

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CC ALEXANDRE SILVEIRA DA SILVA

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E BIG DATA NA VIGILÂNCIA MARÍTIMA:
Desafios para o Brasil à luz da experiência chinesa**

Rio de Janeiro

2025

CC ALEXANDRE SILVEIRA DA SILVA

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E BIG DATA NA VIGILÂNCIA MARÍTIMA:
Desafios para o Brasil à luz da experiência chinesa**

Dissertação apresentada à Escola de Guerra Naval como requisito parcial para a conclusão do Curso de Estado-Maior para Oficiais Superiores.

Orientador: CC THIAGO MENEZES

Rio de Janeiro
Escola de Guerra Naval
2025

DECLARAÇÃO DA NÃO EXISTÊNCIA DE APROPRIAÇÃO INTELECTUAL IRREGULAR

Declaro que este trabalho acadêmico: a) corresponde ao resultado de investigação por mim desenvolvida, enquanto discente da Escola de Guerra Naval (EGN); b) é um trabalho original, ou seja, que não foi por mim anteriormente utilizado para fins acadêmicos ou quaisquer outros; c) é inédito, isto é, não foi ainda objeto de publicação; e d) é de minha integral e exclusiva autoria.

Declaro também que tenho ciência de que a utilização de ideias ou palavras de autoria de outrem, sem a devida identificação da fonte, e o uso de recursos de Inteligência Artificial no processo de escrita constituem grave falta ética, moral, legal e disciplinar. Ademais, assumo o compromisso de que este trabalho possa, a qualquer tempo, ser analisado para verificação de sua originalidade e ineditismo, por meio de ferramentas de detecção de similaridades ou por profissionais qualificados.

Os direitos morais e patrimoniais deste trabalho acadêmico, nos termos da Lei 9.610/1998, pertencem ao seu Autor, sendo vedado o uso comercial sem prévia autorização. É permitida a transcrição parcial de textos do trabalho ou mencioná-los, para comentários e citações, desde que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos e ideias expressas neste trabalho acadêmico são de responsabilidade do Autor e não retratam qualquer orientação institucional da EGN ou da Marinha do Brasil.

AGRADECIMENTOS

A construção desta dissertação foi, antes de tudo, uma jornada de aprendizado, amadurecimento e superação. Ao longo do percurso, tive o privilégio de contar com pessoas que, de distintas formas, contribuíram para que este trabalho se concretizasse. A todas elas, manifesto minha sincera gratidão.

À minha esposa, Joanna, pelo amor generoso e pela paciência infinita. Sua presença constante, mesmo nas ausências que a rotina exigiu, foi um alicerce imprescindível para a superação dos desafios desta etapa.

Às minhas filhas, Isabella e Stella, cujas ternura e leveza me fizeram lembrar, todos os dias, do que realmente importa. Vocês são fonte de inspiração e motivação permanente.

Aos meus pais, por representarem os valores que me orientam. A educação, o caráter e a confiança que recebi de vocês moldaram minha trajetória com firmeza e dignidade.

Ao Capitão de Corveta Thiago Menezes, meu orientador, pelo direcionamento técnico preciso, pela escuta atenta e pelas intervenções oportunas. Seu comprometimento com o rigor acadêmico e sua sensibilidade intelectual foram determinantes para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos companheiros da turma Almirante Marques de Leão, com quem compartilhei o cotidiano intenso do Curso de Estado-Maior. A convivência, as trocas e a camaradagem vividas serão lembradas com estima e respeito.

Concluo este agradecimento com a consciência de que nenhum esforço é verdadeiramente solitário. Levo comigo o aprendizado de que o conhecimento se fortalece na colaboração e no reconhecimento daqueles que caminham ao nosso lado.

“A new type of thinking is essential if mankind is to survive and move toward higher levels” (Einstein, 1946).

RESUMO

A presente dissertação analisa a aplicação de Inteligência Artificial e *Big Data* à gestão e proteção da Amazônia Azul, utilizando como referência a experiência chinesa desde a promulgação do Plano de Desenvolvimento de Nova Geração de IA no país, em 2017. A pesquisa está estruturada em quatro eixos principais: fundamentos conceituais e estratégicos dessas tecnologias; estudo de caso sobre a integração de IA e *Big Data* na proteção da Zona Econômica Exclusiva (ZEE) da China; avaliação da evolução institucional e tecnológica brasileira no contexto do Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz); e comparação entre os modelos chinês e brasileiro. O estudo identificou que, enquanto a China adota uma estratégia centralizada com forte articulação civil-militar e investimentos consistentes em tecnologias emergentes, o Brasil enfrenta entraves relacionados à ausência de diretrizes estratégicas específicas, limitações orçamentárias e baixa maturidade tecnológica. A análise evidenciou que, embora não seja viável a transposição direta do modelo chinês ao contexto nacional, a experiência daquele país oferece lições úteis para o aprimoramento do SisGAAz, especialmente quanto à automação analítica, integração sensorial e coordenação interagências. A dissertação conclui que o fortalecimento da capacidade brasileira de vigilância e proteção marítima depende da institucionalização de uma estratégia nacional de IA voltada à defesa, sustentada por investimentos em infraestrutura, formação de pessoal e governança tecnológica. Como contribuições adicionais, o trabalho propõe parâmetros técnicos e organizacionais compatíveis com as diretrizes da Política Nacional de Defesa (PND) e do Plano Estratégico da Marinha (PEM), indicando caminhos para a incorporação gradual e sustentável de tecnologias de IA no domínio marítimo brasileiro.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Big Data. Amazônia Azul. Defesa Marítima. SisGAAz. China. Marinha do Brasil.

ABSTRACT

Artificial Intelligence and Big Data in Maritime Surveillance: Challenges for Brazil in Light of the Chinese Experience

This dissertation analyzes the application of Artificial Intelligence (AI) and Big Data to the management and protection of the Blue Amazon, using China's experience since the enactment of its New Generation Artificial Intelligence Development Plan in 2017 as a reference. The research is structured around four main axes: conceptual and strategic foundations of these technologies; case study on the integration of AI and Big Data in the protection of China's Exclusive Economic Zone (EEZ); evaluation of the Brazilian institutional and technological evolution in the context of the Blue Amazon Management System (SisGAAz); and comparison between the Chinese and Brazilian models. The study identified that while China adopts a centralized strategy with strong civil-military integration and consistent investments in emerging technologies, Brazil faces challenges related to the lack of specific strategic guidelines, budgetary constraints, and low technological maturity. The analysis demonstrated that, although directly replicating the Chinese model in the national context is not feasible, its experience provides valuable lessons for improving SisGAAz, especially regarding analytical automation, sensor integration, and interagency coordination. The dissertation concludes that strengthening Brazil's capacity for maritime surveillance and protection depends on institutionalizing a national AI strategy focused on defense, supported by investments in infrastructure, personnel training, and technological governance. As additional contributions, the study proposes technical and organizational parameters aligned with the National Defense Policy and the Brazilian Navy's Strategic Plan, outlining possible paths for the gradual and sustainable incorporation of AI technologies in the Brazilian maritime domain.

Keywords: Artificial Intelligence. Big Data. Blue Amazon. Maritime Defense. SisGAAz. China. Brazilian Navy.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIS	–	<i>Automatic Identification System</i>
AJB	–	Águas Jurisdicionais Brasileiras
Amazul	–	Amazônia Azul Tecnologias de Defesa S.A.
ARPs	–	Aeronaves remotamente pilotadas
AUVs	–	Veículos Autônomos Submarinos
BID	–	Base Industrial de Defesa
C4IVR	–	Comando, Controle, Comunicações, Computação, Inteligência, Vigilância e Reconhecimento
CNNs	–	Redes Neurais Convolucionais
COMPAAz	–	Comando de Operações Marítimas e Proteção da Amazônia Azul
CSM	–	Consciência Situacional Marítima
DARPA	–	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
EBIA	–	Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial
EDM	–	Estratégia de Defesa Marítima
EGN	–	Escola de Guerra Naval
EMBRAER	–	Empresa Brasileira de Aeronáutica
END	–	Estratégia Nacional de Defesa
EPL	–	Exército Popular de Libertação
IA	–	Inteligência Artificial
IVR	–	Inteligência, Vigilância e Reconhecimento
JAIC	–	<i>Joint Artificial Intelligence Center</i>
LBDN	–	Livro Branco de Defesa Nacional
LRIT	–	Long Range Identification and Tracking
MANSUP	–	Míssil Antinavio Nacional de Superfície
MB	–	Marinha Brasileira
MT	–	Mar Territorial
NASA	–	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NOAA	–	National Oceanic and Atmospheric Administration
OBE	–	Objetivo Estratégico da Marinha

OCDE	–	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OTAN	–	Organização do Tratado do Atlântico Norte
OTH	–	<i>Over-the-Horizon</i>
PC	–	Plataforma Continental
PEM	–	Plano Estratégico da Marinha
PND	–	Política Nacional de Defesa
PREPS	–	Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélite
PROMAR	–	Programa de Desenvolvimento da Indústria Naval e da Construção Offshore Nacional
REPMUS	–	<i>Robotic Experimentation and Prototyping with Maritime Unmanned Systems</i>
SARP	–	Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SCUA	–	Sistema de Consciência Situacional Unificado por Aquisição de Informações Marítimas
SIMMAP	–	Sistema de Monitoramento Marítimo e Apoio às Atividades do Petróleo
SisGAAz	–	Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul
SISTRAM	–	Sistema de Informações sobre o Tráfego Marítimo
SOA	–	<i>Service-Oriented Architecture</i>
TRL	–	<i>Technology Readiness Level</i>
UAVs	–	Veículos Não Tripulados Aéreos
UV	–	Unidade de Vigilância Costeira
ZEE	–	Zona Econômica Exclusiva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE A APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DOMÍNIO MARÍTIMO	14
2.1	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: CONCEITOS FUNDAMENTAIS E IMPLICAÇÕES ESTRATÉGICAS	14
2.2	ARCABOUÇO INSTITUCIONAL E DOUTRINÁRIO	16
2.3	INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA NO DOMÍNIO MARÍTIMO	17
2.4	ESTÁGIOS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA APLICADOS À DEFESA.....	18
2.5	APLICAÇÕES OPERACIONAIS E CONSCIÊNCIA SITUACIONAL MARÍTIMA.....	19
3	A EXPERIÊNCIA CHINESA NO EMPREGO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E BIG DATA NA PROTEÇÃO DA SUA ZONA ECONÔMICA EXCLUSIVA.....	21
3.1	PANORAMA INSTITUCIONAL E DOUTRINÁRIO CHINÊS SOBRE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	21
3.2	APLICAÇÕES OPERACIONAIS CONCRETAS DA IA CHINESA NA ZONA ECONÔMICA EXCLUSIVA.....	24
3.3	ANÁLISE CRÍTICA DA APLICAÇÃO CHINESA COM BASE NO REFERENCIAL TÉCNICO-OPERACIONAL	27
4	A GESTÃO E A PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA AZUL: O SISGAZ E O PANORAMA INSTITUCIONAL BRASILEIRO SOBRE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	32
4.1	A CONCEPÇÃO DA AMAZÔNIA AZUL E O IMPERATIVO DE SUA PROTEÇÃO	32
4.2	PANORAMA INSTITUCIONAL E DOUTRINÁRIO BRASILEIRO SOBRE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO SETOR DE DEFESA MARÍTIMA.....	33
4.3	O SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA AMAZÔNIA AZUL: ESTRUTURA E FUNCIONALIDADES.....	36
4.4	AVANÇOS, LIMITAÇÕES E DESAFIOS PARA A CONSOLIDAÇÃO DA CAPACIDADE NACIONAL DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA AZUL	40
5	CONFRONTO ENTRE A EXPERIÊNCIA CHINESA E AS POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO NA REALIDADE BRASILEIRA	43
5.1	PREMISSAS COMPARATIVAS E CRITÉRIOS DE ANÁLISE.....	43

