

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E PODER AEREOESPACIAL: UM INTROITO

Gills Lopes¹
Érika Rigotti Furtado²
Alexandre Manhães³
André Luiz Anjos de Figueiredo⁴

Resumo

O artigo analisa a crescente intersecção entre inteligência artificial (IA) e Poder Aeroespacial, destacando sua influência na tomada de decisão, vigilância, comunicações e operações militares. A IA tem transformado sistemas espaciais em plataformas autônomas, ampliando a capacidade de dissuasão, controle e projeção de poder. O presente estudo aborda aplicações em conflitos contemporâneos, como na guerra russo-ucraniana, e discute como IA e aprendizado de máquina (ML) incrementam missões de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (IVR), comunicações satelitais e consciência situacional espacial. Também são analisados os dilemas éticos e jurídicos no uso militar da IA, especialmente no Direito Internacional dos Conflitos Armados. No caso brasileiro, recomenda-se a formulação de uma Estratégia Nacional específica para o setor espacial, contemplando pesquisa e desenvolvimento, uso dual e parcerias. Conclui-se que o domínio dessa tecnologia disruptiva é essencial para a soberania aeroespacial brasileira.

Palavras-chave: Defesa; Inteligência artificial; Poder Aeroespacial.

Abstract: The article analyses the growing intersection between artificial intelligence (AI) and aerospace power, highlighting its influence on decision-making, surveillance, communications, and military operations. AI has transformed space systems into autonomous platforms, expanding the capacity for deterrence, control, and power projection. This study addresses applications in contemporary conflicts, such as the Russian-Ukrainian war, and discusses how AI and machine learning (ML) enhance Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR) missions, satellite communications and spatial situational awareness. It also analyses the ethical and legal dilemmas in the military use of AI, especially in International Law of Armed Conflict. In the case of Brazil, it is recommended that a specific National Strategy be formulated for the space sector, covering research and development, dual use, and partnerships. It is concluded that mastery of this disruptive technology is essential for Brazilian aerospace sovereignty.

Keywords: Defence; Artificial intelligence; Aerospace power.

-
- 1 Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Segurança Desenvolvimento e Defesa (PPGSDD) da Escola Superior de Defesa (ESD) e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Aeroespaciais (PPGCA) da Universidade da Força Aérea (UNIFA). Doutor em Ciência Política pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).
 - 2 Professora Adjunta na Escola Superior de Defesa (ESD). Doutora em Ciências Aeroespaciais pelo PPGCA/UNIFA.
 - 3 Doutorando em Ciências Aeroespaciais pelo PPGCA/UNIFA. MBA em Gestão Empresarial e em Gerenciamento de Projetos, ambos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Project Management Professional (PMP) pelo Project Management Institute (PMI). Capitão na Força Aérea Brasileira (FAB).
 - 4 Doutorando em Ciências Aeroespaciais pelo PPGCA/UNIFA. Professor Assistente na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

Introdução

Devido à sua inerente inquietude, as sociedades buscaram, ao longo da história, compreender, modelar, controlar, gerenciar e prever a realidade que as cercava, explicando acontecimentos, suas próprias criações e fenômenos (Kissinger; Schmidt; Huttenlocher, 2021). Contudo, com o advento da inteligência artificial (IA), esse protagonismo passou a ser desafiado, sobretudo no âmbito da tomada de decisão.

Novas formas de comunicação entre dispositivos conectados no ciberespaço tornaram-se instantâneas, e tarefas como leitura, buscas, compras, linguagem, registro, vigilância, planejamento e gestão militar passaram a ser executadas de maneira automatizada, impulsionadas por essa tecnologia disruptiva.

O avanço da IA vem transformando profundamente as capacidades dos sistemas espaciais contemporâneos, permitindo tomadas de decisão automatizadas, com maior autonomia, velocidade e eficiência na coleta, processamento e uso dos dados. Em outras palavras, está fazendo dos satélites de meros transmissores de dados a sistemas inteligentes e autônomos, integrados a ecossistemas algorítmicos multissensoriais de defesa e vigilância na/da Terra.

Mais do que uma ferramenta tecnológica, a IA representa um vetor de superioridade estratégica no domínio aeroespacial, ampliando as possibilidades de dissuasão, controle e projeção de poder nesta e em outras dimensões. Desta forma, toda essa transformação requer novas abordagens políticas e regulatórias para extrair o máximo potencial destas tecnologias.

