O Boletim de Conjuntura (BOCA) publica ensaios, artigos de revisão, artigos teóricos e empíricos, resenhas e vídeos relacionados às temáticas de políticas públicas.

O periódico tem como escopo a publicação de trabalhos inéditos e originais, nacionais ou internacionais que versem sobre Políticas Públicas, resultantes de pesquisas científicas e reflexões teóricas e empíricas.

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratizacão mundial do conhecimento.



BOLETIM DE CONJUNTURA

BOCA

Ano VII | Volume 21 | Nº 62 | Boa Vista | 2025

http://www.ioles.com.br/boca

ISSN: 2675-1488

https://doi.org/10.5281/zenodo.14868747

BOLETIM DE CONJUNTURA

www.ioles.com.br/boca

TENDÊNCIAS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À DEFESA: FORÇAS, FRAQUEZAS, OPORTUNIDADES E AMEAÇAS PARA O BRASIL

Hebert Azevedo Sá[1]

Rômullo Girardi[2]

Julio Cesar Duarte[3]

Juraci Ferreira Galdino[4]

Resumo

Os governos das principais potências mundiais vêm impulsionando o desenvolvimento da Inteligência Artificial (IA), em razão das inovações disruptivas que podem surgir da aplicação desse paradigma tecnológico em todas as expressões do Poder Nacional. Nesse diapasão, este artigo objetiva compreender o estado da arte relacionado à aplicação da IA no contexto militar, a partir de uma análise quantitativa e qualitativa de dados secundários de produção científica e tecnológica, bem como de relatórios técnicos e registros de notícias. Com base nessa compreensão do cenário atual, verificou-se um crescimento significativo da aplicação da IA na defesa desde 2018, com destaque para China e EUA. No Brasil, mesmo com as tentativas recentes de priorização de pesquisa e desenvolvimento em IA pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), a produção científico-tecnológica nessa área ainda é modesta, sobretudo no setor de defesa. Dessa forma, forças, fraquezas, oportunidades e ameaças (análise SWOT) associadas ao desenvolvimento da IA no contexto da defesa nacional são discutidas no sentido de identificar desafios estruturais e estratégicos que precisam ser superados e recomendar ações efetivas para garantir a competitividade e soberania do Brasil no cenário internacional.

Palavras-chave: Brasil; Defesa; Exército Brasileiro; Inteligência Artificial.

Abstract

The governments of the world's major powers have been driving the development of Artificial Intelligence (AI) due to the disruptive innovations that may arise from the application of this technological paradigm across all expressions of National Power. In this context, this article aims to understand the state of the art regarding the application of AI in the military domain through a quantitative and qualitative analysis of secondary data on scientific and technological production, as well as technical reports and news' records. Based on this understanding of the current scenario, a significant increase in AI applications in defense has been observed since 2018, with China and the U.S. standing out. In Brazil, despite recent efforts by the Ministry of Science, Technology, and Innovation (MCTI) to prioritize research and development in AI, scientific and technological output in this field remains modest, particularly in the defense sector. Therefore, strengths, weaknesses, opportunities, and threats (SWOT analysis) associated with AI development in the National Defense context are discussed to identify structural and strategic challenges that must be overcome and to recommend effective actions to ensure Brazil's competitiveness and sovereignty in the international arena.

Keywords: Artificial Intelligence; Brazil; Brazilian Army; Defense.

[1] Docente do Instituto Militar de Engenharia (IME). Doutor em Robótica. E-mail: azevedo@ime.eb.br

[2] Doutorando em Engenharia de Defesa pelo Instituto Militar de Engenharia (IME). E-mail: romullogirardi@ime.eb.br

[3] Chefe da Divisão de Ensino e Pesquisa do Instituto Militar de Engenharia (IME). Doutor em Informática. E-mail: duarte@ime.eb.br

[4] Comandante e Reitor do Instituto Militar de Engenharia (IME). Doutor em Engenharia Elétrica. E-mail: galdino.juraci@eb.mil.br

INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) é a área do conhecimento onde técnicas matemáticas inspiradas no comportamento (inteligente) de seres humanos e animais são investigadas para a solução de problemas. Tais técnicas são utilizadas para o desenvolvimento de novas máquinas inteligentes que tenham o potencial de impactar todos os setores da sociedade, inclusive as atividades predominantemente militares.

Exemplos clássicos de aplicações da IA incluem os algoritmos de controle embarcados em robôs, como veículos autônomos e drones, e os sistemas de simulação e apoio à decisão. No entanto, os avanços mais recentes das técnicas generativas baseadas em aprendizado profundo, do inglês *deep learning,* prometem tornar as aplicações de IA ainda mais abrangentes e surpreendentes. A recente popularização dos grandes modelos de linguagem, do inglês *large language models* (LLM), trouxe aplicações para tarefas corriqueiras do dia a dia e vem mudando a percepção geral sobre a importância da IA, tanto pelo público comum quanto para grandes atores globais governamentais ou não-governamentais.

Nos campos de defesa e segurança, as possibilidades de aplicação de técnicas de IA são diversas. A expectativa comum é de que a IA revolucionará a condução da guerra. Previsões mais inquietantes indicam o surgimento e a proliferação em massa de tecnologias como armamentos letais autônomos e enxames de robôs e drones. No entanto, operações recentes mostram que as aplicações de IA mais próximas da realidade atual estão relacionadas com o aumento do poder de processamento de informações que proveem consciência situacional aos combatentes. Grandes empresas tradicionais e *startups* mais recentes do ramo de tecnologias de defesa têm recebido investimentos vultosos para incluir funcionalidades de IA em seus produtos de emprego militar.

Tal percepção justifica esforços de elucidação do tema, uma vez que se mostra premente o posicionamento do Brasil no cenário global de inovação tecnológica em defesa, especialmente frente ao ritmo acelerado dos avanços em IA. Compreender as tendências na produção científica e tecnológica, bem como as aplicações militares atuais da IA e seus desafios éticos, permite identificar caminhos estratégicos para fortalecer a Expressão Militar do Poder Nacional e preservar nossa soberania.

Nesse diapasão, este artigo objetiva compreender o estado da arte relacionado à aplicação da IA no contexto militar, a partir de uma análise quantitativa e qualitativa de dados secundários de produção científica e tecnológica, bem como de relatórios técnicos e registros de notícias. Com base nessa compreensão do cenário atual, o estudo também visa discutir forças, fraquezas, oportunidades e ameaças (análise SWOT) no âmbito da defesa nacional.

Balizado pelos objetivos supracitados, o artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta um referencial teórico sobre a IA aplicada à defesa. A Seção 3 aborda os aspectos metodológicos empregados na pesquisa. A Seção 4 apresenta e discute resultados e aspectos relevantes identificados ao longo do estudo. Por fim, as considerações conclusivas são postas na Seção 5, com o apontamento de questões em aberto para trabalhos futuros.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

A IA engloba o estudo e concepção de agentes inteligentes, onde um agente inteligente é um sistema que percebe seu ambiente e realiza ações que maximizam suas chances de sucesso (RUSSELL; NORVIG, 2020). Trata-se de uma área do conhecimento que tem evoluído rapidamente, tornando-se um ponto focal de competição internacional e de pesquisas interdisciplinares (KRAKOWSKI; LUGER; RAISCH, 2023; LIU; CHEN, 2024).

A evolução da IA tem sido moldada por dois paradigmas principais: simbolismo e conexionismo. O simbolismo é baseado na manipulação de símbolos e regras lógicas para representar conhecimento e resolver problemas, tendo como principal característica a alta "explicabilidade" (do inglês, *explainability*) dos sistemas desenvolvidos, apesar da baixa flexibilidade e complexidade. O simbolismo, muito caracterizado pelo uso de sistemas especialistas, dominou a IA até o final da década de 1980. Posteriormente, especialmente com o avanço das redes neurais artificiais, o conexionismo ganhou destaque. Os sistemas conexionistas são treinados com bases em dados preexistentes, de forma a identificarem padrões sem a necessidade do preestabelecimento de regras lógicas. Ao contrário dos sistemas de IA simbólica, os sistemas conexionistas costumam possuir baixa explicabilidade e maior flexibilidade, sendo capazes de identificar e representar padrões mais complexos. A tendência atual sugere a necessidade de integrar esses paradigmas para desenvolver uma IA mais robusta e explicável, denominada terceira geração da IA, que combina os pontos fortes de ambas as abordagens (ZHANG; ZHU; SU, 2023).

Os últimos anos foram marcados por um aumento exponencial do uso de sistemas de IA, em especial de modelos generativos. Essa evolução foi impulsionada por avanços científico-tecnológicos no desenvolvimento de redes neurais profundas (*deep learning*), de modelos fundacionais e da infraestrutura computacional. Esse crescimento tem impactado diversas áreas, desde a criação de conteúdo digital até aplicações em pesquisa científica e produtividade empresarial (BENAICH; HOGART, 2022). Diferentes ferramentas digitais, em geral, baseadas em modelos de grande escala, vêm sendo adotadas massivamente para a automação de tarefas e para a potencialização da criatividade

de maneira assistida. O desenvolvimento de diversas áreas do conhecimento e das atividades humanas vem sendo fortalecido pelo uso da IA, como é o caso das práticas jurídicas (GOMES; GOMES; DOLIVEIRA, 2024), da medicina (NASCIMENTO *et al.*, 2024; FERREIRA; OLIVEIRA; PAULA; JORGE, 2024) ou da educação formal (TEODORO; GOMES; SILVA, 2023).

Para além do uso de modelos generativos, os sistemas de IA que analisam, classificam, otimizam e tomam decisões com base em dados existentes, chamados de não generativos, são fundamentais para uma ampla gama de aplicações (RUSSELL; NORVIG, 2020). Suas principais funções incluem classificação e categorização, como na detecção de *spam* ou de fraudes financeiras, além do reconhecimento de padrões, fundamental para prever falhas em sistemas industriais e tendências de mercado. Além disso, a IA não generativa é amplamente utilizada em sistemas de recomendação, personalizando conteúdos em plataformas como as de *streaming*, por exemplo. No setor empresarial, a IA não generativa otimiza processos de tomada de decisão, gerenciando estoques, logística e a dinâmica de preços. A IA não generativa se destaca também no processamento de linguagem natural, analisando sentimentos com base nos conteúdos publicados em redes sociais e extraindo informações de textos. Outro campo importante da IA não generativa é a visão computacional, usada na robótica, no reconhecimento facial, e na segurança e controle de qualidade em fábricas. Além disso, sua aplicação em sistemas de diagnóstico e previsão melhora a detecção precoce de doenças, previsão do tempo e manutenção preditiva em indústrias (RUSSELL; NORVIG, 2020).

O desenvolvimento da IA enfrenta vários desafios, incluindo segurança, confiabilidade, justiça, robustez e consumo de energia. À medida que os sistemas de IA evoluem de inteligência limitada para superinteligência, esses desafios exigirão novas perspectivas e soluções. A resolução dessas questões é crucial para o desenvolvimento da inteligência em nível humano e para o *design* de sistemas inteligentes (SAGHIRI *et al*., 2022).

IA APLICADA À DEFESA

A IA tem sido cada vez mais incorporada aos sistemas de defesa, proporcionando avanços significativos no processamento de dados, na tomada de decisões e na eficiência operacional. Essa integração visa enfrentar desafios complexos da guerra moderna e aproveitar o progresso tecnológico para garantir vantagens estratégicas (RASHID *et al*., 2023). Grandes empresas tradicionais e *startups* mais recentes do ramo de tecnologias de defesa têm recebido investimentos vultosos para incluir funcionalidades de IA em seus produtos de emprego militar (BENAICH; HOGART, 2022).

