

ARMAS HIPERSÔNICAS: TECNOLOGIA, ESTRATÉGIA E IMPLICAÇÕES GLOBAIS

Por Marco Antonio de Freitas Coutinho*



Imagem meramente ilustrativa, gerada por inteligência artificial.

A ascensão das armas hipersônicas redefine a guerra, com velocidades extremas e manobras imprevisíveis, desafiando defesas e alterando o equilíbrio global; o Brasil busca seu lugar com o Projeto 14-X.

A ascensão das armas hipersônicas marca uma nova etapa na evolução da tecnologia militar global, redefinindo conceitos de velocidade, precisão e letalidade. Com capacidade de superar Mach 5 e realizar manobras imprevisíveis, esses artefatos oferecem vantagens estratégicas significativas ao dificultar sua interceptação por sistemas defensivos convencionais. Seu desenvolvimento intensivo por países como Estados Unidos, China, Rússia e Brasil destaca o crescente interesse por essa tecnologia, que promete transformar o equilíbrio de poder no cenário internacional.

Os avanços recentes demonstram que, apesar dos desafios técnicos, as armas hipersônicas já estão sendo empregadas em conflitos reais. A Rússia foi pioneira na utilização operacional desses sistemas, lançando mísseis como o Kh-47M2 Kinzhal e o 3M22 Zircon contra alvos estratégicos durante a Guerra Russo-Ucraniana. Além de evidenciar sua efetividade tática, esse uso inicial reforça a necessidade de novas abordagens militares para lidar com ameaças de alta velocidade.

No entanto, o progresso dessas tecnologias enfrenta obstáculos técnicos e operacionais. O superaquecimento causado pelo atrito com a atmosfera exige materiais inovadores capazes de resistir a temperaturas extremas sem comprometer a estabilidade aerodinâmica. Além disso, a ionização do ar ao redor do veículo

hipersônico interfere nos sistemas de comunicação e guiamento, exigindo aprimoramentos na navegação e no controle de trajetória. Apesar dessas dificuldades, o contínuo investimento na área sugere que os próximos anos trarão soluções que viabilizem o uso mais amplo dessas armas.

O Brasil busca se inserir nesse cenário com o Projeto 14-X, desenvolvido pelo Instituto de Estudos Avançados da Força Aérea Brasileira. Embora ainda em fase de experimentação, esse projeto representa um avanço significativo na pesquisa de propulsão hipersônica e fortalece o posicionamento estratégico do país no setor aeroespacial. Além do potencial militar, sua tecnologia pode ser aplicada em transporte aéreo de alta velocidade, ampliando suas possibilidades de desenvolvimento.

A evolução das armas hipersônicas levanta questões estratégicas e geopolíticas que vão além dos desafios tecnológicos. Sua proliferação pode impactar a estabilidade internacional ao reduzir o tempo de reação das defesas convencionais e alterar as doutrinas de dissuasão nuclear. A ausência de tratados específicos para regulamentação dessas armas expõe lacunas no controle de sua disseminação, aumentando os riscos de uma nova corrida armamentista. Diante dessas considerações, a necessidade de acordos multilaterais para estabelecer normas de uso e desenvolvimento se torna um aspecto central nos debates sobre segurança global.

DEFINIÇÃO E FUNCIONAMENTO DAS ARMAS HIPERSÔNICAS

Armas hipersônicas são sistemas capazes de atingir e manter velocidades superiores a Mach 5 dentro da atmosfera, tornando sua interceptação extremamente desafiadora para os sistemas de defesa convencionais. Diferente dos mísseis balísticos intercontinentais, que seguem trajetórias previsíveis em arcos parabólicos antes de reentrar na atmosfera, as armas hipersônicas permanecem em voo sustentado dentro da atmosfera, realizando manobras evasivas e complexas. Isso torna sua neutralização um desafio técnico significativo para sistemas defensivos tradicionais.

Existem três principais tipos de armas hipersônicas. Os **planadores hipersônicos** são ogivas lançadas por mísseis balísticos que se separam do veículo transportador e seguem trajetórias não balísticas até o alvo, realizando manobras imprevisíveis para evitar sistemas de defesa inimigos. Já os **mísseis de cruzeiro hipersônicos** utilizam motores *scramjet*, que dependem do fluxo de ar comprimido gerado em velocidades supersônicas para operar, permitindo que mantenham velocidades extremas durante todo o percurso. Esse tipo de míssil voa a altitudes médias e possui grande capacidade de evasão. O terceiro tipo, os **mísseis balísticos hipersônicos**, são derivados de sistemas balísticos adaptados para atingir velocidades superiores a Mach 5, com trajetórias *lofted* ou modificadas que dificultam sua interceptação.