Nesse sentido, o presente trabalho tem o objetivo geral de apresentar discussões introdutórias sobre o uso dessa tecnologia disruptiva nos terceiro e quarto domínios estratégicos.

Para tanto, o texto se subdivide em quatro seções principais. A primeira trata da relação entre IA e o poder aéreo. Na segunda, é a vez do poder especial encontrar a IA. A seguinte versa sobre questões normativas atinentes ao emprego militar dessa tecnologia. Por fim, elencam-se algumas sugestões ao caso brasileiro.

1. IA e Poder Aéreo

Conforme Russell e Norvig (2022) e Kissinger, Schmidt e Huttenlocher (2021), o campo da IA vai além de compreender a inteligência; busca, em verdade, construir entidades inteligentes — máquinas capazes de computar formas de agir eficazmente e segura em uma ampla variedade de novas situações. Atualmente, a IA abrange uma grande diversidade de subcampos, que vão desde os mais gerais, como aprendizagem, raciocínio e percepção, até áreas mais específicas, como jogar xadrez, demonstrar teoremas matemáticos, criar poesia, dirigir automóveis e diagnosticar doenças. Trata-se, portanto, de um campo universal, relevante para praticamente qualquer tarefa intelectual.

Assim como a IA redefine a forma de processar informações e de tomar decisões no ciberespaço, o Poder Aeroespacial representou, desde o início do século XX, um marco semelhante na transformação da soberania e da estratégia militar. William “Billy” Mitchell foi um dos primeiros a defender o potencial transformador do poder aéreo, definindo-o como a capacidade de “fazer algo no ou através do ar”, destacando uma dimensão global em que nenhuma parte do planeta estaria imune à sua influência. Embora sua definição inicial não distinguisse usos civis e militares, capturava a essência da versatilidade dessa nova ferramenta (Chun, 2001; Douhet, 2019; Gray, 2012).

Giulio Douhet foi fundamental ao introduzir as ideias de comando e domínio do Ar como objetivo prioritário em qualquer campanha. Para ele, o poder aéreo deveria atuar como força ofensiva independente, recorrendo a bombardeios estratégicos contra centros vitais do inimigo com o uso de aeroplanos de combate. A introdução do avião inaugurou, de acordo com o pensador italiano, uma decisiva “terceira arte da guerra”: a guerra aérea (Douhet, 2019).

Com o avanço tecnológico, o conceito expandiu-se para Poder Aeroespacial, incluindo tanto o ambiente aéreo quanto o espacial na busca por objetivos nacionais. Essa evolução refletiu-se em capacidades e ativos aeroespaciais como velocidades supersônicas, furtividade e mobilidade ampliada, enquanto os sistemas espaciais se tornaram essenciais para comunicações, meteorologia, navegação, alerta precoce, vigilância e inteligência, atuando como verdadeiros habilitadores de operações militares (Chun, 2001). Gray (2012) reforça que, apesar das mudanças tecnológicas, o poder aéreo conserva atributos físicos duradouros, como velocidade, alcance, altura, onipresença, agilidade e concentração, mas também limitações persistentes, como carga restrita, fragilidade, custo elevado, dependência de bases e vulnerabilidade a condições climáticas. Algumas dessas limitações podem ser contrabalanceadas por tecnologias e soluções disruptivas, providas, inclusive, por IA.

Um exemplo paradigmático do uso dessa tecnologia como ativo aéreo é a guerra russo-ucraniana iniciada em 2022. Por exemplo, as forças armadas de Kiev utilizaram IA acopladas em drones para selecionar alvos estratégicos, tais como refinarias de petróleo (DRONES[...], 2024) e aeronaves russas (Adams, 2025).

Gray (2012) argumenta que, embora aplicado no nível tático, o poder aéreo gera efeitos de natureza estratégica, cujo valor se define pelo impacto histórico que produz e não apenas pela sofisticação tecnológica. Dessa forma, a convergência entre as dimensões cibernética e aeroespacial evidencia um cenário em que tecnologia, soberania e dissuasão se tornam indissociáveis, constituindo pilares centrais para a manutenção da supremacia estratégica e para a definição dos rumos da segurança internacional contemporânea.

Mas o uso de IA no ambiente aeroespacial não se restringe ao domínio do Ar; pelo contrário, o domínio do Espaço, como uma das dimensões da guerra (Lonsdale, 1999, *passim*), também apresenta múltiplas opções para o desenvolvimento – e avanço – dessa tecnologia, conforme a seção seguinte.