5.2 ARCABOUÇO INSTITUCIONAL E DOUTRINÁRIO: CENTRALIZAÇÃO VERSUS DISPERSÃO	44
5.3 CAPACIDADES TECNOLÓGICAS E ESTÁGIO DE MATURIDADE	45
5.4 APLICAÇÕES OPERACIONAIS E CONSCIÊNCIA SITUACIONAL MARÍTIMA	46
5.5 LIÇÕES APLICÁVEIS E LIMITES DA ADAPTAÇÃO BRASILEIRA	47
6 CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

A incorporação de tecnologias emergentes, como a Inteligência Artificial (IA) e o *Big Data*¹, tem promovido mudanças significativas na forma como os Estados organizam a vigilância e a proteção de seus espaços marítimos. Tais recursos permitem a coleta, o processamento e a análise automatizada de grandes volumes de dados, ampliando a consciência situacional e a capacidade de resposta frente a ameaças. Em ambientes complexos e de elevada sensibilidade estratégica, como as Zonas Econômicas Exclusivas (ZEE)², o emprego dessas tecnologias configura um diferencial operacional relevante para a segurança, o desenvolvimento e a soberania nacionais.

No caso brasileiro, destaca-se o conceito da Amazônia Azul³, formulado para expressar a importância estratégica, econômica e ambiental das Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), que abrigam recursos naturais vitais, rotas comerciais essenciais e uma extensa biodiversidade marinha. Com mais de 5,7 milhões de km², essa área apresenta desafios significativos para sua proteção, em razão da sua magnitude, da dispersão das infraestruturas e da diversidade de riscos identificados, como pesca ilegal, crimes transnacionais, ameaças ambientais e ações de inteligência hostil. Tais características impõem a necessidade de capacidades tecnológicas avançadas para o monitoramento e a defesa do espaço marítimo nacional.

Nesse contexto, a criação do Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz), concebido como estrutura modular e interoperável para prover vigilância contínua sobre as AJB, representa um marco institucional. O projeto envolve iniciativas voltadas à integração de sensores, parcerias interagenciais⁴ e adoção de

¹ *Big Data* é um conceito que descreve a capacidade de capturar, armazenar, processar e analisar dados em larga escala, provenientes de múltiplas fontes e com diferentes formatos, visando gerar *insights* úteis para a tomada de decisão.

² ZEE é a denominação da faixa marítima situada além do Mar Territorial (MT), estendendo-se até 200 milhas náuticas (≈ 370 km) a partir das linhas de base, na qual o Estado costeiro detém direitos soberanos exclusivos para exploração, conservação e gestão dos recursos naturais e jurisdição sobre pesquisa científica, construção de estruturas artificiais e proteção ambiental, com liberdade de navegação assegurada a outras nações.

³ Amazônia Azul é o conceito político-estratégico cunhado em 2004 pela Marinha do Brasil (MB), por meio do Almirante de Esquadra Roberto de Guimarães Carvalho, e consiste na região marítima “onde o Brasil detém direitos de soberania para aproveitamento econômico dos recursos naturais, quer existentes na massa líquida ou no subsolo marinho” (Brasil, 2020a).

⁴ Parcerias interagenciais são cooperações articuladas entre as Forças Armadas e outros órgãos públicos, entidades da sociedade ou setor privado, para o planejamento e o emprego coordenado em operações conjuntas.

uma arquitetura de comando e controle. Entretanto, a aplicação de IA e *Big Data* ainda demanda desenvolvimento e estruturação. Em paralelo, observa-se que outras nações, como a China, têm adotado abordagens distintas quanto à incorporação de tais tecnologias à defesa marítima.

Nas últimas décadas, a China consolidou uma estratégia nacional voltada ao domínio da IA, enfatizando a utilização dessa ferramenta na modernização das capacidades navais. O *New Generation Artificial Intelligence Development Plan* (China, 2017 *apud* Webster *et al.*, 2017) e o *China's National Defense in the New Era*, Livro Branco de Defesa da China (2019), consagram o conceito de Guerra Inteligente, segundo o qual a IA atua como elemento estruturante da superioridade informacional, da automação tática e da projeção de poder. A doutrina chinesa associa a tecnologia à vigilância persistente, à fusão sensorial multiescalar⁵ e à análise preditiva em tempo real, demonstrando elevado grau de maturidade tecnológica e articulação estratégica.

Diante desse cenário, a presente pesquisa busca responder à seguinte pergunta: como a experiência da China no uso de IA e *Big Data* para proteção de sua ZEE pode ser aplicada à gestão e defesa da Amazônia Azul? A investigação foi estruturada com base em abordagem descritiva e comparativa, sem emitir juízos de valor ou prescrever modelos normativos. O foco recai sobre a análise de evidências documentais e técnico-operacionais disponíveis, com o objetivo de identificar lições transferíveis e aspectos condicionantes à adoção de tecnologias emergentes⁶ no setor de defesa marítima nacional.

A metodologia adotada caracteriza-se como qualitativa, exploratória e aplicada, contemplando revisão bibliográfica e documental de fontes oficiais, estudos técnico-científicos e diretrizes institucionais. O referencial teórico está centrado nos conceitos de segurança marítima, consciência situacional e inovação tecnológica aplicada à defesa. A lógica de investigação emprega análise comparativa entre os modelos chinês e brasileiro, buscando interpretar padrões de adoção tecnológica, capacidades desenvolvidas e limites institucionais.

⁵ Fusão sensorial multiescalar é o processo de integração de dados provenientes de diferentes sensores (e modalidades), com frequência e escala heterogênea, com o propósito de produzir uma representação informacional mais precisa, robusta e abrangente do ambiente ou sistema sob observação, reduzindo incertezas e possibilitando inferências e decisões que não seriam viáveis com sensores individuais

⁶ Tecnologias emergentes são inovações tecnológicas ainda em fase inicial de desenvolvimento ou maturação, com elevado potencial transformador e capacidade de criar ou reformular indústrias e mercados, mas que ainda não estão amplamente difundidas.

O objetivo geral do trabalho consiste em analisar a aplicação das tecnologias de IA e *Big Data* à gestão e proteção da Amazônia Azul, à luz da experiência chinesa. Para isso, são estabelecidos quatro objetivos específicos: descrever os fundamentos teóricos e técnicos da IA no domínio marítimo; examinar o emprego estratégico dessas tecnologias na ZEE da China; avaliar o estágio atual de desenvolvimento do SisGAAz; e confrontar os dois modelos, identificando elementos compatíveis com a realidade brasileira. Como contribuição, pretende-se oferecer subsídios à formulação de estratégias nacionais voltadas à inovação no setor de defesa naval.

A dissertação está estruturada em seis capítulos. O capítulo 2 apresenta os fundamentos conceituais, doutrinários e técnicos associados ao emprego da IA e do *Big Data* no setor marítimo. O capítulo 3 analisa a experiência da China na aplicação dessas tecnologias à proteção de sua ZEE. O capítulo 4 examina o conceito de Amazônia Azul, a evolução institucional do SisGAAz e o panorama brasileiro sobre IA na defesa dos mares. O capítulo 5 realiza a análise comparativa entre os dois modelos, destacando convergências, dissociações e potenciais lições. Por fim, o capítulo 6 compreende as conclusões, limitações da pesquisa e sugestões para o aprimoramento das capacidades nacionais no tocante ao tema abordado.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE A APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DOMÍNIO MARÍTIMO

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica da pesquisa, com foco nos conceitos, diretrizes e modelos institucionais relacionados ao emprego da IA no domínio marítimo. A abordagem adotada é descritiva, evitando proposições normativas ou análises comparativas, e busca sintetizar os referenciais necessários à compreensão dos capítulos analíticos subsequentes. Para isso, a presente seção foi estruturada em cinco eixos temáticos: os fundamentos conceituais e estratégicos da IA; o arcabouço institucional e doutrinário associado à aplicação desse instrumento; os desafios da integração tecnológica no setor marítimo; os estágios de maturidade tecnológica aplicados à defesa; e as aplicações operacionais voltadas à Consciência Situacional Marítima (CSM)⁷. As referências mobilizadas foram extraídas de organismos internacionais, estratégias nacionais e estudos técnico-acadêmicos sobre o tema.

2.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: CONCEITOS FUNDAMENTAIS E IMPLICAÇÕES ESTRATÉGICAS

A IA pode ser definida como um sistema computacional capaz de realizar tarefas tradicionalmente associadas à inteligência humana, como reconhecimento de padrões, aprendizado e tomada de decisão. Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), trata-se de sistemas baseados em máquinas que, para objetivos definidos, podem formular recomendações ou decisões capazes de influenciar ambientes reais ou virtuais (OECD, 2019).

Com aplicações crescentes nas esferas civil e militar, a IA tem despertado atenção global quanto à necessidade de regulamentação ética e segura. A United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO, 2021) reconhece essa ferramenta como novo vetor de poder, recomendando sua governança com base em direitos humanos, equidade e transparência, enquanto os Princípios da OCDE destacam a importância de inovação confiável, robustez técnica e responsabilidade no desenvolvimento e uso desse tipo de tecnologia.

⁷ CSM refere-se à capacidade de formar um quadro contínuo e preciso do ambiente marítimo, com base em dados integrados provenientes de múltiplas fontes.

Considerada uma tecnologia estratégica, a IA é capaz de alterar profundamente o cenário militar. Os Estados Unidos instituíram, em 2018, o *Joint Artificial Intelligence Center* (JAIC), cuja missão é coordenar iniciativas de IA em todo o Departamento de Defesa, identificar e implementar soluções aptas a resolver problemas complexos que envolvam múltiplos sistemas de combate, garantir que esses sistemas disponham de acesso em tempo real a bibliotecas de dados e ferramentas em constante evolução, além de acelerar sua adoção nas Forças Armadas (Black *et al.*, 2024).

No ano de 2021, a Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) aprovou sua primeira Estratégia de IA, que estabelece objetivos para acelerar a adoção da IA nas atividades de defesa, bem como seis princípios de uso responsável, como legalidade, governança e mitigação de vieses. Em 2024, a estratégia foi atualizada para abranger tecnologias emergentes e reforçar mecanismos de validação e interoperabilidade de sistemas de IA empregados por países aliados (NATO, 2024a).

A China (2017 *apud* Webster *et al.*, 2017) criou, em 2017, o Plano de Desenvolvimento de Nova Geração de IA, com o objetivo declarado de alcançar a liderança global na área até 2030. A iniciativa posiciona a IA como tecnologia estratégica e elemento estruturante da modernização nacional, com implicações nas áreas de defesa, economia e inovação. O documento define metas ambiciosas para a pesquisa, a formação de talentos, o fomento industrial e o desenvolvimento de marcos regulatórios próprios. Essa diretriz estratégica insere a IA no centro das políticas públicas chinesas, tornando-se referência para o planejamento estatal e para a articulação entre diferentes setores da sociedade.