Um exemplo é o uso de um copiloto baseado em IA no avião espião *Lockheed U-2* anunciado em 2020 (HRISTOVA, 2022). Outro exemplo que chama a atenção é o da empresa alemã *Helsing AI*, que se apresenta como "um novo tipo de companhia de defesa" e que, em um período de aproximadamente dois anos de existência, recebeu investimentos da ordem de 340 milhões de dólares americanos (HELSING, 2024). Mais um aporte emblemático foi o de 1,5 bilhões de dólares, realizado pelo governo dos Estados Unidos na *Anduril Industries*, empresa americana de produtos de defesa que desenvolve tecnologias com IA para agências militares e de vigilância de fronteiras (MASLEJ *et al*., 2023). O Governo Chinês, consciente da criticidade do assunto, estabeleceu o objetivo estratégico de que a China se torne líder em IA até o ano de 2030 (KANIA, 2017). Buscando fortalecer as iniciativas norte-americanas em IA, a nova administração do Governo dos Estados Unidos acaba de anunciar o investimento de 500 bilhões de dólares na criação da *Stargate*, uma *joint venture* liderada pelas *big techs* *OpenAI*, *Oracle* e *SoftBank* (G1, 2025).

A IA tem ampla aplicação em diferentes áreas e tecnologias relacionadas a atividades militares. Métodos avançados de segmentação de imagem têm sido aplicados para identificar alvos em ambientes complexos, facilitando o reconhecimento militar. Além disso, técnicas baseadas em sistemas de inferência *fuzzy* vêm sendo utilizadas para classificar e identificar veículos militares, como tanques e blindados. Algoritmos de detecção automática de alvos têm demonstrado alta eficiência ao processar imagens de sensores ópticos, permitindo a identificação precisa de unidades terrestres. O uso de redes neurais também tem impulsionado o reconhecimento automático de alvos em imagens aéreas captadas por radares de abertura sintética, atingindo altos níveis de precisão. Adicionalmente, o desenvolvimento de robôs militares equipados com visão computacional tem possibilitado a detecção e rastreamento autônomo de alvos, incluindo a simulação de disparos em sistemas de armas automatizados (KONG; WANG; ZHAO, 2022).

O treinamento militar também se beneficia da utilização de técnicas de IA para o desenvolvimento de simulações. A simulação de campos de batalha e os jogos de guerra são amplamente utilizados em treinamentos militares, sendo as chamadas "forças geradas por computador", elementos fundamentais de sistemas de comando e controle (C2) inteligentes. Por décadas, as instituições militares dos EUA têm investido no desenvolvimento de um sistema tático de C2 inteligente, com projetos notáveis como *Deep Green*, o *Commanders' Virtual Staff* e o *Real-time Adversarial Intelligence and Decision-making (RAID)*. Especificamente, o RAID, desenvolvido pela DARPA, combina modelagem, teoria dos jogos, teoria do controle e aprendizado de máquina. Operando no nível tático, o sistema auxilia comandantes militares a estimar a posição, força e intenções do inimigo, permitindo a formulação de estratégias adaptativas. Além do RAID, a DARPA também

desenvolveu o *Air Combat Evolution* (ACE), que envolve oito organizações do *Autonomy Research Collaboration Network* (ARCNet), incluindo a *Soar Tech*, a *Lockheed Martin* e a *Heron Systems*, para conduzir testes de combate aéreo virtual com IA. O objetivo do projeto é criar um agente de IA capaz de ganhar a confiança humana e atuar como um membro de uma equipe híbrida homem-máquina. Segundo o gerente do programa ACE, cada equipe participante oferece abordagens únicas para o desenvolvimento de algoritmos, tornando a competição final promissora, enquanto o roteiro tecnológico do projeto permanece em aberto (ZHANG; DAI; ZHANG; WANG; CHEN; ZHOU, 2020).

Apesar dos benefícios, a adoção da IA na defesa levanta desafios significativos, como implicações éticas, preocupações com a privacidade dos dados e riscos de uso indevido. A complexidade dos sistemas baseados em IA pode introduzir novas vulnerabilidades, exigindo inteligência de ameaças robusta e mecanismos de defesa adaptáveis (FAMILONI, 2024; WENG; WU, 2024). A falta de transparência nos processos decisórios da IA pode comprometer o desempenho de modelos de detecção, destacando a necessidade de abordagens explicáveis para IA (LI *et al*., 2022).

METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem quantitativa e qualitativa, utilizando três fontes de dados secundários: repositórios de artigos científicos, bancos de patentes e fontes de relatórios técnicos e registros de notícias (BOOTH; SUTTON; PAPAIOANNOU, 2016; CAUCHICK-MIGUEL *et al*., 2018). A análise de produção científica e tecnológica seguiu uma abordagem quantitativa, enquanto a análise de relatórios técnicos e registros de notícias adotou um método qualitativo.

A coleta e análise de produção científica foram estruturadas a partir do planejamento de uma pesquisa bibliométrica (SALINAS-RÍOS; GARCÍA LÓPEZ, 2022), que envolveu a definição da base de dados *Scopus* (ELSEVIER, 2024) como fonte principal. As bases *Scopus* e *Web of Science* possuem coberturas e funcionalidades similares (ÖCHSNER, 2013), mas a *Scopus* apresentou maior volume de documentos no período pesquisado (dezembro de 2024). A estratégia de busca considerou termos relacionados à IA e à área militar aplicados nos títulos, resumos e palavras-chave dos documentos. A busca retornou 9.963 documentos na base *Scopus*. Após refinamento, 14 documentos foram removidos por tratarem de erratas ou retratações, resultando na coleção final de 9.949 publicações científicas. A análise foi realizada utilizando ferramentas da plataforma *Scopus* e do *software Bibliometrix*, uma biblioteca da linguagem R para apoiar estudos bibliométricos (ARIA; CUCCURULLO, 2017). As quatro etapas da coleta e análise de dados de produção científica seguem representadas resumidamente na Figura 1, e os resultados apresentados na Seção 3.1.

Figura 1 – Coleta e análise de dados de produção científica



Fonte: Elaboração própria.

A coleta e análise de dados de produção tecnológica seguiu metodologia semelhante, com o planejamento da pesquisa patentária baseado na base de dados *Lens*, que integra conhecimento acadêmico e patentário para apoiar pesquisas ligadas à ciência e tecnologia (LENS, 2024). Segundo Pires *et al*. (2020), o *Lens* é a plataforma gratuita mais completa para estatísticas de patentes (PIRES; RIBEIRO; QUINTELLA, 2020). A estratégia de busca aplicou termos ligados à IA e à área militar nos títulos, resumos e reivindicações de patentes, retornando 690 documentos (coleta em dezembro de 2024). Após refinamento, 27 patentes foram removidas por estarem descontinuadas ou rejeitadas, resultando na coleção final de 663 documentos patentários. A análise dos dados foi realizada com ferramentas das plataformas *Lens* e *Patentscope* (BRASIL, 2024a). A *Patentscope* é a base de dados da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI, ou WIPO em inglês). Ela oferece acesso gratuito a documentos de patente dos Estados-membros e organizações regionais da OMPI, incluindo os pedidos depositados via PCT (Tratado de Cooperação em matéria de Patentes) (BRASIL, 2024a). As quatro etapas da coleta e análise de dados de produção tecnológica seguem representadas resumidamente na Figura 2, e os resultados apresentados na seção posterior.

Figura 2 – Coleta e análise de dados de produção tecnológica



Fonte: Elaboração própria.

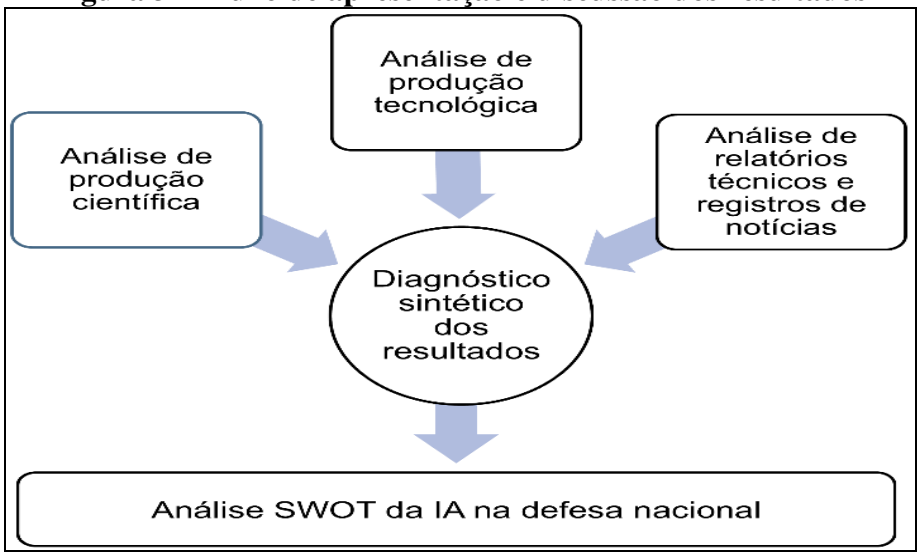
Os relatórios técnicos analisados incluem estudos prospectivos sobre IA na defesa, como o *AI Index Report* da Universidade de *Stanford* e publicações da OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte) e do SIPRI (*Stockholm International Peace Research Institute*). O conteúdo desses relatórios foi complementado com informações publicadas em veículos de notícias. A análise desses dados seguiu uma abordagem qualitativa (BOOTH; SUTTON; PAPAIOANNOU, 2016; CAUCHICK-MIGUEL *et al*., 2018), e os resultados são apresentados na Seção 3.3.

Por fim, a análise global dos resultados empregou a abordagem metodológica SWOT (GÜREL, 2017), permitindo a identificação de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças associadas à aplicação da IA no cenário nacional de defesa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados conforme a segmentação utilizada na Seção 3, a saber: produção científica, produção tecnológica e relatórios técnicos/registros de notícias. Após isso, é sintetizado um diagnóstico que embasa a análise SWOT associada à aplicação da IA na defesa nacional. O fluxo de apresentação e discussão dos resultados segue representado resumidamente na Figura 3.

Figura 3 – Fluxo de apresentação e discussão dos resultados



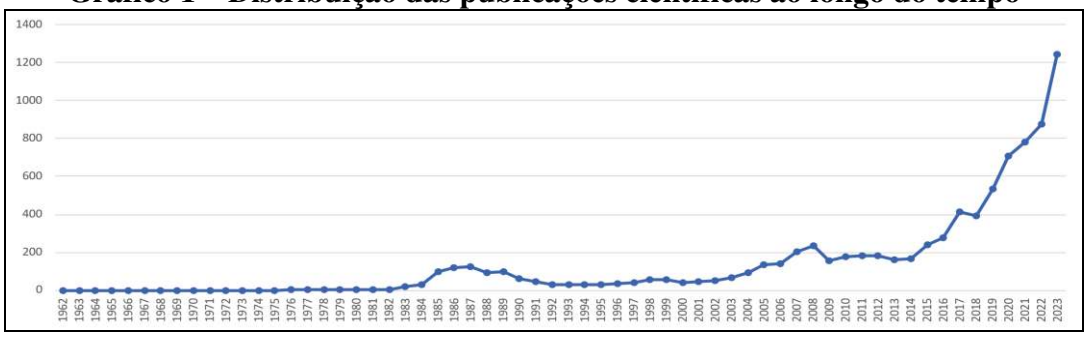
Fonte: Elaboração própria.

Produção científica

A pesquisa obteve publicações científicas desde o ano de 1962. Desconsiderando o ano da coleta dos dados (2024), o Gráfico 1 permite identificar um aumento expressivo no número de publicações a

partir do ano de 2018, mostrando uma tendência de crescimento da aplicação da IA no contexto da defesa.

