. 05 nov. 2016. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=jAsPJI2-gR0>>. Acesso em 08 set. 2021

Successful Firing of BraMos Air Launched Missile from Su-30 MKI Aircraft. **Ministério da Defesa da Índia**. 22 maio 2019. Disponível em <<https://pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=1572385>>. Acesso em: 06 set. 2021.

Terminal High Altitude Area Defense (THAAD). **Missile Threat**. 30 jun. 2021. Disponível em <<https://missilethreat.csis.org/system/thaad/>>. Acesso em 09 set. 2021.

UBIRATAN, Edmundo; BENEVIDES, Gabriel. Rússia arma caças MiG-31 com mísseis que atingem 14.800 km/h. **AERO Magazine**. 14 jan. 2021. Disponível em <[https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/russia-arma-cacas-mig-31-com-misseis-hipersonicos-com-alcance-de-2000-km\\_6164.html](https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/russia-arma-cacas-mig-31-com-misseis-hipersonicos-com-alcance-de-2000-km_6164.html)>. Acesso em: 08 set. 2021.

UBIRATAN, Edmundo. Caças Gripen utilizará sistema que cria alvo falso para o inimigo. **AERO Magazine**. 28 ago. 2020. Disponível em <[https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/cacas-gripen-utilizara-sistema-que-cria-alvo-falso-para-o-inimigo\\_5707.htm](https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/cacas-gripen-utilizara-sistema-que-cria-alvo-falso-para-o-inimigo_5707.htm)>. Acesso em: 11 set. 2021.

US to deploy THAAD missile battery to South Korea. **US Army**. 16 set. 2016. Disponível em <[https://www.army.mil/article/171316/us\\_to\\_deploy\\_thaad\\_missile\\_battery\\_to\\_south\\_korea](https://www.army.mil/article/171316/us_to_deploy_thaad_missile_battery_to_south_korea)>. Acesso em: 08 set. 2021.

The world's top air-to-surface missile. **Air Force Technology**. 01 nov. 2019. Disponível em <https://www.airforce-technology.com/features/the-worlds-top-air-to-surface-missiles/>. Acesso em 09 set. 2021.

TREVITHICK, Joseph; ROGOWAY, Tyler. Navy Orders Development of new Air Defense blasting missile that will fit inside F-25. **The Drive**. 24 jan. 2018. Disponível em <<https://www.thedrive.com/the-war-zone/17947/navy-orders-development-of-new-air-defense-blasting-missile-that-will-fit-inside-f-35>> Acesso em: 08 set. 2021.

Turkey to test S-400 air defense system alarming USA and NATO. **Atalayar**. 7 out. 2020. Disponível em <<https://atalayar.com/en/content/turkey-test-s-400-air-defense-system-alarming-usa-and-nato>>. Acesso em 08 set. 2021.

VIEIRA, Lucas. Tecnologias disruptivas: uma abordagem geopolítica. **Revista de Geopolítica**. V. 12, nº 2, p. 69-84, abr./jun. Brasília, 2021.

WILSON, Peter A.; PARACHINI, John V. Russian S-400 Surface-to-Air Missile System: Is it worth the Sticker Price? **RAND Corporation**. 06 mai. 2020. Disponível em <<https://www.rand.org/blog/2020/05/russian-s-400-surface-to-air-missile-system-is-it-worth.html> >. Acesso em: 11 set. 2021