Em 2021, o Brasil lançou a Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (EBIA), documento orientador da promoção do uso ético, confiável e inclusivo da IA no país. A EBIA abarca sete eixos temáticos, como governança, capacitação profissional, pesquisa científica e uso em áreas prioritárias, entre elas a saúde, a educação e a indústria. Embora seu foco seja o setor civil, a estratégia reconhece a importância do tema para a segurança e a defesa, ainda que sem detalhamento técnico-operacional. Ao delimitar princípios norteadores e incentivar o desenvolvimento de um ecossistema nacional de IA, a EBIA representa o marco inicial na formulação de políticas públicas brasileiras sobre o tema (Brasil, 2021a).

2.2 ARCABOUÇO INSTITUCIONAL E DOUTRINÁRIO

O arcabouço institucional relacionado à IA compreende os mecanismos legais, organizacionais e estratégicos que regulam a pesquisa, o desenvolvimento e a aplicação dessa tecnologia. Tais estruturas variam conforme o sistema político e o grau de maturidade tecnológica de cada país, podendo ser centralizadas ou distribuídas. O objetivo comum é afiançar que a adoção da IA seja eficiente, segura e compatível com os interesses nacionais (OECD, 2019).

Nos Estados Unidos, a criação do JAIC, em 2018, representou uma tentativa de centralizar os esforços do Departamento de Defesa no campo da IA. Essa estruturação busca promover interoperabilidade, fomentar inovação e garantir que os sistemas sejam incorporados com confiabilidade técnica e respeito aos marcos legais internacionais (Black *et al.*, 2024).

Já a China (2017 *apud* Webster *et al.*, 2017) adota um modelo centralizado, no qual o Estado exerce papel diretivo na integração entre setores civil e militar. O plano nacional chinês de 2017 define a IA como tecnologia prioritária e impulsiona a chamada fusão civil-militar⁸. Essa orientação permite que inovações desenvolvidas na esfera civil sejam adaptadas e incorporadas rapidamente ao aparato de defesa.

Organizações internacionais também têm estabelecido diretrizes para o desenvolvimento institucional da IA. A OCDE recomenda que os Estados adotem modelos cooperativos, com participação de diversos setores sociais e mecanismos de governança claros. A OTAN, por sua vez, sugere que os países-membros criem instâncias de coordenação dedicadas à IA em defesa, com foco em certificação, validação e segurança operacional (NATO, 2024a).

No Brasil, a EBIA, iniciativa isolada do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, é o único documento estratégico em nível nacional que aborda o assunto. Essa publicação trata prioritariamente do uso civil da IA e reconhece aplicações em segurança e defesa. No entanto, não há, até o momento, uma estrutura normativa ou institucional voltada especificamente ao emprego da IA em operações militares ou marítimas (Brasil, 2021a).

⁸ Fusão civil-militar é uma estratégia de governança estatal promovida pela China, cujo objetivo é integrar de maneira coordenada e sinérgica os recursos, capacidades, tecnologias e processos dos setores civil e militar, com vistas ao fortalecimento da capacidade estratégica nacional (Yang; Evrom; Bitzinger, 2021).

A inexistência de uma autoridade nacional dedicada à IA na defesa implica desafios para o alinhamento entre pesquisa, aplicação e planejamento estratégico. Projetos como o SisGAAz envolvem múltiplas instituições, mas carecem de uma doutrina consolidada e de integração normativa. A falta de um centro coordenador limita a capacidade de acelerar a adoção operacional da IA e de estabelecer requisitos comuns às iniciativas existentes (EGN, 2020).

2.3 INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA NO DOMÍNIO MARÍTIMO

A integração tecnológica no setor marítimo refere-se à capacidade de reunir, coordenar e operar sistemas diversos, quais sejam, sensores, redes de dados, plataformas embarcadas e algoritmos, de forma coesa e eficaz. É essencial para a vigilância marítima, a resposta a incidentes, o controle de tráfego e a proteção de áreas de interesse estratégico (NATO, 2024b).

Efetivamente, a IA tem ampliado a capacidade de integração ao permitir a análise automatizada de grandes volumes de dados gerados por sensores ópticos, acústicos e satelitais. Com o uso de IA, é possível correlacionar eventos, prever anomalias e apoiar decisões em tempo quase real, desde que integrados a arquiteturas seguras e interoperáveis (EGN, 2020).

Uma vertente recente e em rápida evolução é a chamada IA Generativa, baseada em modelos de aprendizado profundo capazes de produzir conteúdo original, como textos, imagens, sons ou simulações, a partir de um massivo conjunto de informações. Diferentemente das abordagens preditivas tradicionais, que se limitam à classificação ou detecção de padrões, a IA Generativa viabiliza a criação autônoma de cenários táticos, dados sintéticos e relatórios operacionais, com potencial de aplicação direta na área de defesa (Zewe, 2023).

No setor marítimo, tecnologias de IA vêm sendo exploradas para treinar algoritmos de detecção em ambientes simulados, elaborar cenários hipotéticos e apoiar a tomada de decisão com geração automatizada de inferências operacionais (Menges *et al.*, 2024; Qiao *et al.*, 2023). Embora ainda incipiente na estrutura de defesa brasileira, a IA Generativa representa um desdobramento relevante do campo da IA aplicada à segurança marítima e pode ampliar significativamente as capacidades de simulação e resposta adaptativa em ambientes complexos, como a ZEE (EGN, 2020).

No contexto da OTAN, o *Robotic Experimentation and Prototyping with Maritime Unmanned Systems* (REPMUS), exercício anual voltado à integração de sistemas autônomos em ambiente naval, tem servido como campo de testes para a interoperabilidade de veículos autônomos de diferentes países. A atuação conjunta de plataformas de superfície, submersas e aéreas permite validar a integração de sistemas com IA em redes de comando e controle multinacionais (NATO, 2024a).

No Brasil, a concepção do SisGAAz exige o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias emergentes e disruptivas, como IA, satélites, *Big Data* e plataformas autônomas. Segundo o Almirante Rabello⁹, para a plena implementação do SisGAAz, será fundamental empregar algoritmos de IA capazes de realizar análises preditivas e regressivas, bem como processar e armazenar grandes volumes de dados oriundos de múltiplas fontes sensoriais. O projeto também demanda adaptações organizacionais e a cooperação interagências, de modo a viabilizar uma consciência situacional marítima abrangente e integrada (Ozorio, 2021).

Estudos técnicos apontam que a integração tecnológica exige, além de infraestrutura adequada, uma governança eficaz e padrões de interoperabilidade. A experiência brasileira mostra avanços em parcerias institucionais, mas ainda enfrenta desafios de padronização, coordenação e validação operacional dos sistemas integrados (EGN, 2020).

2.4 ESTÁGIOS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA APLICADOS À DEFESA

A escala *Technology Readiness Level* (TRL)¹⁰ foi criada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) para avaliar o nível de maturidade de uma tecnologia, da pesquisa básica à aplicação operacional. Adotada por organizações como OTAN, Comissão Europeia e Ministério da Defesa do Brasil, oferece um modelo de nove níveis, que facilita decisões sobre riscos e investimentos (NASA, 2016).

Os níveis iniciais (TRL 1 a 3) indicam pesquisa exploratória, os intermediários (TRL 4 a 6) demonstram integração funcional em ambientes controlados, e os finais

⁹ Entrevista sobre o SisGAAz concedida ao *podcast* da Marinha do Brasil, A todo Pano (Agência Marinha de Notícias, 2024a), em 26 de novembro de 2020.

¹⁰ Modelo de nove níveis criado pela NASA para indicar o grau de maturidade tecnológica de um sistema ou uma solução.

(TRL 7 a 9) representam validação em campo e operação real. Esse modelo permite o planejamento estruturado do ciclo de vida de tecnologias sensíveis, como a IA (NATO, 2024a).

No setor de defesa, o TRL orienta a transição entre pesquisa, prototipagem e aplicação operacional, evitando adoção prematura e falhas em ambientes críticos. Ele também padroniza a avaliação técnica, o que facilita parcerias e interoperabilidade entre países e organizações internacionais (United States, 2023).

A OTAN recomenda a aplicação do TRL em experimentações militares, como os exercícios REPMUS, que testam tecnologias emergentes em ambientes controlados. A maturidade tecnológica, nesses casos, é critério para determinar se um sistema pode avançar para uso conjunto e para processos de aquisição padronizados (NATO, 2024b).

O Brasil incorporou o conceito TRL a seus projetos estratégicos no setor de defesa, incluindo a MB. A aplicação prática pode ser observada em iniciativas como o SisGAAz, cujos sistemas – tal qual o radar Gaivota X, integrado ao Sistema de Comando e Controle Georreferenciado e ao Sistema de Consciência Situacional Unificado por Aquisição de Informações Marítimas (SCUA) – têm seu incremento de maturidade tecnológica avaliado em colaboração com a Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER) antes da adoção operacional, conforme previsto no acordo institucional entre a MB e a EMBRAER (Agência Marinha de Notícias, 2024b).

A adoção do TRL em projetos de defesa permite reduzir incertezas tecnológicas, priorizar investimentos e assegurar que apenas soluções suficientemente maduras avancem para operações críticas. Tal abordagem é recomendada por organismos como NASA, OTAN e Departamento de Defesa dos Estados Unidos, justamente por aumentar a previsibilidade técnica e a segurança institucional em setores inovadores. Em áreas como a IA, o uso do TRL contribui para evitar a implementação prematura de sistemas ainda em desenvolvimento, alinhando-se às melhores práticas internacionais (Mankins, 1995; NATO, 2022; United States, 2023).

2.5 APLICAÇÕES OPERACIONAIS E CONSCIÊNCIA SITUACIONAL MARÍTIMA

A IA vem sendo incorporada a funções operacionais no domínio marítimo, especialmente em atividades como patrulhamento, monitoramento de tráfego,

proteção de áreas sensíveis e resposta a incidentes. A complexidade e a extensão das ZEEs têm impulsionado o desenvolvimento de sistemas inteligentes capazes de operar com autonomia e alta disponibilidade (Ottesen, 2020).

O conceito de CSM consiste na capacidade de consolidar informações sobre o ambiente marítimo a partir de múltiplas fontes, gerando um panorama tático atualizado em tempo real. A IA potencializa esse processo ao permitir a análise automatizada de dados e a identificação preditiva de padrões (IMO, 2024).

No cenário internacional, a OTAN investe na experimentação de sistemas autônomos em operações combinadas com IA embarcada. Exercícios como o REPMUS testam a interoperabilidade de veículos aéreos, de superfície e submersos, de forma coordenada para vigilância, resposta tática e guerra de minas (NATO, 2024b).

O projeto *Sea Hunter*¹¹, da *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA, 2018), exemplifica o uso operacional de embarcações não tripuladas guiadas por IA. Com autonomia para navegação e detecção, o sistema é capaz de realizar missões prolongadas sem intervenção humana direta, por isso representa um salto na capacidade de cobertura marítima persistente e operações antissubmarino.

Singapura emprega o sistema Pathmaster para operações de guerra de minas com plataformas autônomas. Veículos de superfície e submersíveis equipados com IA realizam detecção, classificação e neutralização de minas navais. Isso demonstra a maturidade operacional de sistemas inteligentes no ambiente marítimo (Thales Group, 2025; Vavasseur, 2025).