Uma trajetória *lofted* é um perfil de voo em que um míssil ou projétil é lançado em um ângulo mais alto do que o normal, criando um arco parabólico antes de descer em direção ao alvo. Esse tipo de trajetória é usado para aumentar o alcance do míssil e melhorar a eficácia do impacto, pois permite que ele atinja o alvo com maior energia cinética na fase terminal.

Já uma trajetória modificada refere-se a ajustes feitos na trajetória padrão de um míssil para evitar interceptação ou melhorar a precisão. Isso pode incluir mudanças

na altitude, velocidade ou ângulo de ataque ao longo do voo. Por exemplo, alguns mísseis hipersônicos podem alterar sua trajetória durante o percurso para dificultar a tarefa da defesa inimiga.

O desenvolvimento dessas tecnologias enfrenta desafios técnicos significativos, como superaquecimento causado pelo atrito com a atmosfera e a necessidade de materiais resistentes a temperaturas extremas. Além disso, a ionização do ar ao redor do veículo hipersônico gera um campo de plasma que interfere nos sistemas de comunicação e guiamento, dificultando a correção da trajetória e comprometendo a precisão do ataque. Esses desafios exigem avanços contínuos na pesquisa para viabilizar sua plena implementação.

Os avanços nessa área vêm sendo impulsionados por diversas nações, com projetos emblemáticos como o X-51A Waverider e o AGM-183 ARRW dos Estados Unidos, o DF-17 da China e os Kinzhal, Avangard e Zircon da Rússia. O Brasil também investe no desenvolvimento dessa tecnologia por meio do Projeto 14-X, que explora propulsão hipersônica e reforça a capacidade aeroespacial nacional. Embora em estágio experimental, esse projeto representa um passo estratégico para a inserção do país na corrida hipersônica global.

PRINCIPAIS DESENVOLVEDORES E SEUS PROJETOS

O desenvolvimento de armas hipersônicas é liderado por algumas das principais potências militares, que exploram diferentes abordagens para garantir superioridade estratégica. Essas tecnologias se dividem em três categorias principais: planadores hipersônicos, mísseis de cruzeiro hipersônicos e mísseis balísticos hipersônicos.

Os planadores hipersônicos são ogivas que, após serem lançadas por um veículo transportador, se separam e seguem uma trajetória não balística até o alvo, realizando manobras imprevisíveis e dificultando sua interceptação.

Nos Estados Unidos, o sistema LRHW (*Long-Range Hypersonic Weapon*) exemplifica essa categoria, proporcionando uma capacidade de ataque de longo alcance com precisão. A China investe no DF-17, um míssil equipado com um planador hipersônico que representa um dos avanços mais significativos do país nessa área. A Rússia desenvolveu o Avangard, acoplado a mísseis balísticos intercontinentais, capaz de atingir velocidades superiores a Mach 20. Além disso, há o Oreshnik, um míssil balístico de alcance intermediário, derivado do RS-26 Rubezh, que carrega ogivas planadoras hipersônicas.

O Brasil procura avançar nesse campo com o Projeto PropHiper, conhecido simplesmente como 14-X. Embora o projeto tenha foco na pesquisa de propulsão hipersônica, seus estudos podem futuramente contribuir para aplicações estratégicas. O 14-X teve início em 2006, com o objetivo de capacitar o Brasil na área estratégica e prioritária da hipersônica. O trabalho foi dividido em quatro grandes metas (NUNES, 2024):

- 14-XS: demonstração em voo ascendente balístico da combustão supersônica;
- 14-XSP: demonstração em voo ascendente balístico da propulsão hipersônica aspirada;

- 14-XW: demonstração em voo planado (sem propulsão) de um veículo hipersônico controlável e manobrável com sistemas de guiamento, navegação e controle (GNC), emprego de materiais avançados, durante o voo hipersônico na estratosfera;
- 14-XWP: demonstração em voo autônomo de um veículo hipersônico controlável e manobrável com propulsão hipersônica aspirada ativa.

Para dar impulso ao projeto 14-X, o desenvolvimento foi confiado à empresa Mac Jee, empresa brasileira especializada em defesa fundada há 17 anos. A companhia venceu um edital para desenvolver um sistema de decolagem assistida para veículos hipersônicos a fim de colocar a 30 quilômetros de altitude um foguete carregando um veículo hipersônico.