2. IA e Poder Espacial

As tecnologias espaciais ligadas à IA e associadas ao aprendizado de máquina (ML, de *machine learning*) são uma das principais tendências tecnológicas no setor espacial para o ano de 2025 (Lockheed Martin, 2024). A integração dessas tecnologias aos sistemas espaciais aumenta a velocidade da tomada de decisão, por meio da análise e processamento de dados, incrementando a consciência situacional e a adaptabilidade aos desafios impostos por condições de defesa e segurança.

A título de exemplo, a gigante do setor aeroespacial Lockheed Martin possui 80 programas e projetos ativos que usam IA/ML em sistemas espaciais, algumas em colaboração com a NVIDIA – primeira empresa a ultrapassar os US\$ 4 trilhões em valor de mercado (Vitorio, 2025) –, exemplificando como as empresas estão investindo pesadamente em tais tecnologias, seja por conta própria, seja em parcerias (Lockheed Martin, 2024).

Neste sentido, vê-se que a IA também está impactando o poder espacial, ao incrementar as capacidades dos serviços proporcionados pelas diversas missões espaciais, em particular as de Inteligência, vigilância e reconhecimento (IVR), comunicações satelitais (ComSat) e consciência situacional espacial.

Além disso, a IA também contribui para otimizar o posicionamento de satélites nas suas respectivas constelações, favorecendo seu emprego como um enxame integrado, ao invés de um agrupamento desconexo de satélites (Husain, 2025). Em termos mais técnicos, esses sistemas empregam inteligência diferenciável (*differentiable intelligence*) e ML embarcada, gerando sistema de redes neurais capaz de aprender por inferência a todo momento (Izzo *et al.*, 2022). Desta forma, o emprego destas capacidades não se restringe somente a fins civis e comerciais, mas também a militares, isto é, são duais.

Assim, a IA/ML está transformando a forma de como as missões de observação da Terra acontecem, em particular as relacionadas à IVR. Com os *softwares* de IA/ML embarcados nos satélites, a análise e processamento de imagens já acontece em órbita, reduzindo a necessidade de fazer a transmissão destes dados para as estações terrestres (*downlink*), quando então seriam processadas. Com isso, otimiza-se o uso de telemetrias e acelera-se a identificação das imagens com alvos de maior valor, ao descartar dados desnecessários. Isso ocorre por meio da comparação de imagens do mesmo local e de períodos diferentes, destacando movimentações de interesse, entregando resultados com maior potencial de emprego estratégico. Além do mais, o *software* “aprende” quais são as áreas com maior potencial de ter dados de importância, desconsiderando as informações desnecessárias (Izzo *et al.*, 2022). Por exemplo, o Japão emprega esta capacidade para monitorar a região do Indo-Pacífico, a qual é importante para a sua segurança nacional (Brewster, 2022; Reinecke, Dutcher, 2025).

Um outro exemplo interessante deste uso é o monitoramento de *dark ships*, navios que saem do porto com o seu sistema de identificação (*Automatic Identification System*, AIS) ligado, mas o desligam durante a viagem para que não sejam identificados. Desta forma, eles aproveitam para fazer operações ilegais, como transferência de bens entre navios e pirataria, visando contornar sanções econômicas ou restrições legais. A detecção destes navios e procedimentos se tornou mais viável por meio do emprego de *softwares* de IA/ML como o *Artificial Intelligence Retraining In Space* (AIRIS), da Mitsubishi Heavy Industries (2024). North (2024) explica que esse sistema realiza a análise embarcada das imagens feitas pelo satélite, ao invés de enviá-las para estações terrestres para processamento. A IA identifica as imagens com alvos de interesse, como os *dark ships*, as seleciona e, só então, as transmite, otimizando o tempo de processamento e a quantidade de trânsito de dados. Além disso, a Mitsubishi Heavy Industries (2024) afirma que é possível treinar e retreinar o AIRIS, com base não só em atualizações de *software*, mas também no aprendizado do processo de detecção dos navios, que emprega as imagens satelitais e as cruza também com os dados disponíveis.

Assim como no emprego do poder aéreo, este tipo de emprego de IA para fins de IVR ocorre em conflitos, como na Guerra Russo-ucraniana, para avaliação de danos. Bondar (2024, p. 3, tradução nossa) afirma que as tecnologias de IA são cruciais para os ucranianos nessa tarefa, para a qual também são empregadas imagens de satélite para “análise de danos, perdas e devastação, e para estimar o esforço para a recuperação”. Assim sendo, fica evidente que o emprego de IA otimiza e incrementa as capacidades de IVR dos sistemas espaciais de forma singular e decisiva.