O conjunto de conceitos e diretrizes apresentados neste capítulo oferece um referencial teórico necessário à compreensão das experiências nacionais de adoção da IA no setor marítimo. Mediante a abordagem dos fundamentos conceituais, institucionais e operacionais da IA, com ênfase em sua aplicação na vigilância e proteção das ZEEs, buscou-se delinear o estado da arte sobre o tema em fontes especializadas e documentos oficiais. A exposição foi organizada por eixos temáticos que estruturam os capítulos analíticos subsequentes, sem promover interpretações ou juízos de valor. Com isso, a presente seção cumpre seu papel de base descritiva para a análise das estratégias adotadas pela China e das possibilidades de aplicação das práticas chinesas no contexto brasileiro.

¹¹ Embarcação autônoma desenvolvida pela DARPA (2018) para missões de vigilância marítima sem tripulação.

3 A EXPERIÊNCIA CHINESA NO EMPREGO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E BIG DATA NA PROTEÇÃO DA SUA ZONA ECONÔMICA EXCLUSIVA

O presente capítulo tem como objetivo analisar a experiência da China no emprego de tecnologias emergentes, especialmente a IA e o *Big Data*, na proteção e no monitoramento de sua ZEE. Com base em documentos oficiais, como o *New Generation Artificial Intelligence Development Plan* (China, 2017 *apud Webster et al.*, 2017), o Livro Branco de Defesa da China (2019) e relatórios de inteligência internacional, procura-se identificar os fundamentos institucionais e doutrinários que orientam a integração dessas tecnologias à estratégia marítima chinesa. A análise desenvolve-se em duas seções principais: a primeira aborda o panorama estratégico, normativo e doutrinário que estrutura o emprego de IA na dimensão marítima; a segunda examina aplicações operacionais concretas voltadas à vigilância, à antecipação de ameaças e ao controle das áreas sob jurisdição marítima chinesa. Tal abordagem visa destacar as singularidades do modelo chinês, marcado pela fusão civil-militar e pela centralização do planejamento tecnológico, oferecendo referências úteis à formulação de estratégias para a proteção da Amazônia Azul.

3.1 PANORAMA INSTITUCIONAL E DOUTRINÁRIO CHINÊS SOBRE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A República Popular da China tem adotado uma estratégia de Estado para o desenvolvimento da IA, inserindo a tecnologia como elemento estruturante de modernização militar, logística, industrial e científica do país. Essa diretriz foi oficializada com o *New Generation Artificial Intelligence Development Plan* (China, 2017 *apud Webster et al.*, 2017), publicado pelo Conselho de Estado Chinês em julho de 2017. O documento estabelece metas de curto, médio e longo prazos, com o objetivo de transformar a China em líder mundial em IA até 2030. Segundo o plano (China, 2017 *apud Webster et al.*, 2017, p. 4, tradução nossa):

A IA é uma tecnologia estratégica que liderará o futuro; os principais países desenvolvidos do mundo estão adotando o desenvolvimento da IA como uma estratégia importante para aumentar a competitividade nacional e proteger a segurança nacional¹².

O plano também prevê investimentos governamentais em infraestrutura digital, incentivos à pesquisa aplicada e estímulo à colaboração entre o setor privado e as instituições militares, indicando o caráter transversal e central da IA para os interesses nacionais chineses (China, 2017 *apud* Webster *et al.*, 2017).

No campo de segurança e defesa, a doutrina militar chinesa tem incorporado de forma acelerada os avanços tecnológicos, especialmente no domínio da IA. O Livro Branco de Defesa da China (2019), publicado em 2019, introduz o conceito de Guerra Inteligente¹³, destacando o papel da IA como vetor de transformação da capacidade dissuasória, da projeção assimétrica de poder e do domínio da informação. O documento enfatiza a necessidade de modernização informatizada das Forças Armadas e orienta o uso integrado de *Big Data*, computação em nuvem, internet das coisas e IA na arquitetura de comando e controle. Essa visão é compatível com a diretriz de transformar o Exército Popular de Libertação (EPL) em uma força “informatizada e inteligente”, com capacidade de operar em múltiplos domínios e com elevada autonomia decisória baseada em algoritmos e simulações preditivas (China, 2019).

A aplicação concreta da IA no domínio marítimo, no caso chinês, ocorre por meio da Marinha do Exército de Libertação Popular. A Comissão Militar Central, órgão máximo de comando militar da China, orienta o emprego da IA com foco em ampliar a vigilância das fronteiras marítimas, fortalecer o controle sobre a ZEE e garantir projeção estratégica no Mar do Sul da China, conforme delineado no Livro Branco de Defesa da China (2019) e no relatório *China Military Power*, da *Defense Intelligence Agency* (United States, 2019), entidade americana.

Em paralelo, análises recentes de iniciativas ocidentais em IA aplicada ao poder naval, como o relatório da Lloyd's Register (Sivori; Bruton, 2023), os exercícios REPMUS conduzidos por North Atlantic Treaty Organization (NATO, 2024) e os

¹² Do original: “AI is a strategic technology that will lead in the future; the world's major developed countries are taking the development of AI as a major strategy to enhance national competitiveness and protect national security”.

¹³ Guerra Inteligente – em mandarim, *zhinenghua zhanzheng* – é um conceito emergente no âmbito militar e representa uma evolução da guerra informacional, enfatizando o domínio de tecnologias como IA, sistemas autônomos e algoritmos (China, 2019).

estudos da EGN (2020), em parceria com a fundação Ezute, indicam que os principais programas de integração de IA em operações marítimas têm se estruturado em três eixos doutrinários: automação de processos táticos e operacionais; fusão cognitiva de sensores e fontes de dados; e apoio à decisão em tempo real por meio de algoritmos de aprendizado profundo¹⁴. Essas iniciativas, embora distintas da doutrina chinesa, ilustram tendências tecnológicas relevantes no cenário naval em todo o globo. Além disso, observa-se um esforço explícito de padronização no uso de IA em Veículos Autônomos Submarinos (AUVs), sistemas de comunicação criptografada e redes neurais embarcadas¹⁵ em plataformas navais (United States, 2019).

Um aspecto que distingue a abordagem chinesa é a integração entre os setores civil e militar, formalizada sob o conceito de fusão civil-militar (*civil-military fusion*). Instituições civis, como a Universidade de Tsinghua, e empresas líderes em tecnologia, como Baidu, Huawei, Hikvision e CETC, colaboram diretamente com o Ministério da Defesa e com institutos da Marinha. Essa cooperação abrange desde o desenvolvimento de algoritmos de reconhecimento facial e classificação de embarcações até o uso de IA para análise de dados de satélite e imagens hiperespectrais¹⁶. O modelo chinês combina incentivos governamentais, diretrizes estratégicas centralizadas e agilidade industrial, favorecendo a rápida prototipação e a aplicação de soluções táticas, especialmente nas áreas marítimas contestadas (Stone; Wood, 2020).

Como indicam o *New Generation Artificial Intelligence Development Plan* (China, 2017 *apud* Webster *et al.*, 2017) e o Livro Branco de Defesa da China (2019), a IA é concebida como instrumento transformador da guerra contemporânea, com ênfase em superioridade informacional, antecipação de ameaças e simulação preditiva no domínio marítimo. Essas diretrizes são corroboradas por análises técnico-

¹⁴ Os três eixos aqui mencionados – automação de processos táticos e operacionais; fusão cognitiva de sensores e fontes de dados; e apoio à decisão em tempo real por meio de algoritmos de aprendizado profundo – não fazem parte de uma formulação oficial da doutrina chinesa. Trata-se de uma categorização analítica extraída de fontes ocidentais, como Sivori e Bruton (2023), North Atlantic Treaty Organization (NATO, 2023) e Brasil (2020a), utilizadas para fins de análise comparativa neste trabalho.

¹⁵ Redes neurais embarcadas são modelos de IA otimizados para operar localmente em dispositivos com recursos computacionais limitados, como sensores, drones ou sistemas autônomos navais.

¹⁶ Uma imagem hiperespectral é um tipo de dado multivariado no qual cada *pixel* da imagem contém um espectro completo de reflectância ou emissão de energia, em vez de apenas valores de cor, permitindo a discriminação de alvos com base em suas propriedades físico-químicas.

operacionais recentes, que apontam a IA como eixo central da doutrina cognitiva chinesa, inclusive no contexto de dissuasão não cinética¹⁷ (United States, 2024).

Dessa forma, o panorama institucional e doutrinário chinês sobre IA revela uma convergência estratégica entre desenvolvimento tecnológico, projeção militar e defesa dos interesses marítimos. A estrutura centralizada de planejamento estatal, aliada à mobilização de universidades e corporações privadas, sustenta um ecossistema de inovação voltado não somente à segurança nacional, como também à gestão das Águas Jurisdicionais Chinesas. Essa arquitetura confere à China tanto meios tecnológicos avançados quanto um arcabouço doutrinário coeso, que fundamenta o emprego da IA na proteção da ZEE.

O próximo item analisará como essas diretrizes se traduzem em aplicações operacionais concretas no ambiente marítimo.

3.2 APLICAÇÕES OPERACIONAIS CONCRETAS DA IA CHINESA NA ZONA ECONÔMICA EXCLUSIVA

A integração operacional da IA na segurança marítima materializa-se em diversas frentes, interligadas por uma lógica de automação, antecipação e superioridade informacional (United States, 2019). Entre as plataformas mais emblemáticas, destacam-se os AUVs desenvolvidos pelo Instituto de Automação da Academia Chinesa de Ciências e empregados pela Marinha do EPL. Equipados com Redes Neurais Convolucionais (CNNs)¹⁸ embarcadas, sensores acústicos e sistemas de posicionamento integrados à constelação BeiDou¹⁹, esses submersíveis realizam missões de patrulhamento, mapeamento de fundos marinhos e detecção de atividades irregulares, especialmente em áreas sensíveis do Mar do Sul da China (Bhuvsha, 2023; United States, 2019).

¹⁷ Dissuasão não cinética é um conjunto de medidas e capacidades orientadas a impedir ou coibir ações adversárias, sem o emprego direto de força militar letal, baseando-se em instrumentos diplomáticos, informacionais, econômicos, cibernéticos ou tecnológicos para influenciar a decisão do oponente.

¹⁸ O conceito de CNNs, refere-se a uma arquitetura especializada de redes neurais artificiais amplamente utilizada no processamento e na análise de dados com estrutura espacial ou temporal, especialmente imagens, vídeos e sinais.

¹⁹ Sistema global de navegação por satélite desenvolvido e operado pela China, composto por dezenas de satélites em órbitas geossíncronas e não geossíncronas. Fornece serviços de posicionamento, navegação e temporização para uso civil e militar, sendo considerado o equivalente chinês ao norte-americano GPS, ao russo GLONASS e ao europeu Galileo (China, 2024a).

No domínio aéreo-marítimo, a China vem operando Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), como o modelo WJ-700, integradas a sistemas de análise de imagens hiperespectrais²⁰. A IA embarcada permite a identificação automática de embarcações, rastreamento de trajetórias e reconhecimento de padrões anômalos de comportamento. As ARPs atuam em rede com satélites e estações costeiras, viabilizando uma vigilância persistente em tempo real, essencial para o monitoramento de zonas disputadas e o controle do tráfego marítimo na ZEE (United States, 2019, 2021).