Planadores Hipersônicos

País	Projeto
Estados Unidos	LRHW (Long-Range Hypersonic Weapon)
China	DF-17
Rússia	Avangard, Oreshnik
Brasil	Projeto 14-X

Tabela: VELHO GENERAL • Fonte: MARCO ANTONIO DE FREITAS COUTINHO • Criado com Datawrapper

Os mísseis de cruzeiro hipersônicos utilizam motores *scramjet* para alcançar e manter velocidades extremamente altas ao longo de sua trajetória, tornando-se uma ameaça complexa para sistemas de defesa aérea convencionais. Nos Estados Unidos, os modelos AGM-183 ARRW e X-51A Waverider representam investimentos nessa área. A Rússia tem no Kinzhal um míssil balístico lançado por aeronaves, derivado do Iskander-M, capaz de operar com cargas nucleares ou convencionais e atingir Mach 10. O Zircon é outro projeto russo voltado para operações navais, ameaçando embarcações estratégicas com sua velocidade e manobrabilidade. A China também realiza testes de mísseis hipersônicos, mas detalhes sobre seus sistemas permanecem classificados.

Mísseis de Cruzeiro Hipersônicos

País	Projeto
Estados Unidos	AGM-183 ARRW (Air-Launched Rapid Response Weapon), X-51A Waverider
China	Sistemas em desenvolvimento, sem confirmação oficial
Rússia	Kinzhal, Zircon

Tabela: VELHO GENERAL • Fonte: MARCO ANTONIO DE FREITAS COUTINHO • Criado com Datawrapper

Além dessas categorias, há os mísseis balísticos hipersônicos, que seguem uma trajetória *lofted* ou modificada, combinando elementos dos sistemas convencionais balísticos com maior velocidade e capacidade de manobra. O Kinzhal, embora frequentemente categorizado como um míssil de cruzeiro hipersônico, compartilha características de um míssil balístico hipersônico ao ser lançado de plataformas aéreas e seguir uma trajetória adaptada.

DESAFIOS TÉCNICOS E ESTRATÉGICOS

O desenvolvimento de armas hipersônicas enfrenta desafios técnicos e estratégicos que precisam ser superados para garantir sua plena operacionalidade e impacto global. Os desafios podem ser divididos em três áreas principais: resistência ao superaquecimento, navegação e comunicação em velocidades extremas, e viabilidade operacional para a sua integração em arsenais militares.

O primeiro grande obstáculo é o superaquecimento extremo causado pelo atrito com a atmosfera. À medida em que esses artefatos atingem velocidades superiores a Mach 5, a temperatura da fuselagem pode ultrapassar 2000°C, comprometendo sua estrutura e estabilidade aerodinâmica. Para mitigar esse problema, pesquisas avançam no desenvolvimento de materiais resistentes ao calor, como ligas metálicas especiais, compósitos cerâmicos e revestimentos de carbono. Um dos materiais mais promissores são as Cerâmicas de Ultra Alta Temperatura (UHTC, *Ultra-High Temperature Ceramics*), que oferecem alta resistência térmica sem comprometer a aerodinâmica da aeronave. Além disso, estratégias como resfriamento ativo e novos projetos de fuselagem são exploradas para reduzir os efeitos do superaquecimento.

Outro fator crítico é a navegação em velocidades hipersônicas. Durante o percurso, a ionização do ar ao redor do veículo gera um campo de plasma que interfere nos sistemas de comunicação e guiamento, dificultando a correção da trajetória e comprometendo a precisão do ataque. Essa barreira limita a integração dos veículos hipersônicos com sistemas externos de navegação, como GPS e radares. Para contornar esse problema, pesquisadores desenvolvem sensores avançados e exploram inteligência artificial para ajustes dinâmicos de rota, permitindo maior controle sobre esses sistemas. Além disso, há esforços para criar protocolos de comunicação resistentes à interferência do plasma, garantindo maior confiabilidade na transmissão de dados durante o voo.

A viabilidade operacional dessas armas também exige avanços na infraestrutura de lançamento e manutenção. Diferentemente dos mísseis convencionais, os hipersônicos requerem sistemas específicos para propulsão, armazenamento e integração em plataformas militares. A complexidade logística e os altos custos de desenvolvimento e produção podem limitar sua aplicação em larga escala. Essa questão é fundamental para determinar o ritmo da adoção dessas tecnologias, já que seu custo elevado pode dificultar sua produção em escala e implementação como armamento convencional.