Da mesma forma, a IA também impacta positivamente o emprego das comunicações satelitais, ainda mais quando associada ao ML. Esta combinação melhora a performance dos sistemas espaciais, bem como a sua eficiência e adaptabilidade, para prover serviços que atendam às demandas por conectividade e processamento de dados (Fontanesi *et al*, 2025). Um exemplo é o projeto da Agência Espacial Europeia, chamado *Open Source Satellite* (OPS-SAT), capaz de analisar sua própria telemetria e aplicar correções de transmissão, minimizando a intervenção humana e aumentando a confiança na eficiência da missão espacial (Intersputnik, 2025). Algo semelhante acontece nas missões que provêm capacidades Posicionamento, Navegação e Tempo (PNT), contra as quais se tenta negar ou impedir seu uso por meio de técnicas de *jamming* e *spoofing*, resultando na redução da acurácia do sinal de PNT ou a sua perda total – é o que se nomeia de *Navigation Warfare* (NavWar). Nestes casos, a IA, junto à ML, é empregada para monitorar o sinal de radiofrequência do dispositivo de PNT para identificar variações no sinal que sejam compatíveis com *jamming/spoofing*. Uma vez que seja identificada a possível interferência, o equipamento age para se proteger, meio da troca da frequência de operação, além de avisar o operador e o escalão superior, para que outras medidas possam ser tomadas, como tentar identificar a fonte emissora da interferência, visando neutralizá-la (McKinney, 2025).

As capacidades de Consciência Situacional Espacial também estão se beneficiando das potencialidades da IA. Tran *et al.* (2024) destacam que a IA contribui para integrar dados de sensores terrestres e em órbita a fim de formar um cenário situacional mais completo dos objetos que estão orbitando a Terra. A análise de imagens feita pela IA não só realiza o *data fusion* destes sensores, como também é capaz de identificar detalhes que escapam aos olhos humanos. Além disso, a aplicação do ML permite que se identifique qual sensor é o mais eficiente para determinada tarefa, otimizando, assim, o *sensor tasking* e reduzindo a produção desnecessária de dados e menos relevantes, obtendo-se o resultado pretendido de forma mais objetiva.

Para além das capacidades de sistemas espaciais, a IA também contribui para treinar operadores do poder espacial, como está acontecendo na *United States Space Force* (USSF). A ferramenta *Thinking Agent for Logical Operations and Strategy* (TALOS) emprega IA para simular um ambiente do domínio espacial que seja similar às operações e comportamentos dos sistemas espaciais reais. Além disso, o sistema também é capaz de simular ameaças aos sistemas espaciais (Easley, 2025).

Neste sentido, a IA tem se tornado tão importante para o emprego militar, que forças aeroespaciais, que a USSF, por exemplo, divulgou um Plano de Ação Estratégico para Dados e Inteligência Artificial para o ano de 2025, cujo objetivo principal é garantir a continuidade dos serviços de dados pelos sistemas espaciais (Estados Unidos da América, 2025).

3. Questões normativas atinentes ao emprego militar da IA

A crescente utilização da IA suscita diversos desafios no âmbito do emprego do Poder Aeroespacial, entre os quais se inserem as questões relacionadas à adequação normativa.

Por vezes, as transformações sociais ultrapassam a capacidade de o Direito fornecer respostas ágeis para a estabilização das novas demandas, tanto mais diante de questões envolvendo avanços tecnológicos.

No âmbito do Poder Aeroespacial, a IA promete a possibilidade de maior precisão nas operações militares, o aumento da autonomia de sistemas de combate e a otimização logística e de comunicações. O Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2024-2033/ PCA 11-47/2024 (Comando da Aeronáutica, 2024), diante das novas dinâmicas tecnológicas, prevê ações no sentido de incentivar empreendimentos e iniciativas voltadas ao desenvolvimento de tecnologias críticas, relacionadas ao emprego do Poder Aeroespacial.

Esse mesmo potencial, entretanto, traz em seu bojo desafios de ordem ética e jurídica, em especial no âmbito do Direito Internacional dos Conflitos Armados (DICA). Isso porque as normas em vigor foram construídas em um mundo no qual a guerra não contemplava a possibilidade de utilização de ferramentas destinadas a substituir a presença humana como única fonte de tomada de decisão.