Outro exemplo relevante é o planador subaquático *Haiyi*, desenvolvido pela Academia Chinesa de Ciências, por meio do Instituto de Automação de Shenyang. Trata-se de um veículo autônomo não tripulado que opera por meio de variações de flutuabilidade, possibilitando missões prolongadas de coleta de dados oceanográficos e vigilância subaquática de forma energeticamente eficiente. Em 2017, um dos modelos *Haiyi* completou uma missão de três meses no Mar do Sul da China, o que evidencia a utilidade desse tipo de aeronave para operações persistentes em áreas estratégicas da ZEE chinesa (Kania, 2019).

Mais um exemplo expressivo é o uso de plataformas de vigilância costeira baseadas em torres sensorizadas dotadas de IA para fusão de dados. Esses sistemas combinam dados de radar, *Automatic Identification System* (AIS)²¹, imagens ópticas e sensores meteorológicos, processados localmente por algoritmos de aprendizado profundo²². O resultado é uma visualização situacional unificada, com alertas automatizados para aproximações não autorizadas, riscos de colisão e operações ilegais de pesca ou exploração mineral (China, 2019; Stone; Wood, 2020; United States, 2019).

²⁰ Imagens hiperespectrais são conjuntos de dados captados por sensores capazes de registrar centenas de bandas espectrais contínuas, permitindo a identificação de materiais, substâncias ou alvos com base em suas assinaturas espectrais únicas. Essa tecnologia é amplamente empregada em sensoriamento remoto, inteligência militar e vigilância ambiental, pois proporciona elevada acurácia na caracterização de objetos e ambientes (Chang *et al.*, 2022).

²¹ O AIS é um sistema automatizado de troca de informações de posicionamento e identificação entre embarcações e estações costeiras, por meio de transmissões via rádio VHF, com o objetivo de melhorar a segurança da navegação, prevenir colisões e apoiar as autoridades marítimas no monitoramento do tráfego.

²² Algoritmos de aprendizado profundo são modelos computacionais inspirados no funcionamento do cérebro humano, organizados em múltiplas camadas hierárquicas de processamento, capazes de extrair automaticamente características complexas dos dados e aprender representações de alto nível, especialmente úteis para tarefas como reconhecimento de imagem, fala, texto e padrões temporais.

Além disso, a China tem investido em sistemas de comando e controle baseados em IA para a gestão de incidentes em sua ZEE. Nesses centros, dados provenientes de múltiplas fontes são correlacionados em tempo real por redes neurais e modelos estatísticos bayesianos, permitindo simulações de cenários, predição de rotas e planejamento adaptativo de missões. Tais sistemas elevam a eficiência da resposta a ameaças emergentes, como incursões não autorizadas, ações de inteligência de adversários ou emergências ambientais (Stone; Wood, 2020; United States, 2019).

Um caso emblemático dessa evolução é o desenvolvimento e a operação do AUV HSU-001, considerado um dos primeiros veículos submarinos autônomos de grande porte da Marinha chinesa. Apresentado oficialmente em 2019, o HSU-001 foi projetado para realizar missões de reconhecimento de longo alcance, coleta de dados submarinos e vigilância de áreas contestadas na ZEE. Levantamentos realizados em fontes internacionais indicam que a embarcação é equipada com sistemas de navegação inercial, sensores de sonar de alta definição e módulos de processamento embarcados com capacidade de aprendizado adaptativo, possibilitando a detecção de alvos submarinos e a evasão de ameaças (Centre for Joint Warfare Studies, 2023; Sutton, 2019).

Além das funções de vigilância, a IA também tem sido aplicada em missões de Contramedidas de Minagem e Guerra Antissubmarino. Os sistemas autônomos chineses, como o HSU-001 e outras variantes menores de AUVs, são projetados para mapear o fundo do mar em alta resolução, identificar anomalias magnéticas ou acústicas compatíveis com minas e executar planos de varredura de risco reduzido. Essas capacidades, conforme reportado no *Military and Security Developments Involving the People's Republic of China – Annual Report to Congress* (United States, 2024), do Departamento de Defesa americano, reforçam a proteção de rotas marítimas críticas e de instalações estratégicas, como portos e campos de petróleo *offshore*.

Outro avanço relevante é a integração dos sistemas de IA embarcados com a rede de satélites da constelação BeiDou e sensores orbitais de observação terrestre. A China tem utilizado dados dessas plataformas para alimentar os algoritmos de vigilância marítima e, com isso, aprimorar a correlação de eventos na superfície e no

ambiente subaquático. Essa integração multiescalar²³ entre ativos espaciais e marítimos cria um ciclo contínuo de coleta, análise e resposta, reduzindo o tempo entre a detecção de ameaças e a tomada de decisão tática (China, 2017 *apud* Webster *et al.*, 2017; United States, 2019).

Ao consolidar essas capacidades, a China estabelece uma arquitetura operacional que combina vigilância persistente, projeção de força e consciência situacional ampliada na sua ZEE. O emprego coordenado de plataformas autônomas, sensores embarcados, redes de comando com IA e constelações satelitais demonstra um nível avançado de maturidade tecnológica, cuja eficácia, no entanto, permanece sujeita a limitações operacionais, desafios de interoperabilidade e preocupações com a segurança cibernética desses sistemas críticos (China, 2019; United States, 2019).

3.3 ANÁLISE CRÍTICA DA APLICAÇÃO CHINESA COM BASE NO REFERENCIAL TÉCNICO-OPERACIONAL

Analisar a experiência da China no emprego da IA para a proteção da sua ZEE requer um alinhamento com os referenciais técnico-operacionais apresentados no capítulo 2. Conforme estruturado anteriormente, as aplicações da IA no domínio marítimo podem ser analisadas sob quatro categorias principais: gestão, proteção, defesa e preservação dos recursos marinhos. Essa estrutura analítica servirá de base para a avaliação do grau de maturidade, das capacidades efetivas e das lacunas identificáveis no modelo chinês, considerando-se tanto a dimensão tecnológica quanto a doutrinária e institucional.

No domínio da gestão marítima, a China (2017 *apud* Webster *et al.*, 2017) adota uma arquitetura altamente centralizada e orientada por dados massivos, com utilização de IA para integrar sistemas portuários, vigiar fluxos pesqueiros, monitorar condições oceanográficas e simular cenários de escoamento logístico. Tais práticas convergem com o conceito de governança inteligente²⁴ baseada em *Big Data*, especialmente no exemplo europeu *Copernicus Marine Environment Monitoring*

²³ Integração multiescalar refere-se à abordagem que articula diferentes escalas de análise (local, regional, nacional, global) para compreender processos complexos.

²⁴ Governança inteligente pode ser compreendida como um modelo de gestão que integra tecnologias digitais, análise massiva de dados e processos participativos para aprimorar a eficiência administrativa, a qualidade dos serviços públicos e a resposta a desafios complexos (Meijer; Bolívar, 2016).

Service. No entanto, a experiência chinesa difere-se das demais pelo uso extensivo de plataformas proprietárias²⁵, que têm menor transparência e interoperabilidade com sistemas internacionais (China, 2019; United States, 2019).

Além disso, a China (China, 2017 *apud* Webster *et al.*, 2017) demonstra capacidade singular de agregar dados de múltiplas agências estatais, incluindo o Ministério dos Transportes, o Ministério da Agricultura e Assuntos Rurais e a Administração Meteorológica da China. Esses dados são processados por sistemas integrados que operam com IA para gerar visualizações situacionais unificadas e relatórios preditivos, com aplicações práticas na previsão de demanda portuária, otimização de rotas comerciais e alocação de recursos logísticos. Tal abordagem indica uma tendência de uso da IA como facilitadora de processos decisórios de alto nível, conforme concluído a partir das iniciativas documentadas nos planos nacionais chineses e relatórios institucionais (China, 2019; Stone; Wood, 2020).

Entretanto, o modelo chinês de gestão marítima com IA também apresenta limitações relevantes. A concentração de dados sob controle estatal restringe o acesso público e dificulta a cooperação com organismos internacionais, limitando a verificação externa e a validação científica (Stone; Wood, 2020; United States, 2019). Esse ponto contrasta com os sistemas de gestão compartilhada observados na União Europeia, nos quais a transparência e o acesso aberto aos dados são considerados componentes essenciais da boa governança marítima (Copernicus, 2023).

No campo da Segurança da Navegação Aquaviária, a aplicação da IA na China está centrada em sistemas embarcados e sensores de monitoramento distribuídos, que operam com autonomia parcial ou total. Plataformas como AUVs e ARPs processam dados de forma descentralizada, por meio de algoritmos especializados, a exemplo das CNNs, capazes de detectar padrões de risco, como aproximações indevidas, anomalias estruturais e falhas operacionais em instalações *offshore* (United States, 2019).

²⁵ Plataformas proprietárias são sistemas tecnológicos cujos desenvolvimento, operação e manutenção estão sob controle exclusivo de uma entidade detentora da propriedade intelectual, limitando a interoperabilidade, a customização e o acesso ao código-fonte por usuários externos. No contexto da defesa marítima, essas plataformas incluem sensores, *softwares* e algoritmos de IA embarcados, cujas especificações são restritas aos fabricantes ou governos controladores (Kenton, 2023; United States, 2018).

Essa abordagem é coerente com a integração entre IA e tecnologias de *edge computing*²⁶, e isso permite que algoritmos sejam embarcados diretamente em sensores e veículos autônomos, operando em tempo real, com baixa latência e independência de centros de comando terrestres. Comparativamente, países como Singapura e Noruega também utilizam IA embarcada em operações portuárias e de vigilância, mas com menor grau de autonomia operacional e maior controle humano direto (Sea Traffic Management, 2020). A China, ao adotar maior delegação decisória à IA, acelera a resposta a incidentes, mas enfrenta desafios no campo da responsabilização e da ética operacional (Stone; Wood, 2020).

Adicionalmente, a proteção de infraestruturas críticas na ZEE chinesa tem sido apoiada por redes sensoriais costeiras equipadas com IA, que analisam dados ambientais e mecânicos em tempo real. A integração com previsões meteorológicas e modelagem estatística permite antecipar eventos adversos, como tempestades e riscos de colisão. A utilização desses sistemas para emissão automatizada de alertas evidencia o papel da IA como ferramenta de mitigação de riscos operacionais, além de suporte à segurança da navegação (China, 2019; Stone; Wood, 2020; United States, 2019).

Em relação à Proteção Marítima, a experiência da China no emprego da IA destaca-se pela profundidade doutrinária e pela amplitude operacional. A função Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (IVR) encontra plena aplicação na doutrina chinesa por meio da fusão cognitiva de dados AIS, satelitais, sonar, radar e sensores meteorológicos. Essa fusão é processada em centros de comando e controle avançados, que operam com modelos estatísticos bayesianos e técnicas de aprendizado de máquina supervisionados e não supervisionados (China, 2019; United States, 2019).