Além das barreiras técnicas, os desafios estratégicos representam um fator decisivo para a plena viabilidade dessas armas no cenário militar moderno. A dificuldade de interceptação e a velocidade extrema tornam os sistemas de defesa convencionais obsoletos, exigindo uma reavaliação das capacidades defensivas de grandes potências militares. Os Estados Unidos e a China desenvolvem novas abordagens, como radares de altíssima frequência, armas de energia direcionada e interceptadores hipersônicos capazes de responder a ataques em tempo hábil. Projetos como o americano Glide Breaker, liderado pela DARPA, buscam criar interceptadores especializados para anular ameaças hipersônicas.

A ausência de tratados internacionais específicos para regulamentar a produção e o uso dessas armas levanta preocupações sobre sua proliferação. Diferente dos mísseis balísticos intercontinentais e das armas nucleares, os sistemas hipersônicos ainda não são alvo de acordos que limitem seu desenvolvimento e uso. Isso permite que

países avancem em sua pesquisa sem restrições, ampliando o risco de uma corrida armamentista global. O estabelecimento de mecanismos de controle será essencial para garantir um ambiente de segurança internacional mais previsível.

IMPACTOS GLOBAIS E ESTRATÉGICOS

A proliferação de armas hipersônicas representa um desafio significativo para a estabilidade geopolítica global. A capacidade dessas armas de atingir velocidades extremas e realizar manobras imprevisíveis reduz drasticamente o tempo de reação das defesas convencionais, tornando as estratégias de dissuasão menos eficazes. Com a introdução dessas tecnologias no campo de batalha, como ocorreu na Guerra Russo-Ucraniana, há um impacto direto na forma como os conflitos modernos se desenvolvem. Além de reforçar a letalidade dos ataques, essas armas impõem novas exigências para a segurança global e a capacidade de resposta das potências militares.

A capacidade de transportar ogivas nucleares eleva ainda mais o potencial destrutivo das armas hipersônicas. A Rússia demonstrou essa possibilidade ao integrar o sistema Avangard a seus mísseis balísticos intercontinentais, conferindo-lhes uma nova dimensão estratégica. A velocidade extrema e a trajetória imprevisível tornam essas armas difíceis de interceptar, aumentando o risco de escalada em confrontos internacionais e exigindo uma reavaliação das políticas de segurança global.

Um dos impactos mais relevantes dessas armas está na estratégia de Anti-Acesso e Negação de Área (A2/AD). Países como China e Rússia utilizam mísseis hipersônicos para reforçar zonas estratégicas e dificultar a entrada de forças inimigas em áreas marítimas e terrestres sensíveis. O DF-17 chinês, por exemplo, fortalece a capacidade de A2/AD no Pacífico, enquanto o Zircon russo amplia o poder defensivo contra embarcações da OTAN. O relatório do DTIC (United States Air Force Scientific Advisory Board, 2025) destaca que armas hipersônicas de alcance tático oferecem capacidades essenciais para operações A2/AD, impondo desafios defensivos significativos a qualquer adversário. A velocidade e a manobrabilidade dessas armas dificultam ações ofensivas inimigas, tornando-as ferramentas cruciais para países que buscam limitar o movimento de forças rivais em suas áreas de influência.

O desenvolvimento de defesas eficazes contra armas hipersônicas ainda está em um estágio inicial. Os sistemas tradicionais de interceptação não conseguem acompanhar a velocidade e as manobras desses artefatos, tornando necessária a criação de novas tecnologias. Projetos como o Glide Breaker e sistemas de radares de altíssima frequência buscam suprir essa lacuna. Além disso, há investimentos em armas de energia direcionada e interceptadores hipersônicos que possam neutralizar essas ameaças antes que atinjam seus alvos.

A completa ausência de tratados internacionais específicos para regulamentar a produção e o uso dessas armas é outro fator preocupante, ao permitir que países avancem na pesquisa sem restrições, ampliando as preocupações sobre uma corrida armamentista global. A lacuna regulatória expõe fragilidades no controle dessas tecnologias e aumenta as incertezas estratégicas no cenário internacional. A criação de mecanismos de controle e negociação será essencial para garantir um ambiente de segurança internacional mais previsível.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O avanço das armas hipersônicas representa uma mudança significativa na tecnologia militar moderna, oferecendo novas capacidades ofensivas que desafiam os sistemas de defesa tradicionais. Seu desenvolvimento acelerado por potências como Estados Unidos, China, Rússia e Brasil demonstra a importância estratégica dessas tecnologias na redefinição do equilíbrio de poder global. No entanto, apesar dos progressos alcançados, desafios técnicos ainda devem ser superados para garantir sua plena operacionalidade. O superaquecimento extremo gerado pelo atrito, as dificuldades de navegação causadas pela ionização do ar e as limitações logísticas para implementação operacional são obstáculos que influenciam diretamente sua viabilidade militar.