Entre outros aspectos implicados na utilização da IA em operações aeroespaciais, o problema da responsabilidade figura entre um dos mais complexos, pois as normas internacionais, ao limitarem o uso da força, exigem a responsabilização por atos ilícitos, proibindo a utilização de armas que causem sofrimentos desnecessários e, essencialmente, que não sejam capazes de distinguir entre combatentes e não combatentes, a exemplo da Convenção sobre a Proibição do Uso, Armazenamento, Produção e Transferência de Minas Antipessoal e sobre sua Destrução (ONU, 1997).

As minas antipessoal são um demonstrativo de como armamentos podem ser programados para cumprir seu ciclo de funcionamento, independentemente da intervenção humana, mesmo que utilizem um mecanismo simples, como um termostato ou um sensor de movimento. Importante notar, assim, que a IA é um processo em constante aperfeiçoamento, condicionado à utilização de estímulos que auxiliam na tomada de decisão. Buchanan e Miller (2017, p. 5, tradução nossa), esclarecem que:

ao contrário da programação tradicional de *software*, o ML envolve a programação de computadores para aprenderem sozinhos a partir de dados, em vez de instruí-los a realizar determinadas tarefas de determinadas maneiras.

Por conseguinte, a autonomia de uma máquina consiste na respectiva capacidade de realizar uma tarefa ou função por conta própria, no que, em um sistema de arma completamente autônomo, além do sentir, decidir e agir atribuído à máquina, a realização da tarefa ocorre sem a intervenção humana (Scharre, 2018).

Dessa maneira, em uma ação que utilize *drones*, por exemplo, a autonomia atribuída ao sistema irá reivindicar a averiguação da responsabilidade, seja pela coordenação da investida, seja com relação à possibilidade sempre presente de danos colaterais. O problema da autonomia reside, portanto, na possibilidade de a máquina reagir a um falso positivo, quando civis podem tornar-se alvos, uma vez confundidos com um objetivo militar legítimo (Scharre, 2018).

A lacuna normativa observada no direito internacional sobre o uso da IA em contextos como esses consiste, portanto, é uma questão a ser amplamente debatida nas esferas nacional e internacional, a fim de se buscar um padrão minimamente aceitável, no qual o ser humano possa ser preservado. Nesse sentido, o Comitê Internacional da Cruz Vermelha (CICV) aponta para as preocupações decorrentes do uso indiscriminado da IA, destacando a necessidade de se firmarem iniciativas voltadas a promover diálogos a respeito, especialmente vocacionados à criação de um possível acordo internacional acerca do tema (Stewart; Hinds, 2023).

Entre os instrumentos internacionais que tangenciam o problema da responsabilidade encontra-se o Manual de Tallinn 2.0 (OTAN, 2017, tradução nossa), focado essencialmente nas questões das operações cibernéticas, estabelecendo na Regra 6 que “um Estado tem responsabilidade jurídica internacional por uma operação cibernética que lhe seja atribuível e que constitua uma violação de uma obrigação internacional”. A despeito da relevância do Manual

de Tallinn como uma referência para uma possível regulação do uso da IA no contexto dos conflitos armados, sua abrangência é limitada, pois não detém o *status* de tratado internacional.

Diante dos dilemas decorrentes das lacunas normativas relacionadas ao emprego da IA, cumpre a observância das regras atualmente em vigor, adequadas, na medida das possibilidades, à necessidade, por exemplo, da delimitação da responsabilidade por ataques malsucedidos.

4. Recomendações para o Brasil

O Brasil possui iniciativas relevantes no que se refere à IA, havendo, inclusive, estratégias ministeriais para direcionar as iniciativas e o desenvolvimento desta tecnologia no País, como a Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (EBIA), lançada em 2021 (Brasil, 2021). Entretanto, considera-se importante o País estabelecer uma Estratégia desse tipo voltada especificamente para o setor espacial, com foco nas aplicações duais – civis e militares. Assim como os Estados Unidos da América, um documento deste tipo evidenciaria a centralidade da IA para o desenvolvimento de capacidades disruptivas no domínio espacial, que busquem garantir a continuidade e a resiliência dos serviços prestados por sistemas espaciais. Uma política brasileira nessa direção poderia contemplar diretrizes para a pesquisa e desenvolvimento (P&D), além do uso seguro e soberano de IA/ML em satélites de observação, comunicações, navegação e consciência situacional, incentivando, ainda, parcerias com atores privados e instituições científicas nacionais e internacionais.