As capacidades chinesas de IVR com IA extrapolam o mero suporte à decisão, permitindo respostas automatizadas em cenários táticos (China, 2019; United States, 2019). Um diferencial crítico em relação a outras Marinhas é a integração entre IA e guerra eletrônica, de modo a proporcionar superioridade cognitiva e informacional em zonas contestadas (United States, 2019). A doutrina de Guerra Inteligente incorpora explicitamente tais capacidades e posiciona a IA como elemento estrutural da projeção

²⁶ *Edge computing* refere-se ao processamento de dados localmente, no próprio dispositivo ou sensor, o que reduz a latência e a necessidade de comunicação com servidores centrais.

de poder marítimo. O Livro Branco de Defesa da China (2019, p. 4, tradução nossa) afirma o seguinte:

Impulsionada pela nova rodada de revolução tecnológica e industrial, a aplicação de tecnologias de ponta, como inteligência artificial (IA), informação quântica, *Big Data*, computação em nuvem e a Internet das Coisas, está ganhando força no campo militar. A competição militar internacional está passando por mudanças históricas. Novas tecnologias militares de alta tecnologia baseadas em TI estão se desenvolvendo rapidamente. Há uma tendência predominante de desenvolvimento de armamentos e equipamentos de longo alcance, de precisão, inteligentes, furtivos ou não tripulados. A guerra está evoluindo em direção à guerra informatizada, e a guerra inteligente está no horizonte²⁷.

Todavia, a defesa autônoma baseada em IA levanta questões sensíveis quanto à confiabilidade dos algoritmos, à interoperabilidade com aliados regionais e ao risco de escalada não intencional (United States, 2019). O emprego de IA em veículos não tripulados para patrulhamento em zonas disputadas, como o Mar do Sul da China, implica desafios de governança internacional e estabilidade geopolítica, o que demanda atenção estratégica contínua (China, 2019; United States, 2024).

No domínio da preservação ambiental, a China aplica IA para vigilância ecológica, detecção de poluição marítima e monitoramento de Unidades de Conservação Marinhas²⁸. Essa atuação ocorre por meio de satélites, boias inteligentes, veículos autônomos equipados com sensores multiespectrais e, mais recentemente, modelos numéricos baseados em IA, como a série *Mazu*, desenvolvida pelo *China National Marine Environmental Forecasting Center*. Esse sistema de código aberto integra algoritmos preditivos que permitem a análise de padrões oceanográficos e a geração de alertas ambientais em tempo quase real (China, 2024b). Embora o uso de IA em processos de modelagem ambiental esteja oficialmente documentado, ainda permanecem limitações quanto à transparência metodológica e à divulgação de resultados detalhados para a comunidade internacional (United States, 2019).

²⁷ Do original: “Driven by the new round of technological and industrial revolution, the application of cutting-edge technologies such as artificial intelligence (AI), quantum information, *Big Data*, cloud computing and the Internet of Things is gathering pace in the military field. International military competition is undergoing historic changes. New and high-tech military technologies based on IT are developing rapidly. There is a prevailing trend to develop long-range precision, intelligent, stealthy or unmanned weaponry and equipment. War is evolving in form towards informationized warfare, and intelligent warfare is on the horizon”.

²⁸ Unidades de Conservação Costeiras e Marinhas são áreas protegidas em ambientes marítimos e costeiros que podem abranger Águas Jurisdicionais e Plataforma Continental (PC). São instituídas pelo poder público com os objetivos de conservação ambiental, uso sustentável dos recursos naturais e planejamento territorial (Brasil, 2000, 2021c).

As soluções chinesas guardam semelhanças técnicas com as utilizadas por organizações como a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), mas se diferem no modelo de governança. Enquanto no Ocidente é comum a participação de centros acadêmicos e organizações não governamentais na interpretação e no uso dos dados ambientais, na China o processamento e a divulgação são centralizados, com escassa transparência pública. Isso pode limitar a cooperação internacional e reduzir a confiança nas medidas de mitigação ambiental adotadas (NOAA, 2021; United States, 2019).

Além disso, o foco estatal chinês na segurança energética e na exploração de recursos marítimos impõe uma tensão estrutural entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental (UNEP, 2019; United States, 2019). A IA, nesse contexto, é usada tanto para mitigar impactos quanto para viabilizar atividades extrativas de alta complexidade, como mineração submarina. Logo, é perceptível a ambivalência dessa tecnologia como instrumento de preservação e exploração simultânea (China, 2024b; United States, 2019).

Diante do exposto, observa-se que a experiência chinesa revela um modelo robusto, baseado na centralização estatal, na mobilização coordenada de recursos civis e militares e na incorporação estratégica da IA em todos os eixos operacionais da segurança marítima. A superioridade informacional é obtida por meio da automação avançada, da fusão de dados e da capacidade preditiva dos sistemas cognitivos embarcados e terrestres, enquanto a segurança das atividades econômicas e ambientais é promovida por mecanismos autônomos de vigilância e resposta. Ao mesmo tempo, os riscos relacionados à transparência, interoperabilidade internacional e confiabilidade algorítmica se impõem como desafios ainda não totalmente superados.

Essa análise evidencia que a IA na China não é um recurso complementar, mas um componente estrutural da política marítima, com implicações diretas para a segurança, a governança e a projeção de poder regional. O aprendizado institucional, a padronização tecnológica e o ritmo de experimentação operativa conferem à Marinha do EPL e aos órgãos correlatos uma posição de vantagem em relação a outras nações em desenvolvimento. A experiência chinesa, portanto, oferece não apenas um referencial técnico, mas também uma perspectiva geoestratégica, que será confrontada com as capacidades brasileiras no contexto da Amazônia Azul.

4 A GESTÃO E A PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA AZUL: O SISGAAZ E O PANORAMA INSTITUCIONAL BRASILEIRO SOBRE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Este capítulo contextualiza a experiência do Brasil na defesa do seu espaço marítimo, apresentando a concepção da Amazônia Azul, iniciativas em IA no setor de defesa e as funcionalidades do SisGAAz, preparando o terreno para a análise comparativa. O texto organiza-se em quatro seções. A primeira trata do conceito da Amazônia Azul e dos fundamentos estratégicos que justificam sua proteção. A segunda analisa o panorama institucional e normativo brasileiro relativo à IA no setor de defesa, com destaque para lacunas e perspectivas. A terceira seção estuda o SisGAAz, abordando sua estrutura, capacidades operacionais e tecnologias associadas. Por fim, discute-se o estágio atual de desenvolvimento do sistema, com ênfase nos avanços, limitações e desafios para consolidar uma capacidade nacional autônoma e eficaz de vigilância e proteção marítima.

4.1 A CONCEPÇÃO DA AMAZÔNIA AZUL E O IMPERATIVO DE SUA PROTEÇÃO

A concepção da Amazônia Azul surgiu no início do século XXI, como parte do esforço da MB para sensibilizar a sociedade quanto à importância estratégica e econômica das AJB, que representam aproximadamente 95% do comércio exterior nacional em volume e abrigam recursos vitais, como petróleo, gás natural e biodiversidade marinha (Brasil, 2020a, 2023). O termo foi proposto para estabelecer um paralelo direto com a Floresta Amazônica, aludindo que a zona marítima sob a soberania e a jurisdição brasileiras possui extensão, biodiversidade e riqueza de recursos comparáveis aos da região amazônica terrestre (Brasil, 2023). A área abrangida compreende o MT, a Zona Contígua, a ZEE e a PC estendida (Brasil, 2020a).

O conceito da Amazônia Azul está fortemente vinculado ao Poder Marítimo brasileiro, entendido como a capacidade nacional de utilizar o mar e as águas interiores para fins políticos, econômicos, militares e sociais (Brasil, 2020a). Essa visão é reforçada pelo Livro Branco de Defesa Nacional (LBDN), que reconhece o Atlântico Sul como área de interesse geoestratégico fundamental para a soberania e o desenvolvimento do Brasil (Brasil, 2020b).

Além de sua relevância econômica, a Amazônia Azul enfrenta crescentes desafios de segurança e defesa, devido à sua extensão e diversidade de ameaças. Os principais riscos são a pesca ilegal, não declarada e não regulamentada, o tráfico de drogas e armas, a poluição marítima, crimes ambientais e ações de inteligência ou sabotagem de atores estatais e não estatais (Brasil, 2023). A Estratégia Nacional de Defesa (END) reforça que a proteção das AJB é prioridade do Estado brasileiro, destacando a necessidade de desenvolver capacidades de vigilância, monitoramento e pronta resposta das Forças Armadas, com protagonismo da MB (Brasil, 2020d).

No campo doutrinário, a proteção da Amazônia Azul é objeto de orientações estratégicas na Estratégia de Defesa Marítima (EDM), que estabelece como Objetivo Estratégico da Marinha (OBE) n. 2 “Assegurar a soberania e os direitos de soberania e jurisdição na Amazônia Azul” (Brasil, 2023). O OBE 3 enfatiza a proteção das infraestruturas críticas²⁹ do Poder Marítimo, incluindo plataformas de petróleo, instalações portuárias e linhas de comunicação marítimas (Brasil, 2023). Essa orientação é consolidada pelo Plano Estratégico da Marinha (PEM), que estrutura as ações de proteção da Amazônia Azul em uma lógica de defesa proativa, com base em capacidades dissuasórias e de pronta resposta (Brasil, 2020a).

A necessidade de proteção da Amazônia Azul não se limita ao campo militar, abrange também uma dimensão geopolítica e ambiental. O LBDN destaca que a proteção da biodiversidade marinha, a segurança das rotas de navegação e a defesa contra ameaças emergentes, como o ciberterrorismo e a biopirataria, são componentes indissociáveis da END do espaço marítimo (Brasil, 2020b). O conceito da Amazônia Azul, portanto, transcende o aspecto geográfico e se consolida como um elemento estruturante da política de defesa, segurança e desenvolvimento sustentável do Brasil no século XXI (Brasil, 2020a).

4.2 PANORAMA INSTITUCIONAL E DOUTRINÁRIO BRASILEIRO SOBRE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO SETOR DE DEFESA MARÍTIMA

O panorama institucional brasileiro sobre IA no setor de defesa, especialmente marítimo, está em consolidação, com avanços pontuais, mas lacunas normativas

²⁹ Infraestruturas críticas são ativos ou sistemas cuja interrupção ou destruição teria impacto significativo na segurança nacional, economia ou defesa, como portos, plataformas de petróleo e redes de comunicação.

significativas. Os principais documentos estratégicos de defesa nacional, como a Política Nacional de Defesa (PND), a END e o LBDN, até suas publicações, não apresentam capítulos específicos, conceitos doutrinários ou diretrizes operacionais sobre o emprego de IA nas operações defensivas (Brasil, 2020c, 2024). Embora a END e o LBDN mencionem a necessidade de desenvolver “novas capacidades” e dominar tecnologias críticas, o fazem de forma genérica, sem detalhar a IA como uma dessas capacidades (Brasil, 2020c, 2024). No setor de defesa, “transformar significa obter novas capacidades, e não apenas aperfeiçoar as existentes, que estaria no escopo da modernização” (Brasil, 2020b, p. 132).

Apesar das menções genéricas à necessidade de desenvolver novas capacidades tecnológicas, há uma lacuna normativa significativa na definição de diretrizes para o uso de IA no setor de defesa nacional. Não há, até agora, políticas, doutrinas ou orientações técnicas formalizadas sobre o uso de IA em operações militares, especialmente no ambiente marítimo. Essa carência impacta a capacidade das Forças Armadas de planejar, integrar e empregar soluções baseadas em IA de maneira padronizada e coordenada. Além disso, não existem especificações sobre requisitos operacionais, critérios de interoperabilidade ou parâmetros éticos e legais para o uso dessa tecnologia em cenários de defesa. Essa lacuna se reflete na indisponibilidade atual de parâmetros formais para o desenvolvimento de capacidades específicas de IA para a defesa nacional (Brasil, 2020b, 2020c). É necessário atualizações normativas que incorporem a IA como ferramenta estratégica nesse contexto.