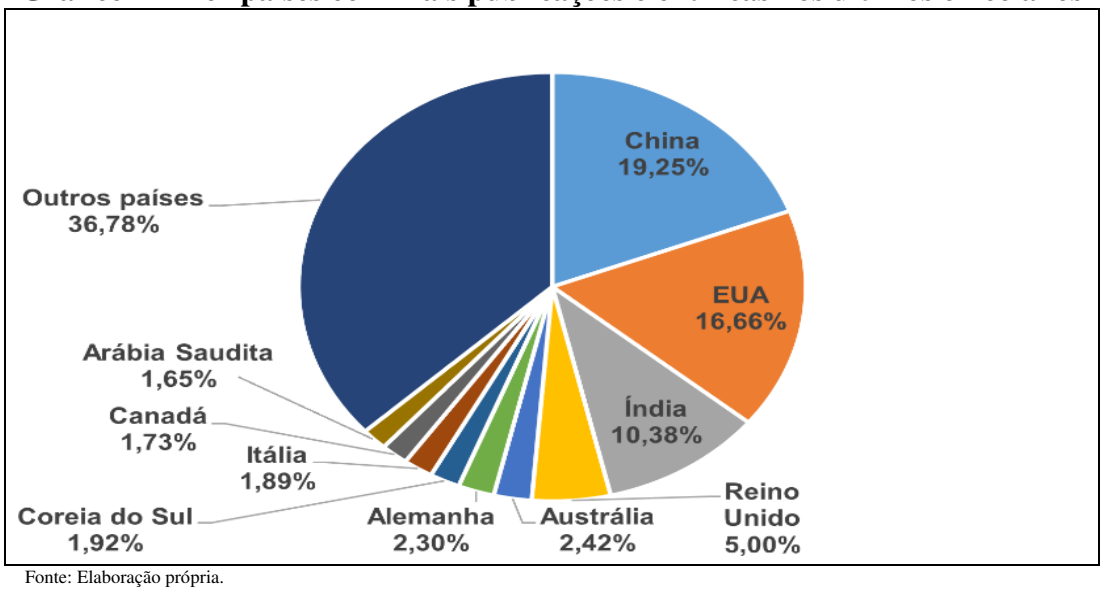
Gráfico 1 – Distribuição das publicações científicas ao longo do tempo



Fonte: Elaboração própria.

Ao restringir a busca para os últimos cinco anos, ou seja, 2019 a 2024, verifica-se que os dez países mais produtivos na área de pesquisa são: China, EUA, Índia, Reino Unido, Austrália, Alemanha, Coreia do Sul, Itália, Canadá e Arábia Saudita (conforme Gráfico 2). Vale destacar que a China e os EUA foram responsáveis por, aproximadamente, 36% da produção científica mundial dos últimos cinco anos relacionada à IA aplicada à defesa.

Gráfico 2 – Dez países com mais publicações científicas nos últimos cinco anos



Fonte: Elaboração própria.

Trazendo a análise para a perspectiva nacional, verifica-se que o Brasil foi responsável por 58 dos 7.033 registros publicados nos últimos cinco anos na base *Scopus*, tendo uma representatividade de, aproximadamente, 0,82% na produção mundial relacionada à IA aplicada à defesa, ocupando a 20ª posição no *ranking* considerado. Extrapolando a análise para todas as áreas de aplicação da IA, a

pesquisa foi repetida excluindo-se da *string* de busca os termos relacionados à defesa. Nesse cenário, foram identificadas 308.154 publicações científicas no mundo, sendo o Brasil responsável por 5.183 dos registros (aproximadamente 1,68%), ocupando a 18ª posição no *ranking*.

Para analisar os tópicos mais proeminentes em pesquisas recentes relacionadas à IA aplicada à defesa, realizou-se a análise de frequência das palavras-chave de autores nos documentos dos últimos cinco anos disponíveis na base *Scopus*. A Tabela 1 apresenta as áreas de pesquisa de destaque, os termos relacionados e o número de artigos contendo estes termos.

Tabela 1 – Áreas de pesquisa mais proeminentes nos últimos cinco anos relacionadas à IA aplicada à Defesa

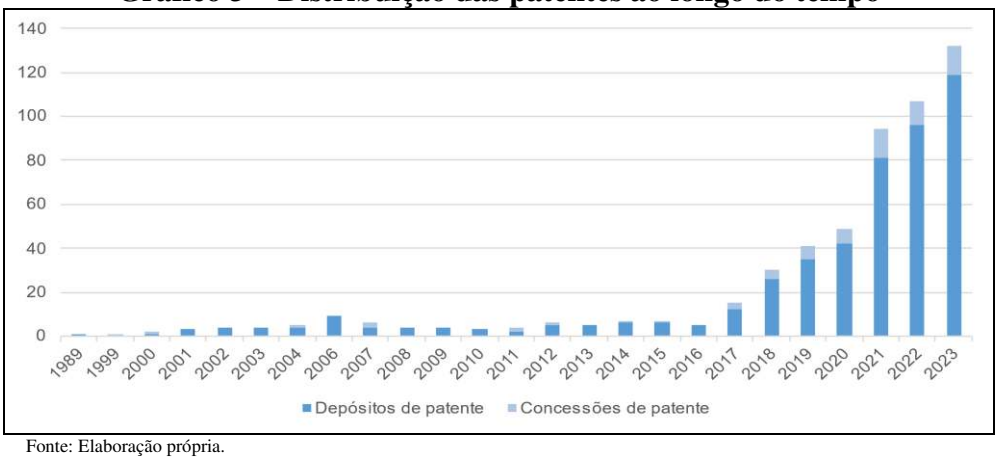
Área de pesquisa	Palavras-chave relacionadas	Número de artigos
Segurança cibernética	*"cybersecurity", "security", "cyber security", "blockchain", "network security", "intrusion detection", "artificial intelligence security", "anomaly detection", "cyber defense", "data encryption", "cryptography", "malware detection", "phishing detection", "ransomware", "threat intelligence", "penetration testing", "vulnerability assessment", "endpoint security", "cloud security", "cyber resilience", "information security", "firewalls", "secure communication", "zero trust architecture", "identity and access management", "IAM", "password security", "network monitoring", "cyber risk management", "cyber forensics", "secure coding", "application security", "internet of things security", "IoT security", "mobile security", "biometric security", "security analytics", "advanced persistent threats", "APT", "multi-factor authentication"*	540
Aprendizado de máquina	*"machine learning", "deep learning", "reinforcement learning", "deep reinforcement learning", "federated learning", "machine learning (ml)", "neural networks", "neural network", "convolutional neural network", "deep neural network", "deep neural networks", "supervised learning", "unsupervised learning", "semi-supervised learning", "transfer learning", "generative adversarial network", "GAN", "recurrent neural network", "RNN", "long short-term memory", "LSTM", "transformer models", "natural language processing", "computer vision", "multi-agent reinforcement learning", "graph neural networks", "autoencoders", "support vector machines", "SVM", "gradient boosting", "decision trees", "random forests", "ensemble learning", "k-means clustering", "Bayesian networks", "probabilistic models", "multi-task learning", "meta-learning", "self-supervised learning", "zero-shot learning", "few-shot learning"*	502
Robótica e sensoriamento	*"internet of things", "computer vision", "robotics", "object detection", "internet of things (iot)", "uav", "automation", "iot", "image processing", "unmanned aerial vehicle", "drones", "autonomous systems", "autonomous weapons", "robots", "sensors", "embedded systems", "sensor fusion", "lidar", "radar", "motion planning", "path planning", "robot navigation", "industrial robotics", "service robotics", "human-robot interaction", "HRI", "swarm robotics", "soft robotics", "robotic manipulators", "robotic arms", "robot control systems", "wearable sensors", "actuators", "robotic perception", "multi-agent systems", "autonomous vehicles", "teleoperation", "robotic vision"*	466
Análise de dados e apoio à decisão	*"big data", "decision support system", "cloud computing", "clustering", "decision-making", "decision making", "decision support systems", "data mining", "data science", "command and control", "decision support", "predictive analytics", "data analytics", "business intelligence", "knowledge management", "data-driven decision-making", "machine learning analytics", "real-time analytics", "data visualization", "data integration", "statistical analysis", "prescriptive analytics", "descriptive analytics", "data warehousing", "database management", "distributed computing", "edge computing", "data governance", "spatial analysis", "natural language processing for decision-making", "automated decision support", "simulation-based decision-making", "optimization algorithms", "multi-criteria decision analysis", "MCDA", "MCDM"*	428
Simulação	*"simulation", "training", "virtual reality", "simulation-based learning", "simulators", "immersive training", "augmented reality", "mixed reality", "virtual environments", "real-time simulation", "scenario-based training", "gamification", "modeling and simulation", "digital twins", "simulation technologies", "simulation systems", "interactive simulations", "serious games", "computer-based simulation", "3D simulation", "simulation for decision-making", "behavioral simulation", "military simulation", "healthcare simulation", "simulation for education", "simulation for research", "distributed simulation", "simulation modeling", "training simulation", "flight simulation", "simulation software"*	172
Processamento de linguagem natural	*"natural language processing", "NLP", "language modeling", "text mining", "sentiment analysis", "machine translation", "automatic speech recognition", "speech-to-text", "text-to-speech", "question answering", "named entity recognition", "NER", "part-of-speech tagging", "POS tagging", "semantic analysis", "syntactic analysis", "language understanding", "language generation", "text summarization", "information extraction", "information retrieval", "topic modeling", "chatbots", "dialog systems", "transformer models", "BERT", "GPT", "language representation models", "multilingual NLP", "natural language understanding", "NLU", "natural language generation", "NLG", "corpus linguistics", "computational linguistics", "text classification", "automatic text generation", "contextual embeddings"*	56

Fonte: Elaboração própria.

Produção tecnológica

A pesquisa obteve patentes desde o ano de 1989. Desconsiderando o ano da coleta dos dados (2024), o Gráfico 3 permite identificar um aumento expressivo tanto no número de concessões quanto de depósitos a partir do ano de 2017, mostrando uma tendência de crescimento da aplicação da IA no contexto da defesa.

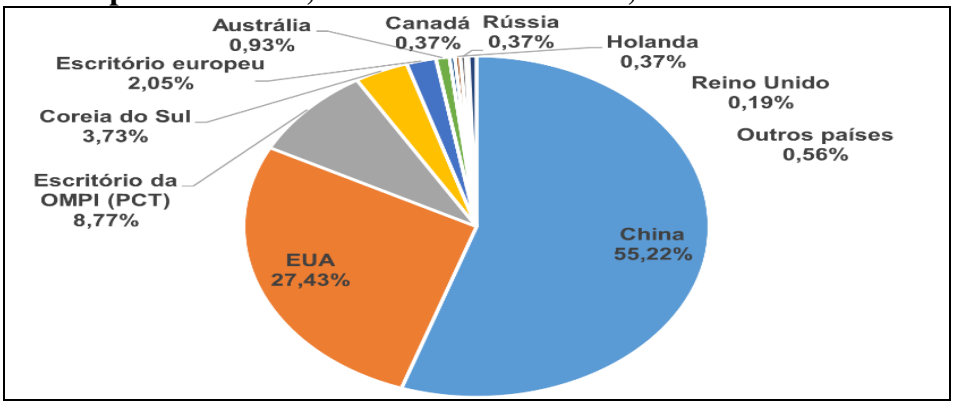
Gráfico 3 – Distribuição das patentes ao longo do tempo



Fonte: Elaboração própria.

Ao restringir a busca para os últimos cinco anos, 2019 a 2024, verificou-se que as dez jurisdições com mais depósitos/concessões de patente são: China, EUA, PCT (sistema internacional de patentes do escritório da OMPI), Coreia do Sul, Escritório europeu, Austrália, Canadá, Holanda, Rússia e Reino Unido (conforme Gráfico 4). Ressalta-se que, aproximadamente, 83% dos depósitos ou concessões de patente dos últimos cinco anos relacionados à IA no contexto da defesa foram realizados nas jurisdições da China e dos EUA.

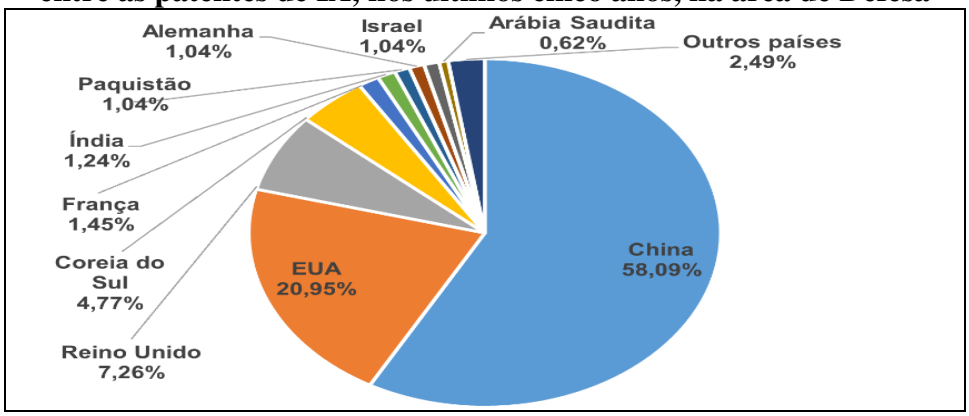
Gráfico 4 – Dez jurisdições com mais depósitos/concessões de patentes de IA, nos últimos cinco anos, na área de Defesa



Fonte: Elaboração própria.