Espera-se também priorizar investimentos em constelações satelitais equipadas com IA/ML embarcadas, a fim de reduzir a dependência das estações de solo para processamento de dados e aumentar a autonomia operacional dos sistemas espaciais, como faz o AIRIS, já mencionado neste artigo. Atualmente, o Brasil depende de *downlink* para realizar estas análises, o que representa uma desvantagem tática e estratégica, em termos militares, por exemplo. A incorporação de IA embarcada em satélites nacionais, existentes e futuros, pode reduzir um gargalo técnico e operacional da Defesa Espacial brasileira, e deve ser considerado por empresas estratégicas do setor aeroespacial brasileiro como a Visiona e a Alada.

Para além das questões de operação de sistemas espaciais, a Estratégia também deveria incentivar o uso de IA para o treinamento dos operadores espaciais. Desta forma, buscar-se-ia implementar ambientes de simulação com IA, para aumentar a qualificação técnica e a capacidade de resposta frente a cenários complexos e ameaças emergentes, como a ferramenta TALOS. É importante destacar que estes simuladores também são importantes para o planejamento de missões e o desenvolvimento e validação de doutrina. É uma empreitada que o País poderia pesquisar e desenvolver por meio de parcerias entre o Ministério da Defesa, a Agência Espacial Brasileira (AEB), Universidades Federais e Força Aérea Brasileira (FAB), garantindo a preparação de operadores para um ambiente espacial crescentemente automatizado e contestado.

Considerações finais

Apesar de apresentar capacidades superiores à mente humana em determinados aspectos — como tomar decisões, formular conclusões e realizar previsões —, a IA não possui consciência, sentimentos, ética ou valores, tampouco superou plenamente os seres humanos, cujo potencial permanece desconhecido pela ciência. Ademais, os sistemas de IA são imprecisos, inconsistentes, dinâmicos, emergentes e sujeitos a erros, ainda que sejam capazes de aprender continuamente. Em algumas situações, confundem objetos que qualquer ser humano distinguiria de forma rápida e simples, exigindo que seus resultados sejam reexaminados. Assim, tanto a IA quanto o Poder Aeroespacial representam mudanças paradigmáticas na forma de exercício do poder e da segurança.

De um lado, a IA amplia a capacidade de análise, previsão e tomada de decisão, ao mesmo tempo em que introduz vulnerabilidades decorrentes de sua imprevisibilidade e dependência de dados. Kissinger, Schmidt e Huttenlocher (2021) salientam que a ascensão da IA desloca o ser humano de seu papel exclusivo de intérprete e controlador da realidade, impondo novos desafios para a autonomia e a soberania. De outro lado, o Poder Aeroespacial assegura superioridade estratégica ao proporcionar maior alcance, mobilidade e letalidade, ainda que permaneça sujeito a limitações como custo elevado, dependência de infraestrutura e vulnerabilidade a condições ambientais.

A crescente integração da IA e ML aos sistemas espaciais está transformando profundamente o modo como o poder espacial é exercido, ampliando sua eficácia, autonomia e capacidade de resposta frente a desafios contemporâneos. Como demonstram os casos de Japão, Europa, Estados Unidos e Ucrânia, essas tecnologias já são empregadas de forma operacional em áreas críticas como IVR, comunicações satelitais, PNT, Consciência Situacional Espacial e treinamento de operadores.

Diante desse cenário, torna-se evidente que o Brasil precisa acelerar sua inserção nesse movimento, adotando políticas públicas específicas, fomentando a inovação nacional e promovendo sinergias entre defesa, academia e setor produtivo – tríplice hélice da inovação. O domínio dessas tecnologias não é apenas uma questão de modernização tecnológica, mas, sim, um fator decisivo para a soberania e a relevância do País no cenário espacial internacional.

Diante da rápida evolução das capacidades associadas à IA no domínio espacial, é fundamental que o Brasil avance de forma coordenada e estratégica no desenvolvimento e aplicação dessas tecnologias. Embora o País já possua uma diretriz nacional voltada à IA, a ausência de uma estratégia específica para o setor espacial representa uma lacuna que pode comprometer a competitividade e a autonomia nacional. A formulação de uma política dedicada permitiria alinhar esforços civis e militares em torno de objetivos comuns, promovendo inovação, soberania tecnológica e maior eficiência operacional. A experiência internacional

demonstra que a IA embarcada, o uso de algoritmos para IVR, a proteção dos sinais de PNT e o emprego de ambientes de simulação para formação de operadores são medidas viáveis e altamente impactantes. Portanto, a adoção de uma Estratégia Brasileira de IA para o Setor Espacial não é apenas oportuna, mas necessária para posicionar o Brasil como um ator relevante e resiliente no cenário espacial global.