No âmbito da MB, o PEM 2040 estabelece diretrizes que, embora não cite explicitamente a IA, permitem sua adoção ao tratar de “Capacidades de Monitoramento e Controle” e “Defesa Proativa” (Brasil, 2020a). Os OBEs 2 e 3 reforçam a necessidade de proteger a soberania nacional na Amazônia Azul e salvaguardar as infraestruturas críticas do Poder Marítimo. Tarefas dessa magnitude, segundo a literatura técnico-científica nacional, exigem, progressivamente, a integração de tecnologias emergentes, como a IA e o *Big Data*, para analisar grandes bases de dados, detectar padrões anômalos e apoiar o processo decisório em tempo quase real (Bezerra, 2024; EGN, 2020).

A EDM, publicada em 2023, avança na definição de objetivos mais concretos para a defesa naval ao enfatizar a necessidade de desenvolver capacidades em Comando, Controle, Comunicações, Computação, Cibernético, Inteligência, Vigilância

e Reconhecimento (Brasil, 2023). Embora a EDM não trate diretamente da IA, destaca a importância da transformação tecnológica, do domínio de tecnologias disruptivas e da interoperabilidade dos sistemas de defesa, elementos que, segundo as referências consultadas, podem ser operacionalizados com o apoio da IA, especialmente no que se refere à integração operacional entre sistemas e à transformação tecnológica necessária à defesa nacional (Brasil, 2023; EGN, 2020).

No campo doutrinário, a produção acadêmica militar brasileira vem suprimindo parte da lacuna normativa, com diversas dissertações e estudos abordando o potencial da IA para a Marinha. Destacam-se trabalhos como o de Nogueira (2024), que analisa os desafios da integração da IA no processo decisório da defesa marítima e o impacto sobre o ciclo de inteligência, e o de Fontes (2019), que discute as implicações da IA para as operações navais.

Do ponto de vista institucional, a MB vem promovendo esforços para incorporar tecnologias de IA por meio de iniciativas de inovação e pesquisa aplicada. Um exemplo é a atuação da Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha, que lidera projetos estratégicos de Ciência, Tecnologia e Inovação, buscando parcerias com universidades e centros de pesquisa para desenvolver soluções tecnológicas de uso dual (Silva Filho, 2017). Além disso, o Instituto de Pesquisas da Marinha e o Centro de Análise de Sistemas Navais têm investido em projetos de processamento de grandes volumes de dados, aprendizado de máquina e sistemas de apoio à decisão (Brasil, 2020b; Silva Filho, 2017).

Segundo o relatório de pesquisa da EGN (2020, p. 74) em parceria com a Fundação Ezute, o uso conjunto de IA e sistemas de IVR potencializa a eficácia das operações militares: “A capacidade de análise dos dados reunidos se torna mais rápida, o que permite um processo de tomada de decisão mais eficiente e em tempo real, algo que é cada vez mais essencial para o sucesso das operações militares”. O estudo observa que o Brasil e a Marinha ainda não possuem documentos estratégicos sobre IA e que elaborar uma estratégia nacional poderia posicionar o país entre aqueles que já adotaram diretrizes específicas para essa tecnologia.

A integração da Base Industrial de Defesa (BID) ao desenvolvimento de soluções de IA é incipiente, mas prioritária nos documentos estratégicos (Alves, 2023; Brasil, 2020d). A END reforça a necessidade de estimular a produção nacional de tecnologias críticas, incluindo processamento de dados, automação e cibernética, vinculadas à IA (Brasil, 2020c). Além dessas iniciativas, destacam-se também os

estudos da Amazônia Azul Tecnologias de Defesa S.A. (Amazul) e Atech, voltados ao desenvolvimento de aplicações de IA para vigilância marítima. Inseridos em programas estratégicos, como o Programa de Desenvolvimento da Indústria Naval e da Construção Offshore Nacional (PROMAR), esses esforços representam a articulação da BID com o setor de inovação tecnológica, embora não estejam plenamente incorporados ao SisGAAz (Alves, 2023; Silva Filho, 2017).

4.3 O SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA AMAZÔNIA AZUL: ESTRUTURA E FUNCIONALIDADES

Antes do SisGAAz, o gerenciamento da Amazônia Azul era fragmentado, com diferentes órgãos e sistemas da MB, como o Sistema de Informações sobre o Tráfego Marítimo (SISTRAM), o Sistema de Monitoramento Marítimo e Apoio às Atividades do Petróleo (SIMMAP) e ações de patrulha naval nos Distritos Navais. Embora essas estruturas fossem relevantes para o monitoramento e segurança das AJB, não havia um sistema integrado para consolidar dados em tempo real, articular múltiplos sensores e prover CSM contínua e abrangente (Bezerra, 2024). A criação do SisGAAz, em 2009, representou uma inflexão estratégica, pois foi concebido como um sistema de sistemas com arquitetura modular e interoperável, capaz de monitorar, proteger e coordenar todas as atividades no mar, incluindo defesa, segurança, meio ambiente, recursos naturais, navegação e infraestrutura crítica. Embora o SisGAAz não substitua integralmente os sistemas anteriores, ele os integra sob uma lógica mais abrangente e moderna, buscando ser o eixo de comando, controle e gestão de todo o espectro do Poder Marítimo brasileiro (Alves, 2023; Brasil, 2021b).

O SisGAAz foi concebido pela MB como um programa estratégico destinado a prover CSM contínua e precisa sobre as AJB. Seu objetivo é viabilizar a vigilância, monitoramento e controle desse espaço de forma coordenada, com apoio de sensores fixos e móveis, centros de comando e controle e integração de sistemas diversos (Chaves Junior, 2013). Inserido no PEM 2040, o SisGAAz é um dos projetos estruturantes voltados à defesa da soberania e dos interesses nacionais no mar (Alves, 2023).

A arquitetura do SisGAAz é baseada no modelo Comando, Controle, Comunicações, Computação, Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (C4IVR)³⁰, alinhada às práticas internacionais. O sistema é composto por subsistemas de sensores, infraestrutura de transmissão e processamento de dados, algoritmos de correlação e fusão de dados e centros de comando e controle integrados (Alves, 2023). Essa estrutura permite a coleta e análise de informações de diversas fontes, como radares costeiros, sensores eletro-ópticos, AIS, Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) e sistemas colaborativos, como o *Long Range Identification and Tracking* (LRIT)³¹, o SIMMAP³² e o Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélite (PREPS)³³ (Chaves Junior, 2013; Vilela, 2020). A execução do SisGAAz está organizada em módulos escaláveis, estruturados nas fases *GOLD* e *BLUE*, que incorporam projetos como o SCUA-2, o SISTRAM V e o Centro Regional de Processamento de Dados, viabilizado por contrato de Encomenda Tecnológica³⁴ (Brasil, 2020c).

Do ponto de vista conceitual, o SisGAAz opera em camadas, desde a detecção até a decisão, com uso progressivo de tecnologias emergentes para melhorar a capacidade de análise e resposta. De acordo com estudos técnicos³⁵, à medida que sensores forem integrados a recursos de IA, como redes neurais artificiais, será possível não apenas acelerar o reconhecimento de padrões e a classificação de alvos, mas também otimizar rotas de patrulhamento automatizado por meios não tripulados (Vilela, 2020). A literatura destaca, ainda, o potencial da *Service-Oriented Architecture*

³⁰ C4IVR refere-se a sistemas integrados de comando, controle, comunicações, computação, inteligência, vigilância e reconhecimento, essenciais à operação coordenada de forças navais e sistemas sensoriais.

³¹ LRIT é um sistema internacional de identificação e rastreamento de longo alcance de embarcações, estabelecido pela Organização Marítima Internacional. Seu objetivo é aumentar a segurança marítima, possibilitando aos Estados-membros o monitoramento de navios que navegam sob sua bandeira, próximos de sua costa ou que pretendem entrar em seus portos.

³² SIMMAP é um sistema colaborativo de monitoramento baseado em rastreamento por satélite, voltado ao acompanhamento de embarcações envolvidas em atividades relacionadas à indústria do petróleo nas AJB.

³³ PREPS é um sistema de monitoramento satelital voltado ao controle, à vigilância e à gestão da frota pesqueira nacional, abrangendo embarcações industriais e semi-industriais com arqueação bruta igual ou superior a 50 ou comprimento igual ou superior a 15 metros.

³⁴ Instrumento jurídico utilizado pela Administração Pública para contratar o desenvolvimento de soluções inovadoras com risco tecnológico, usualmente aplicado em projetos estratégicos de defesa.

³⁵ A expressão refere-se, neste contexto, às análises constantes do estudo de Alves (2023) e do relatório institucional *Economia azul* (Brasil, 2022), ambos produzidos sob a ótica estratégica da MB. Esses trabalhos descrevem a arquitetura modular do SisGAAz, destacam seu modelo baseado em C4IVR, apontam a importância da fusão de dados e indicam a necessidade de escalabilidade e integração com tecnologias emergentes, como a IA.

(SOA)³⁶, adotada no projeto, como estratégia para permitir a expansibilidade e a evolução tecnológica do sistema ao longo do tempo (Alves, 2023).

O uso de dados de diferentes fontes exige capacidades de fusão de dados e conexão técnica entre plataformas, o que é considerado um dos principais diferenciais tecnológicos do SisGAAz. Em entrevista concedida no ano de 2022, o então Comandante do Comando de Operações Marítimas e Proteção da Amazônia Azul (COMPAAz) mencionou que o sistema já integrava, de forma colaborativa, informações de sistemas nacionais, como o LRIT, o PREPS e o SIMMAP, além de sensores acústicos em fase de avaliação, como parte do esforço de fortalecimento da CSM (Wiltgen, 2022).

A capacidade operacional do SisGAAz será reforçada com a instalação da primeira Unidade de Vigilância Costeira (UV), a ser localizada no Farol de Castelhanos, na Ilha Grande/RJ. Delineado em 2023, esse espaço operará de forma autônoma, com sensores eletro-ópticos e radares integrados a um Centro de Operações Marítimas, responsável pela análise e disseminação das informações geradas. A estrutura da UV foi desenvolvida em parceria com empresas nacionais, no contexto de estímulo à BID, com previsão de replicação em outras regiões do litoral brasileiro (Poder Naval, 2023a).

A integração do SisGAAz com capacidades cinéticas também avançou nos últimos anos. Em 2024, foi realizado, com apoio da empresa SIATT, o primeiro lançamento terrestre do Míssil Antinavio Nacional de Superfície (MANSUP)³⁷ a partir de uma plataforma do sistema ASTROS, evidenciando a viabilidade de conexão entre o sistema de monitoramento e vetores de resposta letal. Embora esse emprego ainda esteja em fase inicial, trata-se de um indicativo da evolução do SisGAAz para além da vigilância passiva, já que são incorporados elementos de dissuasão (DefesaNet, 2024).

O COMPAAz, sediado no Rio de Janeiro, é encarregado da gestão e coordenação do sistema. O comando possui estrutura de atuação interagencial, com participação de órgãos como Polícia Federal, Receita Federal, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e Instituto Chico Mendes de

³⁶ SOA, refere-se a um modelo de organização e desenvolvimento de sistemas computacionais que utiliza serviços independentes, interoperáveis e reutilizáveis, comunicando-se por meio de interfaces bem-definidas.