A análise de jurisdição (Gráfico 4) ajuda a avaliar o potencial de mercados específicos, mensurando o volume com que requerentes (empresas, universidades ou pessoas) têm buscado proteger suas invenções nesses territórios. Essa análise pode ser complementada com uma avaliação do ponto de vista dos requerentes, identificando os países que mais têm originado pedidos de patente ao redor do mundo, ou seja, os países com maior potencial de produção tecnológica. Dessa forma, o Gráfico 5 destaca China, EUA, Reino Unido, Coreia do Sul, França, Índia, Paquistão, Alemanha, Israel e Arábia Saudita como os dez países com o maior número de requerentes entre as patentes de IA, nos últimos cinco anos, na área de defesa. De forma semelhante à análise de jurisdição, China e EUA também apresentam destaque (aproximadamente 79%) sob a ótica dos requerentes das patentes examinadas, com ampla vantagem da China.

Gráfico 5 – Dez países com maior número de requerentes entre as patentes de IA, nos últimos cinco anos, na área de Defesa



Fonte: Elaboração própria.

Não foram identificados depósitos de patentes no Brasil, residentes ou estrangeiros, voltados para a defesa. Entretanto, considerando todas as áreas de aplicação da IA, realizando uma análise para a perspectiva nacional e complementando-a com o apoio da plataforma *Patentscope* (WIPO, 2024a), verificou-se que o Brasil teve o registro de 452 depósitos/concessões de patente relacionados à IA nos últimos cinco anos. Nas mesmas condições de busca, foram identificados 251.308 depósitos/concessões de patentes no mundo. Assim sendo, o Brasil possui, aproximadamente, 0,18% das patentes na área de IA, ocupando a 12ª posição no *ranking*.

Dos 452 registros patentários de IA dos últimos cinco anos no Brasil, apenas 42 registros (aproximadamente 9,29%) tiveram origem nacional, enquanto os demais 90,71% foram aplicados por pessoas, empresas ou universidades internacionais, conforme detalhado na Tabela 2. Destaca-se ainda que a ampla maioria dessas iniciativas tiveram origem em empresas, sendo as seguintes 10 companhias estrangeiras com maior número de pedidos em território nacional: Qualcomm (EUA), Bayer

(Alemanha), Cilag Gmbh International (Suíça), Huawei (China), Paige (EUA), 3M (EUA), Basf (Alemanha), Deere and Company (EUA), Greeneden U.S. Holdings (EUA) e Philip Morris (EUA), sugerindo interesse dessas empresas no mercado brasileiro.

Em suma, apesar da ausência de registros específicos da área militar, essa sumária análise mostra que há capacidade instalada no Brasil na área de IA que pode ser mobilizada para realizar pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos de IA voltados para a defesa.

Tabela 2 – Avaliação dos registros patentários de IA no Brasil, nos últimos cinco anos, quanto à origem e ao tipo do requerente

	Pessoa	**Empresa**	**Universidade**	
Nacional	20 (47,62%)	14 (33,33%)	8 (19,05%)	**42 (9,29%)**
Internacional	5 (1,22%)	399 (97,32%)	6 (1,46%)	**410 (90,71%)**

Fonte: Elaboração própria.

Para analisar os tópicos mais proeminentes em patentes recentes relacionadas à IA aplicada à defesa, realizou-se a análise de frequência dos códigos CPC (*Cooperative Patent Classification*) nos documentos patentários dos últimos cinco anos disponíveis na plataforma *Lens*. Os códigos CPC são uma extensão dos códigos IPC (*International Patent Classification*) e são gerenciados conjuntamente pelos escritórios de patentes da Europa e dos EUA. Eles são divididos em nove seções, A-H e Y, que, por sua vez, são subdivididas em classes, subclasses, grupos e subgrupos. Existem aproximadamente 250.000 entradas de classificação CPC (EUROPEAN PATENT OFFICE, 2023). A Tabela 3 apresenta as áreas tecnológicas de destaque, os códigos CPC relacionados e o número de ocorrências destes códigos.

Tabela 3 – Áreas tecnológicas mais proeminentes nos últimos cinco anos relacionadas à IA aplicada à defesa

Área tecnológica	**Códigos CPC**	**Número de ocorrências**
Aprendizado de máquina	G06N20/00, G06F18/214, G06V10/82, G06N5/04, G06N3/08, G06N3/045, G06N3/04, G06N3/0464	339
Segurança cibernética	H04L63/1416, H04L63/1441, H04L63/1433, H04L63/1425, H04L63/20, G06F21/577, G06F21/55	250
Simulação	Y02T10/40, A63F13/58, A63F13/67, G06N3/006, A63F13/822	84

Fonte: Elaboração própria.

Relatórios técnicos e registros de notícias

As fontes consultadas apontam a projeção de crescimento da aplicação da IA no setor militar. No ano fiscal de 2022, o Departamento de Defesa solicitou ao Governo Americano um orçamento de 1,1

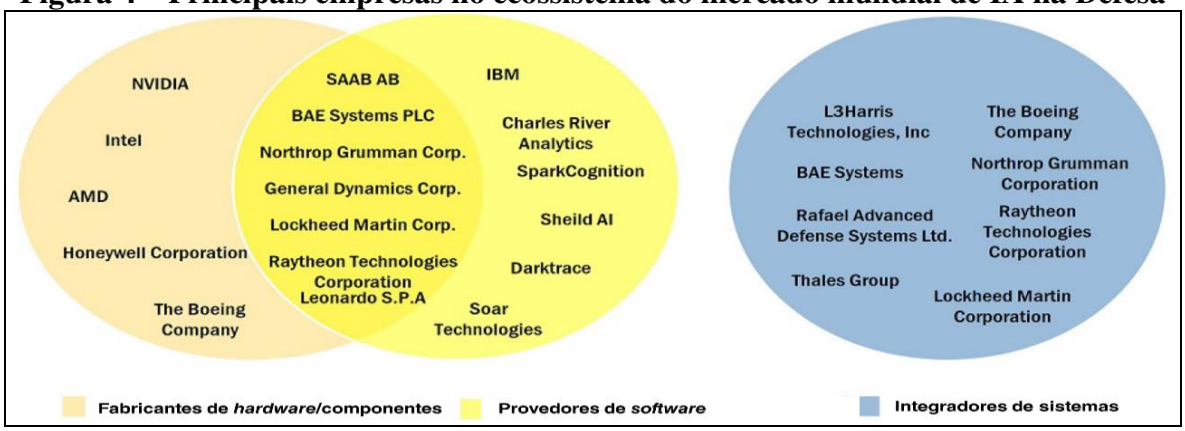
bilhões de dólares destinados a projetos de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) ligados à IA, representando um aumento de 26% em relação ao ano anterior (LYNCH, 2023). Este interesse do Pentágono em maiores investimentos em IA também é reportado em NSTXL e Maslej (NSTXL, 2023; MASLEJ *et al*. 2023).

A OTAN estabeleceu uma estratégia específica para acelerar e integrar a adoção da IA no desenvolvimento e entrega de capacidades militares (NATO, 2024). Stanly (2023) pontua a existência de estratégias similares em outros países que investem massivamente no setor de defesa, como Índia, China e Rússia (STANLY, 2023). Inclusive, aponta-se que a China superou os EUA e já lidera a corrida tecnológica da IA (LUCKENBAUGH, 2023). Essa percepção é confirmada por um relatório do SIPRI, que destaca que a China tem investido significativamente em IA aplicada à segurança e defesa (SIPRI, 2020).

Com relação à projeção do mercado de IA na defesa para os próximos cinco anos, há uma expectativa de crescimento de, aproximadamente, 322%, saltando de 9,3 bilhões de dólares americanos, investidos em 2023, para uma previsão de investimento de 38,8 bilhões de dólares americanos em 2028 (M&M, 2023). Outra fonte aponta uma projeção de crescimento menor, porém ainda expressiva. Ela prospecta um aumento aproximado de 83%, de 8,47 para 15,53 bilhões de dólares americanos para os investimentos em 2023 e 2028, respectivamente (PRECEDENCE RESEARCH, 2023). Em suma, as informações apresentadas atestam que a aplicação da IA em sistemas de defesa já é uma realidade latente e encontra-se em franca expansão.

Algumas fontes de notícias também apontam empresas de destaque no ecossistema do mercado mundial de defesa ligado à IA (M&M, 2023; PRECEDENCE RESEARCH, 2023). A Figura 4 apresenta resumidamente estas principais empresas, segmentando-as em três categorias: fabricantes de *hardware ou* componentes, provedores de *software* e integradores de sistemas.

Figura 4 – Principais empresas no ecossistema do mercado mundial de IA na Defesa



Fonte: M&M (2023).

Por fim, algumas referências também estabelecem tópicos de destaque relacionados à aplicação militar da IA. Um artigo do SIPRI destaca que as tendências na União Europeia incluem o desenvolvimento de tecnologias autônomas de uso dual, sistemas de enxames de drones para defesa e vigilância, e o fortalecimento da soberania tecnológica europeia por meio de sinergias entre programas civis e de defesa, como o *Horizon Europe* e o *European Defence Fund* (EDF) (CSERNATONI, 2023). Aponta-se também a tendência de aproximação das tecnologias de IA e computação quântica (NATO, 2022).

Diagnóstico sintético dos resultados

A análise de dados de produção científica e tecnológica aponta uma tendência de crescimento da aplicação da IA no contexto da defesa, principalmente a partir de 2018. As fontes de relatórios técnicos e registros de notícias atestaram que o alto investimento em IA na defesa já é uma realidade latente e encontra-se em franca expansão.

China e EUA apresentam amplo destaque na produção científica e tecnológica recente relacionada à IA aplicada à defesa (considerando os últimos cinco anos). Eles foram responsáveis, em valores aproximados, por 36% da produção científica, 83% dos depósitos/concessões de patente foram realizados nas jurisdições da China e dos EUA, e 79% de todos os requerentes (empresas, universidades ou pessoas) das patentes examinadas são de origem chinesa ou americana.

A China apresenta vantagem em relação aos EUA nos três cenários: 19,25% contra 16,66% na produção científica, 55,22% contra 27,43% na produção tecnológica (perspectiva da jurisdição), e 58,09% contra 20,95% na produção tecnológica (perspectiva dos requerentes). Essa informação foi reforçada pelas fontes de relatórios técnicos e registros de notícias, que apontaram que a China está à frente dos EUA na corrida tecnológica da IA.

O Brasil apresentou uma participação modesta na produção científica mundial dos últimos cinco anos relacionada à IA aplicada à defesa (0,82%, ocupando a 20ª posição no *ranking* considerado). Quanto à produção tecnológica, nenhum dos depósitos/concessões de patente no Brasil nos últimos cinco anos estavam especificamente associados a aplicações militares. A Tabela 4 sintetiza os dados apresentados.

Tabela 4 – Comparativo entre China, EUA e Brasil quanto à produção científica e tecnológica, nos últimos cinco anos, relacionada à IA aplicada à defesa

País	% na produção científica mundial	% na produção tecnológica mundial (jurisdição)	% na produção tecnológica mundial (requerentes)
China	19,25% (1ª posição)	55,22% (1ª posição)	58,09% (1ª posição)
EUA	16,66% (2ª posição)	27,43% (2ª posição)	20,95% (2ª posição)
Brasil	0,82% (20ª posição)	----------	

Fonte: Elaboração própria.