Importante lembrar, finalmente, que a normatividade almejada não pode passar ao largo da ética intrinsecamente emaranhada na conformação da aplicação das regras do DICA, pois, conforme aduz Asaro (2012), o principal problema decorrente do uso de sistemas de armas letais autônomos reside na violação de direitos e da dignidade humana. Nesse sentido, defende o autor, a indispensável necessidade de manutenção da intervenção humana no processo de automação das máquinas, de maneira a não se delegar à IA a plena capacidade de decidir, mesmo porque, o ML não é capaz de nela inculcar os primados da ética e da justiça.

Referências

- ADAMS, Paul. Ataque de drones da Ucrânia: como a operação surpresa contra a Rússia muda a guerra. BBC, 5 jun. 2025. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cqj7py14dplo>. Acesso em: 6 ago. 2025.
- ASARO, Peter. On banning autonomous weapon systems: Human rights, automation, and the dehumanization of lethal decision-making. **International Review of the Red Cross**, v. 94, n. 886, p. 687-709, 2012.
- BONDAR, Kateryna. Understanding the Military AI Ecosystem of Ukraine. **Center for Strategic and International Studies**, 2024. Disponível em: https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/2024-11/241112_Bondar_Ukraine_Military.pdf. Acesso em: 30 jul. 2025.
- BREWSTER, David. New satellite-based technologies a game changer for Indo-Pacific maritime security. Australian Strategic Policy Institute. **The Strategist**, 2022. Disponível em: <https://www.aspistrategist.org.au/new-satellite-based-technologies-a-game-changer-for-indo-pacific-maritime-security>. Acesso em: 6 jul. 2025.
- BUCHANAN, Ben; MILLER, Taylor. **Machine Learning for Policymakers**: What It Is and Why It Matters. Cambridge, MA: Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, 2017. Disponível em: <https://www.belfercenter.org/publication/machine-learning-policymakers>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- CHUN, Clayton K. S. **Aerospace power in the twenty-first century**: a basic primer. Colorado Springs: United States Air Force Academy; Maxwell Air Force Base: Air University Press, 2001.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2024-2033 (PCA 11-47/2024)**. Brasília, DF: Comando da Aeronáutica, 2024. Disponível em: https://www.fab.mil.br/Download/arquivos/PEMAER_2024_2033.pdf. Acesso em: 11 ago. 2025.

Brasil. Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (EBIA). Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosinteligenciaartificial/ebia-documento_referencia_4-979_2021.pdf. Acesso em: 30 jul. 2025.

DOUHET, Giulio. **The command of the air**. Tradução: Dino Ferrari. Maxwell AFB: Air University Press, Curtis E. LeMay Center for Doctrine Development and Education, 2019.

DRONES de longo alcance: Ucrânia usa IA para atingir refinarias de petróleo. **Uol**, São Paulo, 3 abr. 2024. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/internacional/ultimas-noticias/2024/04/03/ucrania-usa-drones-com-ia-para-atingir-industria-energetica-da-russia.htm>. Acesso em: 6 ago. 2025.

EASLEY, Mikayla. Slingshot's new AI-enabled tool helps Space Force train for satellite ops. Space. DefenseScoop. 2025. Disponível em: <https://defensescoop.com/2025/07/29/space-force-ai-training-satellite-operations-slingshot-aerospace-talos/>. Acesso em: 30 jul, 2025.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. **Data and Artificial Intelligence FY 2025 Strategic Action Plan**. United States Space Force, 2025. Disponível em: https://www.spaceforce.mil/Portals/2/Documents/SAF_2025/USSF_Data_and_AI_FY2025_Strategic_Action_Plan.pdf. Acesso em: 30 jul. 2025.

FONTANESI, Gianluca *et al.* Artificial Intelligence for Satellite Communication: a Survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, 2025. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10886927>. Acesso em: 30 jul. 2025.

GRAY, Colin S. **Airpower for strategic effect**. Maxwell Air Force Base: Air University Press, Air Force Research Institute, 2012.

HUSAIN, Amir. The military applications of artificial intelligence in space. **Forbes**, 19 ago. 2024. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/amirhusain/2024/08/19/the-military-applications-of-artificial-intelligence-in-space/>. Acesso em: 30 jul. 2025.

INTERSPUTNIK. Artificial Intelligence and Modern Satellite Communications. 2025. Disponível em: <https://www.intersputnik.int/member-directory/?post=artificial-intelligence-and-modern-satellite-communications>. Acesso em: 30 jul. 2025.