Além dos desafios técnicos, as armas hipersônicas afetam significativamente as doutrinas militares, forçando uma reavaliação das estratégias de defesa e ataque. Sua velocidade extrema e manobrabilidade dificultam a interceptação, tornando obsoletos muitos dos sistemas de defesa existentes. A necessidade de desenvolver novas contramedidas, como radares de altíssima frequência, interceptadores hipersônicos e armas de energia direcionada, exige investimentos maciços e colaboração internacional. Além disso, seu impacto nas estratégias de A2/AD redefine a maneira como países protegem suas zonas estratégicas, dificultando operações adversárias e aumentando os desafios para forças militares que precisam operar em ambientes hostis.

O cenário atual evidencia uma lacuna regulatória na legislação internacional. Diferente dos mísseis balísticos intercontinentais e das armas nucleares, que são regidos por tratados específicos, as armas hipersônicas ainda não possuem mecanismos de controle que limitem sua proliferação e uso. Essa ausência de regulamentação aumenta amplia as incertezas sobre sua aplicação em futuros conflitos, e a definição de normas de uso e desenvolvimento será fundamental para garantir maior estabilidade na segurança internacional e evitar escaladas inesperadas.

O futuro dessa tecnologia dependerá não apenas de sua evolução técnica, mas também da capacidade das nações de estabelecer acordos multilaterais que equilibrem seu desenvolvimento com medidas de contenção e uso responsável. O debate sobre a regulamentação internacional dessas armas será crucial nos próximos anos, definindo os rumos da segurança global e a forma como países enfrentarão os desafios impostos por essa nova geração de armamentos.

REFERÊNCIAS

FORÇA AÉREA BRASILEIRA. *Projeto 14-X e o Avanço da Propulsão Hipersônica Nacional*. Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), Instituto de Estudos Avançados (IEAv), 2024. Disponível em: <https://www.fab.mil.br>.

HENRY, Jérôme; SLAARS, Emmanuel. *Hypersonic Missiles: Evolution or Revolution?* Naval News, 1 nov. 2022. Disponível em: <https://www.navalnews.com/naval-news/2022/11/hypersonic-missiles-evolution-or-revolution/>.

MISSILE DEFENSE PROJECT. *Kh-47M2 Kinzhal.* Missile Threat, Center for Strategic and International Studies, 23 de abril de 2024. Disponível em: <https://missilethreat.csis.org/missile/kinzhal/>.

NUNES, Ana Carolina. *Conheça o Projeto 14-X, que prevê lançar 1º Foguete Hipersônico brasileiro em 2027.* IstoÉ Dinheiro, 24 de novembro de 2024. Disponível em: <https://istoedinheiro.com.br/conheca-o-projeto-14-x-que-preve-lancar-1o-foguete-hipersonico-brasileiro-em-2027/>.

UNITED STATES AIR FORCE SCIENTIFIC ADVISORY BOARD. *Technology Readiness for Hypersonic Vehicles.* Defense Technical Information Center (DTIC), 2025. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1147287.pdf>.

VANGUARD. *Hypersonic weapons.* DeepState UA, 20 de fevereiro de 2024. Disponível em: <https://deepstateua.com/hypersonic missiles/>.

VAN WIE, David M. *Hypersonics: Past, Present, and Potential Future.* Johns Hopkins APL Technical Digest, v. 35, n. 4, 2021. Disponível em: <https://secwww.jhuapl.edu/techdigest/Content/techdigest/pdf/V35-N04/35-04-Van%20Wie.pdf>.

***Marco Antonio de Freitas Coutinho** é coronel da reserva do Exército Brasileiro, bacharel em Ciências Militares pela AMAN, mestre em Operações Militares pela EsAO e em Ciências Militares pela ECEME. Coutinho é pós-graduado em Relações Internacionais pela Universidade de Brasília e mestrandando em Ciência Política Internacional pela Fundação Universitária Iberoamericana (Espanha). Pode ser contatado pelo e-mail: marcoutinho@hotmail.com.