A análise de registros de patentes de IA no Brasil, independente da área de aplicação, revelou 452 depósitos nos últimos cinco anos, sendo apenas 9,29% de origem nacional (residentes). Esse dado mostra o interesse internacional no mercado brasileiro e sugere a existência de capacidade nacional de mobilização para realizar pesquisas e desenvolvimentos de IA voltados para a defesa.

O comparativo entre os cenários nacionais recentes de IA na defesa e geral (todas as áreas de aplicação) suscita pontos de discussão. Com relação à produção científica mundial de IA nos últimos cinco anos, verificou-se que o Brasil contribuiu com 0,82% (20ª posição no *ranking*) na área de defesa, e 1,68% (18ª posição) em todas as áreas de aplicação. Quanto à produção tecnológica, o Brasil não teve nenhum registro de patente ligada à defesa, mas contribuiu com 0,18% (12ª posição) considerando todas as áreas de aplicação. Dessa forma, como se visualiza na Tabela 5, a área de IA em defesa no Brasil tem conseguido avançar no meio acadêmico (produção científica), porém ainda não conseguiu transbordar para o meio empresarial/industrial (produção tecnológica). Em outras palavras, pode-se dizer que a IA na defesa nacional encontra-se com baixo nível de prontidão tecnológica, ainda em iniciativas de pesquisa situadas em níveis da primeira faixa da escala TRL (do inglês, *Technology Readiness Levels*) (GIRARDI; FRANÇA JUNIOR; GALDINO, 2022).

Tabela 5 – Comparativo entre produção científica e tecnológica de IA no Brasil, nos últimos cinco anos, na defesa e geral (todas as áreas de aplicação)

Área de aplicação	% na produção científica mundial	% na produção tecnológica mundial
Defesa	0,82% (20ª posição)	----------
Geral	1,68% (18ª posição)	0,18% (12ª posição)

Fonte: Elaboração própria.

Com base nas três vertentes analisadas (produção científica, produção tecnológica e relatórios técnicos/registros de notícias), os seguintes tópicos relacionados à aplicação da IA no contexto militar se mostraram proeminentes: segurança cibernética, aprendizado de máquina, robótica e sensoriamento, análise de dados e apoio à decisão, simulação e processamento de linguagem natural.

Por fim, vale destacar que as produções científica e tecnológica são pontos que devem ser analisados com cuidado. Na área de defesa, muitas pesquisas não são publicadas por questões de sigilo. E muitas invenções patenteáveis provenientes de projetos de P&D acabam sendo protegidas como

segredo industrial, tendo em vista o seu valor estratégico (CORRÊA; MARINHO; VIEIRA, 2017). Ressalta-se, ainda, que existem divergências jurídicas entre países quanto à patenteabilidade de programas de computador (MATVEEV; MARTYANOVA, 2022), o que pode interferir em estudos de produção tecnológica. Malgrado essas limitações, a complementação da análise com a exploração de relatórios técnicos e registros de notícias ajudou a corroborar os resultados obtidos. Adicionalmente, não há evidências ou justificativas que indiquem uma concentração de dados sigilosos em um determinado país ou setor tecnológico, o que poderia tornar imprecisa as conclusões aqui apresentadas a partir dos dados coletados.

Análise SWOT da IA na Defesa Nacional

1. Forças

Governança do Ministério da Defesa alinhada com a Estratégia Brasileira de IA

O Ministério da Defesa (MD) pode valer-se de sua estrutura de governança no sentido de promover demandas para o setor produtivo de tecnologia, possivelmente coordenando esforços com outros ministérios, tais como o da Ciência, Tecnologia e Inovação, da Educação e da Justiça. Em especial, pode-se procurar estabelecer colaborações com os Departamentos de Ciência e Tecnologia das três Forças Singulares (DGDNTM, DCT e DCTA), definindo-se metas factíveis e criando-se oportunidades de financiamento de projetos de alto teor tecnológico.

A Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (EBIA) (BRASIL, 2021), lançada em julho de 2021, explicita a expectativa de que a IA "transforme as estruturas econômicas e sociais do país", preconizando ser fundamental que o poder público "estabeleça políticas públicas para endereçar tais mudanças, abrangendo não apenas a tecnologia e a indústria, mas também a educação, o emprego e o bem-estar".

A EBIA estabelece ações estratégicas de alto nível a serem desenvolvidas pelo Governo Federal. As ações são organizadas em eixos temáticos transversais e verticais, e devem, em geral, ser desenvolvidas por agentes públicos, no escopo de suas atribuições. O MD poderá, portanto, criar iniciativas alinhadas com as ações estratégicas listadas nos seguintes eixos temáticos verticais: força de trabalho e capacitação, PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação) e empreendedorismo, aplicação nos setores produtivos, e aumento da eficiência das atividades administrativas e operacionais.

Com relação à força de trabalho e capacitação, o MD possui estrutura para coordenar esforços entre indústria e academia visando à formação e qualificação de profissionais. Destacam-se parcerias com o setor privado para políticas públicas que incentivem treinamento contínuo em tecnologias de IA. Além disso, o MD pode implementar iniciativas para atrair e reter talentos no Brasil, articulando-se com empresas da Base Industrial de Defesa (BID) para o desenvolvimento de produtos de alta tecnologia.

No que diz respeito à PD&I e empreendedorismo, a EBIA recomenda o fomento à pesquisa e inovação em IA com investimentos diretos e coordenação de iniciativas. O MD pode promover chamadas públicas em colaboração com outros ministérios, além de incentivar *startups* e pequenas e médias empresas (PMEs) por meio de parcerias público-privadas.

Em relação à aplicação nos setores produtivos, a IA tem sido amplamente utilizada para análise automatizada de dados, destacando-se a necessidade de bancos de dados de alta qualidade, preferencialmente fornecidos por fontes governamentais oficiais. Nesse sentido, o MD pode buscar expandir o acesso do público geral a informações precisas sobre o próprio ministério, sobre as Forças Armadas e sobre a BID (desde que não sejam restritas ou reservadas) por meio da criação de um portal de repositórios de análises e de competições de aprendizado de máquina. Esse portal poderia se apoiar nos dados disponíveis do Portal Brasileiro de Dados Abertos (https://dados.gov.br/), estimulando-se assim a implantação de "espaços de experimentação de dados com IA e desenvolver parcerias de PD&I voltadas para IA com instituições de ensino superior, setor privado e terceiro setor".

Por fim, no que tange ao aumento da eficiência das atividades administrativas e operacionais, destaca-se a crescente preocupação com os custos e a sustentabilidade do Sistema de Proteção Social dos Militares das Forças Armadas (SPSMFA). Essa preocupação reforça a necessidade do uso da IA para otimizar recursos sem comprometer a capacidade operacional. A adoção de tecnologias inteligentes pode reduzir a demanda por recursos humanos, minimizando gastos com pessoal. Sistemas de simulação baseados em IA podem aprimorar o treinamento militar de forma econômica e eficaz. Além disso, a automação de processos administrativos possibilita uma gestão mais eficiente de logística e orçamento, permitindo que o pessoal militar se concentre em atividades-fim. Essas medidas contribuem para a modernização das Forças Armadas e para um uso mais racional dos recursos, garantindo maior sustentabilidade orçamentária e operacional.

Iniciativas recentes do Exército Brasileiro

O Exército Brasileiro (EB) tem desenvolvido iniciativas no sentido de fomentar a área de IA no contexto da defesa, com destaque para a publicação de sua Diretriz de IA, a inclusão de disciplinas de

IA nos currículos das Escolas Militares, a criação do Laboratório de IA, Robótica e Cibernética (LIARC), a liderança no Programa Pró-Defesa V – Inteligência Artificial e Tecnologias Quânticas (IATQ), e a promoção do simpósio "Inteligência Artificial na Expressão Militar do Poder Nacional".

Alinhado às iniciativas do Governo e do MD, o EB publicou sua Diretriz Estratégica de IA em abril de 2024, estabelecendo diretrizes para a implementação e uso da IA na Força Terrestre (BRASIL, 2024b). O Exército dispõe de estrutura para desenvolver internamente soluções inovadoras para problemas administrativos e operacionais corriqueiros, contando com o Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT), além de poder estabelecer parcerias com empresas e instituições acadêmicas para projetos mais complexos. Para o desenvolvimento de soluções tecnológicas de alta complexidade, é fundamental que sejam seguidos os processos de obtenção padronizados nas instruções para gestão de ciclo de vida de sistemas e materiais de emprego militar (SMEM) (BRASIL, 2024c). O Portfólio Estratégico do Exército (PEEx), cuja gestão é de incumbência do Escritório de Projetos do Exército (EPEx), conta com projetos de grande vulto, que podem incorporar elementos de IA nos SMEM a eles relacionados. Além disso, tecnologias de IA podem ser incorporadas para automatizar rotinas analíticas de gestão desses e de novos projetos, bem como para prospectar cenários de desenvolvimento com maior precisão (BRASIL, 2024d; VOLTAN *et al*., 2024a, 2024b).

O Sistema de Educação e Cultura do Exército (SECEx) está em constante evolução, e o momento atual favorece a inclusão de disciplinas relacionadas à IA nos currículos das Escolas Militares, abrangendo desde o nível assistencial até o superior. A exposição antecipada dos alunos de colégios militares e dos militares em formação a conceitos de IA facilita o desenvolvimento de habilidades futuras e a incorporação de novas tecnologias. Além disso, o avanço das tecnologias de combate exige maior integração entre combatentes, engenheiros e cientistas da área de defesa (GIRARDI; GALDINO; PELLANDA, 2024; RABY *et al*., 2018), tornando essencial que os militares adquiram conhecimentos em IA e que os especialistas técnicos tenham maior vivência em operações militares. Nesse sentido, o IME (Instituto Militar de Engenharia) e a AMAN (Academia Militar das Agulhas Negras) estão desenvolvendo um exercício conjunto para explorar temas de Ética, Liderança e IA, preparando futuros oficiais para lidar com sistemas de IA generativa em cenários táticos e decisões estratégicas que envolvem tecnologia e princípios éticos.

O IME inaugurou, em maio de 2024, o Laboratório de IA, Robótica e Cibernética (LIARC), visando torná-lo um centro de referência na pesquisa e desenvolvimento dessas tecnologias para a defesa nacional. O laboratório conta com infraestrutura moderna para pesquisas em níveis de maturidade tecnológica de baixo a intermediário (GIRARDI; FRANÇA JUNIOR; GALDINO, 2022), atendendo alunos de graduação e pós-graduação e servindo como centro de treinamento para organizações

parceiras. Sua estrutura inclui oficinas de prototipagem, salas de testes e computadores de alto desempenho, com novos investimentos para aprimorar suas capacidades computacionais. Desde sua criação, o LIARC tem se destacado na formação acadêmica e na participação em competições tecnológicas, como a Competição Brasileira de Robótica, onde os alunos do IME obtiveram grande destaque (BRASIL, 2024e). Além disso, o laboratório abriga projetos de grande vulto, como o EVAAT-GCN, focado no desenvolvimento de enxames robóticos para operações militares, e o GeoIDE, que utiliza IA para extração de geoinformação estratégica. Também apoia iniciativas do Departamento de Educação e Cultura do Exército (DECEx), promovendo soluções educacionais e sistemas de suporte à tomada de decisão para modernizar as capacidades do Exército.

O Programa Pró-Defesa V – Inteligência Artificial e Tecnologias Quânticas (IATQ) é uma iniciativa liderada pelo IME que tem como objetivo principal a construção e integração de agendas estratégicas e redes de pesquisa em tecnologias disruptivas, com o intuito de fortalecer e expandir a segurança e a defesa nacional. Para alcançar esse propósito, a iniciativa reúne mais de cem pesquisadores, provenientes de quarenta e três instituições de destaque, que englobam organizações civis e militares, públicas e privadas. Através dessa colaboração multidisciplinar e interinstitucional, o programa visa impulsionar o desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras, posicionando o Brasil na vanguarda da pesquisa desses temas tecnológicos críticos e sensíveis.