IZZO, Dario; MEONI, Gabriele; GÓMEZ, Pablo; DOLD, Dominik; ZOECHBAUER, Alexander. Selected Trends in Artificial Intelligence for Space Applications. In: MADI, MATTEO; SOKOLOVA, Olga (Ed.). **Artificial Intelligence for Space: AI4SPACE**. Boca Raton: CRC Press, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781003366386>. Acesso em: 30 jul. 2025.

KISSINGER, Henry A.; SCHMIDT, Eric; HUTTENLOCHER, Daniel. **The age of AI**: and our human future. New York: Little, Brown and Company, 2021.

LOCKHEED MARTIN. Top 10 ‘Out of this World’ Space Technology Trends for 2025. News Hub. Lockheed Martin. 2024. Disponível em: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2024/space-technology-trends-2025.html>. Acesso em: 30 jul. 2025.

LONSDALE, David. Information power: Strategy, geopolitics, and the fifth dimension. **Journal of Strategic Studies**, v. 22, n. 2-3, p. 137-157, 1999.

MCKINNEY, Brooks. Artificial Intelligence helps protect troops in denied GPS Environments. Northrop Grumman, 2025. Disponível em: <https://www.northropgrumman.com/what-we-do/mission-solutions/artificial-intelligence-and-machine-learning/protects-troops-in-denied-gps-environments>. Acesso em: 30 jul. 2025.

mitsubishi heavy industries. MHI Develops an Onboard AI-Based Object Detector Utilizing a Next-Generation Space-Grade MPU. 2024. Disponível em: <https://www.mhi.com/news/240306.html>. Acesso em: 30 jul. 2025.

NORTH, Madeleine. How AI can help satellites track 'dark ships' from space. **Home. Spectra**, 2024. Disponível em: <https://spectra.mhi.com/how-ai-can-help-satellites-track-dark-ships-from-space>. Acesso em: 30 jul. 2025.

ONU. **Anti-Personnel Landmines Convention**. Ottawa: UNODA, 1997. Disponível em: <https://disarmament.unoda.org/anti-personnel-landmines-convention/>. Acesso em: 11 ago. 2025.

OTAN. NATO COOPERATIVE CYBER DEFENCE CENTRE OF EXCELLENCE. **Tallinn manual 2.0 on the international law applicable to cyber operations**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/books/tallinn-manual-20-on-the-international-law-applicable-to-cyber-operations/E4FFD83EA790D7C4C3C28FC9CA2FB6C9>. Acesso em: 7 ago. 2025.

REINECKE, Adriana; DUTCHER, Mizumi Fujita. The Possibilities for Quad Cooperation in Space. **The Diplomat**. Asia Defense. Security. 2025. Disponível em: <https://thediplomat.com/2023/05/the-possibilities-for-quad-cooperation-in-space/>. Acesso em: 6 jul. 2025.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**: uma abordagem moderna. Tradução: Daniel Vieira e Flávio Soares Corrêa da Silva. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC/GEN, 2022.

SCHARRE, Paul. **Army of none**: autonomous weapons and the future of war. New York: W. W. Norton & Company, 2018.

STEWART, Ruben; HINDS, Georgia. Algoritmos da guerra: uso de inteligência artificial para tomar decisões em conflitos armados. **Humanitarian Law & Policy Blog**, 1 dez. 2023. Disponível em: <https://blogs.icrc.org/law-and-policy/pt-br/2023/12/01/algoritmos-da-guerra-uso-de-inteligencia-artificial-para-tomar-decisoes-em-conflitos-armados/>. Acesso em: 11 ago. 2025.

TRAN, Jonathan; PURI, Prateek; LOGUE, Jordan; JACQUES, Anthony; ZHANG, Li Ang; LANGELAND, Krista; NACOUIZI, George; BRIGGS, Gary J. Artificial Intelligence and Machine Learning for Space Domain Awareness: the development of two Artificial Intelligence case studies. Rand Corporation. 2024. Disponível em: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RRA2300/RRA2318-2/RAND_RRA2318-2.pdf. Acesso em: 30 jul. 2025.

VITORIO, Tamires. Como a Nvidia alcançou os US\$ 4 trilhões e se tornou a empresa mais valiosa do mundo. Exame. Invest. 2025. Disponível em: <https://exame.com/invest/mercados/como-a-nvidia-alcancou-os-us-4-trilhoes-e-se-tornou-a-empresa-mais-valiosa-do-mundo>. Acesso em: 7 ago. 2025.