Por fim, destaca-se que o Exército Brasileiro reafirmou sua liderança no desenvolvimento científico e tecnológico do país ao promover, por meio do IME, o simpósio “Inteligência Artificial na Expressão Militar do Poder Nacional”, realizado em novembro de 2024. O evento reuniu mais de 800 participantes, entre presenciais e remotos, promovendo a integração entre governo, academia e indústria para discutir oportunidades e desafios da IA na defesa. Foram abordados temas como a Estratégia Brasileira de IA, a Diretriz de IA do Exército e a importância da hélice tríplice de inovação. Autoridades destacaram a IA como ferramenta de transformação tecnológica e soberania nacional, ressaltando princípios éticos e o papel central do ser humano nas decisões. O simpósio também enfatizou o apoio de instituições de fomento, como o MCTI, EMBRAPII, FINEP e FAPESP, para impulsionar P&D na área. Além das palestras e mesas de debate, casos de sucesso foram apresentados, demonstrando aplicações práticas da IA em contextos civis e militares. O evento evidenciou o compromisso do EB em fortalecer a inovação na defesa e reverter a baixa produtividade e representatividade do Brasil no cenário internacional de IA. A Figura 5 apresenta uma foto ilustrativa do evento, cuja gravação encontra-se disponível para o público por meio do *website* <https://sia2024.ime.eb.br>.

Figura 5 – Foto ilustrativa do Simpósio "Inteligência Artificial na Expressão Militar do Poder Nacional". Chefe do Estado-Maior de Exército, Gen Ex Richard Nunes, apresentando a Diretriz de IA do Exército Brasileiro



Fonte: Brasil (2024f).

2. Fraquezas

Precária capacidade nacional de inovação

Com base no GII (*Global Innovation Index*), o Brasil apresenta indicadores modestos tanto em termos de insumos de inovação (instituições, recursos humanos e pesquisa, infraestrutura, sofisticação de mercado e sofisticação empresarial) quanto produtos de inovação (produtos de conhecimento e tecnologia e produtos criativos) (GALDINO, 2018, 2019). O Sistema Setorial de Inovação (SSI) de defesa depende visceralmente do Sistema Nacional de Inovação (SNI), sendo essencial para a defesa nacional a existência de um SNI forte e pujante, compatível com a grandeza do Brasil, de sua economia, de seu mercado e de suas riquezas (SCHONS; PRADO FILHO; GALDINO, 2020, 2022).

Fragmentação e desarticulação

O MD ainda não conseguiu implementar uma coordenação concreta para mitigar a fragmentação das estruturas de inovações tecnológicas e não tecnológicas (doutrinárias) de suas Forças Armadas

(AZEVEDO; BORBA; ARAÚJO, 2021). Essa desarticulação resulta em esforços duplicados, pulverização de recursos e criação de barreiras que dificultam a implementação de projetos integrados (ABIMDE, 2018; AZEVEDO; BORBA; ARAÚJO, 2021). Além disso, há uma escassez de mecanismos para fomentar a interação entre os setores militar e civil (ABIMDE, 2018; SCHONS; PRADO FILHO; GALDINO, 2020).

Instabilidade e imprevisibilidade orçamentária

A falta de estabilidade e previsibilidade do orçamento e a ausência de políticas de longo prazo afetam diretamente a capacidade de planejar e executar projetos tecnológicos estratégicos de defesa (ABIMDE, 2018; AZEVEDO; BORBA; ARAÚJO, 2021; BARBOSA, 2018). A importância da estabilidade e previsibilidade do orçamento de defesa pode ser exemplificada através da abordagem americana, onde o processo orçamentário (PPBE, do termo em inglês *Planning, Programming, Budget, and Execution*) (UNITED STATES, 2017) compõe o sistema de obtenção de defesa (DAS, do termo em inglês *Defense Acquisition System*) juntamente com dois outros grandes processos: o planejamento baseado em capacidades (UNITED STATES, 2018) e o processo de obtenção (UNITED STATES, 2020).

Regramento jurídico incipiente

Mesmo com os avanços recentes, ainda faltam incentivos adequados relacionados à tributação, fomento ao mercado interno e mecanismos de interação com o mercado externo (ABIMDE, 2018). Medidas de apoio às empresas que labutam na área de defesa visam fornecer proteção e competitividade a um setor que depende de mão de obra altamente especializada, empregada em produtos com longos ciclos de desenvolvimento, e que, geralmente, não contam com encomendas regulares (RECIFE, 2022).

Dependência tecnológica

A aquisição de tecnologias, sistemas e produtos estrangeiros ligados a áreas estratégicas para a defesa, muitas vezes sem o devido processo de transferência de tecnologia, impede a capacitação da indústria nacional e inviabiliza a busca pela autonomia tecnológica em segmentos críticos e sensíveis (ABIMDE, 2018; SCHONS; PRADO FILHO; GALDINO, 2020, 2022). Nesse contexto, o grande

desafio é orientar o equilíbrio entre P&D autóctone e importação de tecnologias disponíveis (GIRARDI; FRANÇA JUNIOR; GALDINO, 2024).

Baixa relevância dedicada à defesa nacional

A atenção destinada à defesa nacional costuma ser modesta, tendo em vista as grandes demandas sociais e de infraestrutura, que tendem a ser priorizadas, além da ausência de cultura belicista (BIJOS; ARRUDA, 2010; BRESSER-PEREIRA, 1997). Essa falta de percepção de importância no ideário popular dificulta a sensibilização da esfera política para ampliar recursos da área de defesa (SCHONS; PRADO FILHO; GALDINO, 2020). Tal perspectiva se confirma através dos dados fornecidos pelo relatório do SIPRI. Há a previsão de investimento mínimo de 2% do Produto Interno Bruto (PIB) em aplicações militares para os países membros da OTAN e os EUA tiveram, em 2023, investimentos orçamentários de 916 bilhões de dólares, o que equivale a 3,4% de seu PIB. Enquanto isso, no mesmo período, o Brasil teve um orçamento de defesa de 22,9 bilhões, equivalendo a apenas 1,1% de seu PIB (SIPRI, 2024).

Longos ciclos de P&D e alta rotatividade de lideranças

O desenvolvimento de produtos de defesa geralmente possui longa duração (HOBDAY, 1998), requerendo planejamento de longo prazo, persistência nas ações e continuidade nos investimentos. Um inconveniente nesse mister é a grande rotatividade das autoridades que ocupam posições chave (MAIA NETO, 2011). A combinação de longos ciclos de P&D e rotatividade da Alta Administração ou de especialistas em funções importantes se apresenta como um obstáculo para o sucesso de projetos inovadores de defesa, tendo em vista que a continuidade é um fator relevante para o êxito de empreendimentos tecnológicos (HECHT, 2002). O emprego de ferramentas de gestão do conhecimento científico e tecnológico é fundamental para manter o conhecimento e a continuidade dos elementos essenciais para decisão da Alta Administração das Forças Armadas.

Pouca predisposição à inovação

Fomentar a cultura de inovação na área de defesa é um desafio (AZEVEDO; BORBA; ARAÚJO, 2021; SCHONS; PRADO FILHO; GALDINO, 2020), pois existem barreiras para a introdução de novos sistemas, serviços ou produtos. Soluções já introduzidas no mercado e testadas em

operações reais costumam ser privilegiadas, tendo em vista a alta confiabilidade exigida para aplicações militares (AMARANTE, 2012, 2013).

3. Oportunidades

Boas práticas observadas em outros Sistemas Setoriais de Inovação (SSI)

Apesar das limitações de nosso SNI (SCHONS; PRADO FILHO; GALDINO, 2020), o SSI de Defesa pode se beneficiar das boas práticas observadas nos SSIs do Agronegócio e do Petróleo e Gás para fortalecer sua capacidade de integração com setores produtivos. Esses sistemas demonstram que a presença de atores centrais robustos, como a Embrapa e o Cenpes, é crucial para articular e coordenar redes temáticas de pesquisa. Além disso, a adoção de modelos de governança claros, que alinhem as ações dos participantes aos interesses estratégicos do sistema, associada à disponibilidade de recursos financeiros previsíveis e estáveis, impulsiona a inovação. Esses elementos são complementados por fortes vínculos entre academia, empresas e governo (hélice tríplice), que facilitam a transferência de conhecimento e a colaboração em projetos de P&D. Ao adotar estratégias similares, o SSI de Defesa pode superar gargalos estruturais, como a escassez de recursos humanos especializados e a inconstância no financiamento, e fomentar uma maior interação na área de IA com a BID e a comunidade científica nacional (SCHONS; PRADO FILHO; GALDINO, 2022).

Maior interação internacional de P&D em IA

No processo de obtenção de um SMEM com tecnologias de IA disponíveis nacionalmente em nível intermediário de maturidade, ou seja, próximas de atingirem o nível de demonstração, sugere-se a aquisição internacional com transferência de tecnologia. O processo de transferência de tecnologia irá auxiliar a organização nacional receptora no processo de maturação do seu demonstrador tecnológico (WILHELM *et al*., 2020). No caso de tecnologias de IA disponíveis nacionalmente em baixo nível de maturidade (ainda em nível de pesquisa), sugere-se nos contratos de aquisição internacional a inclusão de *offsets* (BRUSTOLIN; OLIVEIRA; SENNA, 2016) de fomento a pesquisas nacionais. Salienta-se a importância de especializar recursos humanos preferencialmente internos, mormente doutores, em centros de excelência mundial, por se tratar de pesquisas ligadas à fronteira tecnológica nacional em que o país não tem domínio.

4. Ameaças

Evolução tecnológica nos conflitos atuais

É fundamental que sejam realizadas prospecções tecnológicas de alta qualidade tendo-se por base os dados resultantes dos últimos conflitos armados finalizados e em curso, como, por exemplo, os conflitos de Israel, o conflito entre Rússia e Ucrânia, ou o conflito entre Azerbaijão e Armênia. Nesses conflitos, tem-se observado o uso expressivo de veículos aéreos não tripulados (VANTs), que podem ser utilizados não apenas como armas letais, mas também como sensores. A análise de uma quantidade colossal de dados, coletados por esses e por outros sensores, pode ser facilitada pelo emprego de técnicas de IA, provendo a capacidade de se manter uma consciência situacional precisa durante a condução de operações. Dessa forma, é necessário que o Exército busque antecipar-se aos novos desafios relacionados à evolução da doutrina, logística, e capacitação de pessoal, decorrentes dessa evolução tecnológica.

Cerceamento tecnológico

Destaca-se a necessidade de antecipação quanto aos desafios relacionados às práticas de cerceamento tecnológico (GIRARDI; FRANÇA JUNIOR; GALDINO, 2024; GIRARDI; GALDINO, 2024). Iniciativas de P&D nas áreas de IA e computação quântica que dependem da importação de insumos de alta tecnologia já têm sofrido embargos de grandes potências (DI LORENZO; FIGUEIREDO, 2025; UNITED STATES, 2024). Essa percepção fica ainda mais clara a partir de uma declaração feita pelo Departamento do Tesouro dos EUA, dizendo que a Administração Federal "está comprometida em manter a América segura e defender a segurança nacional dos Estados Unidos, protegendo adequadamente as tecnologias críticas para a próxima geração da inovação militar" (UNITED STATES, 2023).

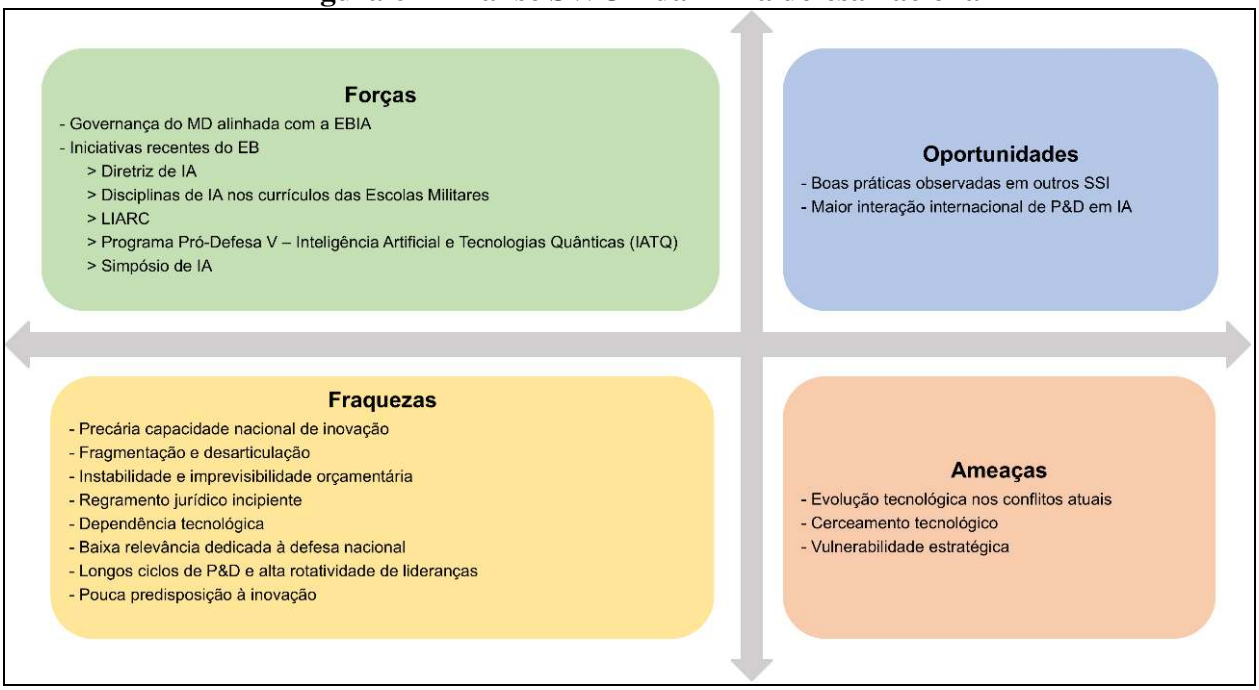
Vulnerabilidade estratégica

Mesmo com os benefícios, a adoção da IA na defesa levanta desafios significativos, como implicações éticas, preocupações com a privacidade dos dados e riscos de uso indevido. A complexidade dos sistemas baseados em IA pode introduzir novas vulnerabilidades, exigindo inteligência de ameaças robusta e mecanismos de defesa adaptáveis (FAMILONI, 2024; WENG; WU,

2024). A falta de transparência nos processos decisórios da IA pode comprometer o desempenho de modelos de detecção, destacando a necessidade de abordagens explicáveis para IA (LI *et al*., 2022).

Com base na análise SWOT, resumida na Figura 6, torna-se evidente que o Brasil possui um potencial significativo para o desenvolvimento de IA aplicada à defesa, mas enfrenta desafios estruturais e estratégicos que precisam ser superados para garantir sua competitividade e soberania no cenário internacional.

Figura 6 – Análise SWOT da IA na defesa nacional



Fonte: Elaboração própria.

CONCLUSÃO

A importância da evolução da área de IA em sistemas de emprego militar e seus impactos na preparação e execução das atividades atinentes à defesa nacional são inegáveis. Países de maior poderio militar têm investido vultosos recursos em pesquisa, desenvolvimento e inovação nessa área, com vistas a manter uma posição estrategicamente vantajosa perante outras potências.

Nesse diapasão, este artigo constrói uma compreensão do estado da arte relacionado à aplicação da IA no contexto militar, a partir de uma análise quantitativa e qualitativa de dados secundários de produção científica e tecnológica, bem como de relatórios técnicos e registros de notícias. Com base nessa compreensão do cenário atual, verificou-se um crescimento significativo da aplicação da IA na defesa desde 2018, com destaque para China e EUA. No Brasil, mesmo com as tentativas recentes de priorização de pesquisa e desenvolvimento em IA pelo MCTI, a produção científico-tecnológica nessa

área ainda é modesta, sobretudo no setor de defesa. Dessa forma, forças, fraquezas, oportunidades e ameaças (análise SWOT) associadas ao desenvolvimento da IA no contexto da defesa nacional foram levantadas no sentido de identificar desafios estruturais e estratégicos que precisam ser superados e recomendar ações efetivas para garantir a competitividade e a soberania do Brasil no cenário internacional.

Essas recomendações estabelecem ações efetivas alinhadas com a Estratégia Brasileira de IA (BRASIL, 2021) e a Diretriz Estratégica de IA para o Exército (BRASIL, 2024b). Em geral, as recomendações incluem fortalecer a governança do MD para coordenar a PD&I em IA, ampliar a capacitação de profissionais e incentivar parcerias público-privadas. Sugere-se a criação de um portal de dados para estimular a colaboração entre governo, academia e setor produtivo. Para maior eficiência operacional, recomenda-se o uso de IA em simulações militares, automação administrativa e otimização de recursos. Além disso, é essencial reduzir a dependência tecnológica externa, garantir estabilidade orçamentária e fomentar a inovação no setor de defesa.

Diante do conteúdo exposto, pode-se dizer que o presente estudo oferece contribuições teóricas e práticas. No âmbito teórico, destaca-se a ausência de trabalhos similares na literatura acadêmica que realizem uma análise tão abrangente das tendências da IA aplicada ao setor militar, combinando as dimensões de produção científica e tecnológica, relatórios técnicos e registros de notícias. Em termos práticos, o artigo oferece uma compreensão do estado da arte da IA na defesa e apresenta recomendações estratégicas que podem auxiliar na formulação de políticas públicas e iniciativas institucionais. Essas recomendações têm o potencial de fortalecer a Expressão Militar do Poder Nacional e de preservar a soberania brasileira frente ao acelerado avanço das tecnologias de IA no cenário internacional.

Embora abrangente, o estudo enfrenta limitações decorrentes do escopo das bases de dados utilizadas (*Scopus* para análise de produção científica e *Lens*/*Patentscope* para produção tecnológica). Além disso, ressaltou-se que essas análises no contexto militar devem ser avaliadas com cuidado. No setor de defesa, muitas pesquisas não são publicadas por questões de sigilo. E muitas invenções patenteáveis provenientes de projetos de P&D acabam sendo protegidas como segredo industrial, tendo em vista o seu valor estratégico (CORRÊA; MARINHO; VIEIRA, 2017). Destacou-se, ainda, que existem divergências jurídicas entre países quanto à patenteabilidade de programas de computador (MATVEEV; MARTYANOVA, 2022), o que pode interferir em análises de produção tecnológica. Malgrado essas restrições, a complementação do estudo com a exploração de relatórios técnicos e registros de notícias ajudou a corroborar os resultados obtidos.

Pesquisas futuras podem explorar em maior detalhe os impactos práticos das recomendações aqui apresentadas, com foco em iniciativas de colaboração entre governo, indústria e academia (hélice tríplice de inovação de defesa). Complementarmente, é recomendável a realização de estudos de caso específicos sobre a implementação bem-sucedida de políticas e programas tecnológicos de aplicação militar da IA em outros países.

REFERÊNCIAS

ABIMDE - Associação Brasileira das Indústrias de Materiais de Defesa e Segurança. "Medidas Viabilizadoras". **ABIMDE** [2018]. Disponível em: <www.abimde.org.br>. Acesso em: 14/12/2024.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. "Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis". **Journal of Informetrics**, vol. 11, n. 4, 2017.

AZEVEDO, CC. E. F.; BORBA, G. A.; DE ARAÚJO, L. E. "Desafios para a política de inovação no setor de defesa brasileiro: óbices e barreiras culturais e estruturais". **Revista da Escola de Guerra Naval**, vol. 27, n. 1, 2021.

BARBOSA, M. S. M. **Os principais óbices da relação defesa, indústria e academia que impactam no desenvolvimento da base industrial de defesa** (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Altos Estudos de Política e Estratégia). Rio de Janeiro: Escola Superior de Guerra, 2018.

BENAICH, N.; HOGART, I. "State of AI Report 2022". **Blog Nathan Benaich** [2022]. Disponível em: <www.nathanbenaich.com>. Acesso em: 21/12/2024.

BIJOS, L. M.; ARRUDA, V. "A diplomacia cultural como instrumento de política externa brasileira". **Revista Dialogos**, vol. 13, n. 1, 2010.

BOOTH, A.; SUTTON, A.; PAPAIOANNOU, D. **Systematic Approaches to a Successful Literature Review**. London: Sage Publications, 2016.

BRASIL. **Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial - EBIA**. Brasíla: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 12/122024.

BRASIL. "Base Patentscope (WIPO)". **Gov.br** [2024a]. Dispo Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 12/122024.

BRASIL. **Diretriz estratégica de inteligência artificial para o Exército Brasileiro**. Brasíla: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2024b. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 12/122024.

BRASIL. **EB10-IG-01.018 - Instruções Gerais para a Gestão do Ciclo de Vida dos Sistemas e Materiais de Emprego Militar**. Brasília: Exército Brasileiro, 2024c. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 12/122024.

BRASIL. **Metodologia de Avaliação e Análise Tecnológica - AVANTEC V2**. A Brasília: Exército Brasileiro, 2024d. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 12/122024.

BRASIL. “IME vence competições no maior evento de Robótica da América Latina”. **Gov.br** [2024e]. Dispo Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 12/122024.

BRASIL. “**I**ME realiza Simpósio de Inteligência Artificial”. **Gov.br** [2024f]. Dispo Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 12/122024.

BRESSER-PEREIRA, L. C. “Estratégia e estrutura para um novo Estado”. **Brazilian Journal of Political Economy**, vol. 17, n. 3, 1997.

BRUSTOLIN, V. M.; OLIVEIRA, C. A.; SENNA, CC. J. “Análise das práticas de OFFSET nos contratos de defesa no Brasil”. **Revista da Escola de Guerra Naval**, vol. 22, n. 1, 2016.

CAUCHICK-MIGUEL, P. A. *et al*. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. São Paulo: Editora LTC, 2018.

CORRÊA, L. D. P.; MARINHO, B. C.; VIEIRA, A. L. “Mecanismos de proteção da propriedade intelectual de ativos intangíveis de produtos e sistemas de defesa”. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, vol. 34, n. 1, 2017.

CSERNATONI, R. **Weaponizing Innovation? Mapping Artificial Intelligence-enabled Security and Defence in the EU**. Stockholm: International Peace Research Institute, 2023.

DI LORENZO, A.; FIGUEIREDO, A. L. “Guerra dos chips: novas restrições dos EUA também impactam o Brasil”. **Olhar Digital** [2025]. Disponível em: <www.olhardigital.com.br>. Acesso em: 22/01/2025.

AMARANTE, J. C. A. A Base Industrial de Defesa Brasileira. **Ipea - Texto Para Discussão**, vol. 1758, 2012.

AMARANTE, J. C. A. “Processos de obtenção de tecnologia militar”. **Ipea - Texto Para Discussão**, vol. 1877, 2013.

ELSEVIER. “Scopus: banco de dados de resumos e citações multidisciplinar, abrangente e confiável”. **Elsevier** [2024]. Disponível em: <www.elsevier.com>. Acesso em: 12/12/2024.

EUROPEAN PATENT OFFICE. “Cooperative Patent Classification (CPC)”. **European Patent Office** [2023]. Disponível em: <www.epo.org>. Acesso em: 11/12/2024.

FAMILONI, B. “Cybersecurity challenges in the age of ai: theoretical approaches and practical solutions”. **Computer Science and IT Research Journal**, vol. 5, n. 3, 2024.

FERREIRA, D. S. *et al*. “Validação de um chatbot para o cuidado em saúde”. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 18, n. 53, 2024.

GALDINO, J. F. “Sistema Nacional de Inovação do Brasil: Uma Análise Baseada no Índice Global de Inovação.” **Coleção Meira Mattos: Revista das Ciências Militares**, vol. 12, n. 45, 2018.

GALDINO, J. F. “Análise de desempenho dos insumos de inovação do Sistema Nacional de Inovação do Brasil”. **Exacta**, vol. 17, n. 2, 2019.

GIRARDI, R.; FRANÇA JUNIOR, J. A.; GALDINO, J. F. “A customização de processos de avaliação de prontidão tecnológica baseados na escala TRL: desenvolvimento de uma metodologia para o Exército

Brasileiro". **Coleção Meira Mattos: Revista das Ciências Militares**, vol. 16, n. 57, 2022.

GIRARDI, R.; FRANÇA JUNIOR, J. A.; GALDINO, J. F. "Criticidade tecnológica na área de defesa em países em desenvolvimento: conceitos e critérios". **Revista de Gestão e Secretariado**, vol. 15, n. 4, 2024.

GIRARDI, R.; GALDINO, J. F. "A "dualidade" da dualidade tecnológica: implicações para países em desenvolvimento". **Coleção Meira Mattos: Revista das Ciências Militares**, vol. 18, n. 62, 2024.

GIRARDI, R.; GALDINO, J. F.; PELLANDA, P. C. "The Front End of Innovation in Defense: A Comprehensive Literature Review". *In*: BURT, S. (org.). **National Security in the Digital and Information Age**. London: IntechOpen, 2024.

G1. "Trump anuncia investimento de até US$ 500 bilhões em inteligência artificial". **G1** [2025]. Disponível em: <www.g1.globo.com>. Acesso em: 28/01/2025.

GOMES, C. F. C.; GOMES, T.; DOLIVEIRA, S. L. D. "Transformação digital na justiça militar: desafios e oportunidades da inteligência artificial". **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 17, n. 51, 2024.

GÜREL, E. "SWot Analysis: A Theoretical Review". **Journal of International Social Research**, vol. 10, n. 51, 2017.

HECHT, J. A. "Business Continuity Management". **Communications of the Association for Information Systems**, vol. 8, 2002.

HELSING. "Helsing - Artificial intelligence to protect our democracies". **Helsing** [2024]. Disponível em: <www.helsing.ai>. Acesso em: 12/01/2025.

HOBDAY, M. "Product complexity, innovation and industrial organisation". **Research Policy**, vol. 26, n. 6, 1998.

HRISTOVA, S. "Automation, Trust, Responsibility. *In*: HRISTOVA, S. **Proto-Algorithmic War**. London: Springer, 2022.

KANIA, E. B. **Battlefield Singularity**: Artificial Intelligence, Military Revolution, and China's Future Military Power. Washington: USACenter for a New American Security, 2017.

KONG, L.; WANG, J.; ZHAO, P. "YOLO-G: A Lightweight Network Model for Improving the Performance of Military Targets Detection". **IEEE Access**, vol. 10, 2022.

KRAKOWSKI, S.; LUGER, J.; RAISCH, S. "Artificial intelligence and the changing sources of competitive advantage". **Strategic Management Journal**, vol. 44, n. 6, 2023.

LENS. "The Lens - Free and Open Patent and Scholarly Search". **Lens** [2024]. Disponível em: <www.lens.org>. Acesso em: 12/12/2024.

LI, H. *et al*. "Explainable Intelligence-Driven Defense Mechanism against Advanced Persistent Threats: A Joint Edge Game and AI Approach". **IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing**, vol. 19, n. 2, 2022.

LIU, Y.; CHEN, M. "The Knowledge Structure and Development Trend in Artificial Intelligence Based

on Latent Feature Topic Model". **IEEE Transactions on Engineering Management**, vol. 71, 2024.

LUCKENBAUGH, J. "U.S. Falling Behind China in Critical Tech Race, Report Finds". **National Defense Magazine** [2023]. Disponível em: <www.nationaldefensemagazine.org>. Acesso em: 12/12/2024.

LYNCH, S. "2023 State of AI in 14 Charts". **Stanford University** [2023]. Disponível em: <www.stanford.edu>. Acesso em: 12/12/2024.

M&M. "Artificial Intelligence (AI) in Military Market". **M&M** [2023]. Disponível em: <www.marketsandmarkets.com>. Acesso em: 12/12/2024.

MAIA NETO, J. "O processo de transformação do exército brasileiro: um estudo sobre os reflexos da era do conhecimento". **Coleção Meira Mattos: Revista das Ciências Militares**, vol. 24, n. 3, 2011.

MASLEJ, N. *et al*. **The AI Index 2023 Annual Report**. Stanford: Stanford University, 2023.

MATVEEV, A.; MARTYANOVA, E. "Patentability of Computer Program Algorithms in the G20 States". **BRICS Law Journal**, vol. 9, n. 3, 2022.

NASCIMENTO, C. T. *et al*. "Integração da telemedicina na prática da cirurgia geral: desafios e perspectivas". **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 17, n. 51, 2024.

NATO. "Quantum Computing and Artificial Intelligence Expected to Revolutionize ISR". **NATO** [2022]. Disponível em: <www.act.nato.int>. Acesso em: 12/12/2024.

NATO. "Summary of NATO's revised Artificial Intelligence (AI) strategy". **NATO** [2024]. Disponível em: <www.act.nato.int>. Acesso em: 12/12/2024.

NSTXL. "How Artificial Intelligence is Changing the Future of Military Defense Strategies". **NSTXL** [2023]. Disponível em: <www.nstxl.org>. Acesso em: 12/12/2024.

ÖCHSNER, A. **Introduction to Scientific Publishing Backgrounds, Concepts, Strategies**. London: Springer, 2013.

PIRES, E. A.; RIBEIRO, N. M.; QUINTELLA, C. M. "Sistemas de Busca de Patentes: análise comparativa entre Espacenet, Patentscope, Google Patents, Lens, Derwent Innovation Index e Orbit Intelligence". **Cadernos de Prospecção**, vol. 13, n. 1, 2020.

PRECEDENCE RESEARCH. "Artificial Intelligence in Military Market". **Precedence Research** [2023]. Disponível em: <www.precedenceresearch.com>. Acesso em: 12/12/2024.

RABY, L. *et al*. "Integrating Army Doctrine and Engineering Design: Preparing Millennials to Become Future Officers". ASEE Annual Conference and Exposition Proceedings. Salt Lake City: ASEE Conferences, 2018.

RASHID, A. B. *et al*. "Artificial Intelligence in the Military: An Overview of the Capabilities, Applications, and Challenges". **International Journal of Intelligent Systems**, vol. 2023, n. 1, 2023.

RECIFE, D. J. P. B. F. G. **A inserção de benefícios fiscais da Base Industrial de Defesa (BID) nos processos de aquisições dos órgãos de Segurança Pública (OSP)**: uma proposta de aperfeiçoamento do Regime Especial Tributário para Indústria de Defesa (RETID) (Trabalho de Conclusão de Curso de

Especialização em Altos Estudos em Defesa). Rio de Janeiro: Escola Superior de Defesa, 2022.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence**: A Modern Approach. London: Pearson, 2020.

SAGHIRI, A. M. *et al*. "A Survey of Artificial Intelligence Challenges: Analyzing the Definitions, Relationships, and Evolutions". **Applied Sciences**, vol. 12, n. 8, 2022.

SALINAS-RÍOS, K.; GARCÍA LÓPEZ, A. "Bibliometrics, a useful tool within the field of research". **Journal of Basic and Applied Psychology Research**, vol. 3, n. 6, 2022.

SCHONS, D. L.; PRADO FILHO, H. V.; GALDINO, J. F. "Política Nacional de Inovação: uma questão de crescimento econômico, desenvolvimento e soberania nacional". **Coleção Meira Mattos: Revista das Ciências Militares**, vol. 14, n. 49, 2020.

SCHONS, D. L.; PRADO FILHO, H. V.; GALDINO, J. F. "Estudo comparado de Sistemas Setoriais de Inovação: Petróleo e Gás , Agronegócio e do Exército". *In*: AZEVEDO, C. E. F.; RAMOS, C. E. F. (orgs.). **Estudos de defesa**: inovação, estratégia e desenvolvimento industrial. Rio de Janeiro: FGV, 2022.

SIPRI. **Artificial Intelligence, Strategic Stability And Nuclear Risk**. Solna: Stockholm International Peace Research Institute, 2020.

SIPRI. **Trends in World Military Expenditure, 2023**. Solna: Stockholm International Peace Research Institute, 2024.

STANLY, M. "Role of AI in the Indian defence sector". **IndiaAi** [2023]. Disponível em: <www.indiaai.gov.in>. Acesso em: 12/12/2024.

TEODORO, P. V.; GOMES, D. C. M.; SILVA, L. R. R. . "A inteligência artificial a partir do raciocínio qualitativo: panorama de materiais didáticos no ensino de ciências naturais". **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 16, n. 47, 2023.

UNITED STATES. **7045.14 - The Planning, Programming, Budgeting, and Execution (PPBE) Process**. Washington: Department of Defense, 2017. Disponível em: <www.defense.gov>. Acesso em: 12/12/2024.

UNITED STATES. **5123.01H - Charter of the Joint Requirements Oversight Council (JROC) and Implementation of the Joint Capabilities Integration and Development System (JCIDS)**. Washington: Department of Defense, 2018. Disponível em: <www.defense.gov>. Acesso em: 12/12/2024.

UNITED STATES. **5000.85 - Major Capability Acquisition**. Washington: Department of Defense, 2020. Disponível em: <www.defense.gov>. Acesso em: 12/12/2024.

UNITED STATES. **Treasury Seeks Public Comment on Implementation of Executive Order Addressing U.S. Investments in Certain National Security Technologies and Products in Countries of Concern**. Washington: Department of The Treasury, 2023. Disponível em: <www.treasury.gov>. Acesso em: 21/01/2025.

UNITED STATES. **Department of Commerce Implements Controls on Quantum Computing and Other Advanced Technologies Alongside International Partners**. Washington: Bureau Industry and

Security, 2024. Disponível em: <www.bis.gov>. Acesso em: 22/01/2025.

VOLTAN, J. *et al*. "Methodology to build labeled corpora and classification models to assess technological readiness: a case study with defense technologies described by texts in pt-br". **Anais do** XXXIX **Simpósio Brasileiro de Banco de Dados**. Florianópolis: SBC, 2024a.

VOLTAN, J. *et al*. "Uma revisão e classificação das técnicas de avaliação de prontidão tecnológica baseadas na escala TRL". **Coleção Meira Mattos: Revista das Ciências Militares**, vol. 18, n. 61, 2024.

WENG, Y.; WU, J. "Big Data and Machine Learning in Defence". **International Journal of Computer Science and Information Technology**, vol. 16, n. 2, 2024.

WILHELM, C. *et al*. "System architecture practices to facilitate Department of Defense technology transfer". **Journal of Technology Transfer**, vol. 45, n. 3, 2020.

WIPO. "PATENTSCOPE - Pesquisa". **WIPO** [2024a]. Disponível em: <www.wipo.int>. Acesso em: 23/12/2024.

WIPO. "GII 2024 results". **WIPO** [2024b]. Disponível em: <www.wipo.int>. Acesso em: 23/12/2024.

ZHANG, Y. *et al*. "Application of Artificial Intelligence in Military: From Projects View". 6**th International Conference on Big Data and Information Analytics**. Shenzhen: BigDIA, 2020.

ZHANG, B.; ZHU, J.; SU, H. "Toward the third generation artificial intelligence". **Science China Information Sciences**, vol. 66, n. 2, 2023.



BOLETIM DE CONJUNTURA (BOCA)

Ano VII | Volume 21 | Nº 62 | Boa Vista |2025

http://www.ioles.com.br/boca

Editor chefe:

Elói Martins Senhoras

Conselho Editorial

Antonio Ozai da Silva, Universidade Estadual de Maringá

Vitor Stuart Gabriel de Pieri, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Charles Pennaforte, Universidade Federal de Pelotas

Elói Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Julio Burdman, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Patrícia Nasser de Carvalho, Universidade Federal de Minas Gerais

Conselho Científico

Claudete de Castro Silva Vitte, Universidade Estadual de Campinas

Fabiano de Araújo Moreira, Universidade de São Paulo

Flávia Carolina de Resende Fagundes, Universidade Feevale

Hudson do Vale de Oliveira, Instituto Federal de Roraima

Laodicéia Amorim Weersma, Universidade de Fortaleza

Marcos Antônio Fávaro Martins, Universidade Paulista

Marcos Leandro Mondardo, Universidade Federal da Grande Dourados

Reinaldo Miranda de Sá Teles, Universidade de São Paulo

Rozane Pereira Ignácio, Universidade Estadual de Roraima