³⁷ MANSUP é um projeto brasileiro de desenvolvimento de um míssil antinavio, realizado pela MB em colaboração com empresas como SIATT, Avibras e Omnisys.

Conservação da Biodiversidade, o que amplia o escopo do programa para além da defesa militar, abrangendo também o combate a ilícitos, a proteção ambiental e a segurança marítima. Essa característica reforça o papel do SisGAAz como instrumento dual de defesa e segurança pública, compatível com os princípios estabelecidos na END e na PND (Wiltgen, 2022).

Em dezembro de 2023, foi celebrado contrato entre a MB e a empresa nacional IACIT para fornecimento de dados provenientes de radar *Over-the-Horizon* (OTH)³⁸, com instalação prevista na região do Farol do Albardão/RS. Essa tecnologia de vigilância estratégica, capaz de monitorar alvos além da linha do horizonte geográfico, ampliará significativamente o alcance e a eficácia do SisGAAz, permitindo vigilância contínua de áreas marítimas remotas com baixa cobertura por sensores convencionais (Poder Naval, 2023b). A iniciativa representa um passo concreto para a consolidação da camada de detecção do sistema e demonstra o investimento progressivo em sensores de longo alcance, compatíveis com os objetivos dissuasórios e de prontidão operacional estabelecidos no PEM.

Por fim, é importante destacar que, apesar dos avanços recentes, o SisGAAz ainda enfrenta desafios estruturais e tecnológicos para alcançar sua plena operacionalização. Entre as limitações, destaca-se a necessidade de expandi-lo para todo o litoral brasileiro, consolidar uma infraestrutura de processamento de dados com alta capacidade de integração em tempo real e formar recursos humanos especializados para operar e manter os sistemas de ponta que compõem o SisGAAz (Alves, 2023; EGN, 2020). A evolução contínua do programa, incluindo a adoção de IA e a integração com sistemas de resposta rápida, representa condição indispensável para o fortalecimento da capacidade dissuasória do Brasil no seu espaço marítimo estratégico (DefesaNet, 2024; Wiltgen, 2022).

³⁸ O radar OTH, ou radar além do horizonte, utiliza a propagação das ondas eletromagnéticas por reflexão na ionosfera (modo *skywave*) ou, no caso do SisGAAz, por difração e propagação superficial (modo *groundwave*), permitindo a vigilância aérea e marítima a longas distâncias, da ordem de centenas a milhares de quilômetros, mesmo sem linha direta de visada entre radar e alvo.

4.4 AVANÇOS, LIMITAÇÕES E DESAFIOS PARA A CONSOLIDAÇÃO DA CAPACIDADE NACIONAL DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA AZUL

A implementação do SisGAAz constitui um dos projetos estruturantes da MB para viabilizar a CSM nas AJB. De acordo com o PEM 2040, o sistema visa integrar sensores, redes de comunicação e centros de controle, com o objetivo de identificar e monitorar atividades marítimas, colaborativas ou não, em tempo quase real (Brasil, 2020a). O documento destaca que o SisGAAz deve empregar tecnologias de vigilância persistente, com capacidade de processamento local e análise automatizada, estruturando-se como instrumento permanente de controle do espaço marítimo nacional (Brasil, 2020a).

Entre as soluções já empregadas ou previstas, incluem-se sensores fixos e móveis, radares de curto e médio alcance, infraestrutura por subsistemas de comando e controle, além de sistemas de telecomunicação integrados por uma SOA, voltada à adaptabilidade do projeto a diferentes ambientes operacionais (Alves, 2023). Estudos técnicos³⁹ reforçam a aplicabilidade de métodos como fusão de dados e algoritmos de classificação automatizada, particularmente em cenários com alta densidade de tráfego e baixa colaboração de embarcações detectadas (EGN, 2020; Silva, 2023). A adoção de Veículos Não Tripulados Aéreos (UAVs) e SARPAs é apontada como complemento relevante à malha sensorial instalada, oferecendo cobertura de áreas de difícil acesso e elevada sensibilidade estratégica (Silva, 2023).

As limitações tecnológicas do sistema estão documentadas em estudos que apontam a necessidade de desenvolver radares além do horizonte, reforçar a proteção cibernética e consolidar meios de transmissão de dados com baixa latência em ambiente hostil (Alves, 2023). Também é apontada a indisponibilidade de uma infraestrutura de grande capacidade de armazenamento e processamento de dados para alimentar algoritmos de análise e correlação de eventos marítimos (Alves, 2023).

No relatório do 3º trimestre de 2024, verifica-se que a execução física do projeto SCUA-2 era de apenas 12,75% e a do SISTRAM V, de 18,8%; e isso reforça a constatação de que os elementos fundamentais do SisGAAz ainda se encontram em

³⁹ A expressão refere-se, neste contexto, ao conteúdo apresentado no estudo técnico de Alves (2023), que discute as limitações estruturais e tecnológicas do SisGAAz, e ao relatório técnico elaborado pela Fundação Ezute em parceria com a EGN (2020), o qual avalia as perspectivas do emprego de IA no setor de IVR e identifica lacunas doutrinárias e de capacitação de pessoal para sua implementação no âmbito da MB.

fase inicial de desenvolvimento (Brasil, 2025). A dependência de fornecedores estrangeiros, segundo a mesma fonte, compromete o controle pleno do ciclo de vida das soluções aplicadas, demandando a consolidação de capacidades tecnológicas nacionais acumuladas como condição para maior independência estratégica (Alves, 2023).

A interoperabilidade de sistemas e instituições representa outro desafio documentado. A integração de informações oriundas de bases heterogêneas, como LRIT, SIMMAP, PREPS e sensores locais, requer protocolos padronizados de intercâmbio e validação em tempo real, conforme analisado por especialistas em defesa e tecnologia naval (Alves, 2023; Chaves Junior, 2013). O relatório da EGN (2020) e da Fundação Ezute complementa esse diagnóstico ao revelar que, embora haja avanços técnicos na coleta e transmissão, ainda não existe um arcabouço normativo que regule a compatibilidade entre plataformas civis e militares no contexto do SisGAAz.

No campo doutrinário, diversas publicações identificam a ausência de uma regulamentação específica para o emprego de IA, *Big Data* e aprendizado de máquina em operações marítimas. Trabalhos como os de Fontes (2019) e Nogueira (2024) indicam que, mesmo com o reconhecimento do potencial dessas tecnologias nos processos de Vigilância, Reconhecimento e Apoio à Decisão, ainda não foram estabelecidas diretrizes normativas ou doutrinárias que orientem sua aplicação em Nível Estratégico, Operacional ou Tático no âmbito da MB (Fontes, 2019; Nogueira, 2024).

A qualificação de recursos humanos também é um tema recorrente nas análises sobre os desafios do SisGAAz. A operação de sistemas baseados em IA, análise preditiva e fusão de sensores requer profissionais com formação específica em áreas como ciência de dados, engenharia de sistemas e defesa cibernética. O relatório da Fundação Ezute, em parceria com a EGN (2020), e o estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada identificam que, embora existam esforços em andamento, como o fortalecimento de cursos voltados a C4IVR, ainda é necessário ampliar parcerias com universidades e centros de pesquisa para formação e retenção de especialistas (Silva Filho, 2017).

Um fator restritivo transversal é a limitação de recursos orçamentários. No relatório institucional do 3º trimestre de 2024, foi registrado um contingenciamento superior a R\$ 14 milhões nos repasses para o SisGAAz, impactando diretamente o

ritmo de desenvolvimento dos subsistemas e das estruturas de vigilância (Brasil, 2025). O PEM 2040 reconhece o SisGAAz como programa prioritário da Marinha, mas sua execução depende da alocação continuada de recursos, que competem com outras necessidades estratégicas em um ambiente fiscal restritivo (Brasil, 2020a). Entre as alternativas identificadas, está o estabelecimento de contratos de aquisição baseados em desempenho e gestão de ciclo de vida com a indústria nacional (Alves, 2023).

As referências apresentadas reforçam a importância da governança tecnológica e do controle da soberania da informação. A gestão dos dados gerados pelo SisGAAz, a segurança cibernética, a capacidade de auditar algoritmos e a nacionalização das interfaces críticas são requisitos estruturantes para que funcione como instrumento de proteção das AJB. Esses aspectos são condições de maturidade para a consolidação do SisGAAz como sistema permanente de vigilância marítima e elemento da política de defesa nacional (Alves, 2023; Brasil, 2020d).

A análise da estrutura nacional de proteção da Amazônia Azul demonstrou a transição de um modelo fragmentado de gerenciamento marítimo para uma abordagem integrada, representada pelo SisGAAz. Confirmou-se a importância estratégica do sistema como instrumento de CSM e coordenação de ações de defesa, segurança e monitoramento. Foram constatados avanços, como a arquitetura em blocos funcionais, a integração sensorial e a implantação de unidades operacionais. Limitações técnicas, doutrinárias e institucionais foram identificadas, especialmente na consolidação da infraestrutura, capacitação de pessoal e integração com tecnologias emergentes. Esses fatores configuram um estágio de desenvolvimento em evolução, cuja compreensão é essencial para as análises comparativas do próximo capítulo.

5 CONFRONTO ENTRE A EXPERIÊNCIA CHINESA E AS POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO NA REALIDADE BRASILEIRA

O presente capítulo realiza uma comparação estruturada entre a abordagem da China e a realidade do Brasil no emprego de IA e *Big Data* voltados à proteção das ZEEs de ambos os Estados. A análise parte dos elementos previamente desenvolvidos nos capítulos 3 e 4, confrontando aspectos técnicos, institucionais e operacionais, sem introduzir fatos novos ou propor julgamentos normativos. O objetivo é identificar pontos de convergência e dissociação entre os dois países, com base em suas especificidades na aplicação de tecnologias emergentes ao monitoramento marítimo. Para isso, adota-se uma lógica comparativa por eixos temáticos, detalhada no item a seguir.

5.1 PREMISSAS COMPARATIVAS E CRITÉRIOS DE ANÁLISE

A comparação entre as abordagens adotadas pela China e pelo Brasil apoia-se em quatro eixos temáticos, identificados a partir dos capítulos anteriores: estratégia e estrutura organizacional, grau de integração tecnológica, maturidade operacional das plataformas e alinhamento com políticas de defesa. Esses eixos permitem analisar tanto os elementos institucionais que moldam o uso de tecnologias emergentes quanto os caminhos escolhidos por cada país para incorporar IA e *Big Data* à vigilância de suas zonas marítimas.

Cada um dos itens seguintes examina um desses eixos, contrastando diretamente as evidências extraídas dos capítulos 3 e 4. A estrutura adotada visa evidenciar como características nacionais distintas, no planejamento, na governança e na capacidade tecnológica, condicionam a aplicação prática de IA e *Big Data*. O foco permanece na análise crítica dos elementos documentados, sem recorrer a inferências externas ou avaliações de viabilidade, assegurando a coerência com o recorte empírico da pesquisa.

5.2 ARCABOUÇO INSTITUCIONAL E DOUTRINÁRIO: CENTRALIZAÇÃO VERSUS DISPERSÃO

A estrutura adotada pela China para integrar a IA às funções de defesa marítima é caracterizada por uma estratégia estatal centralizada, consolidada em documentos com força normativa e abrangência interministerial. O *New Generation Artificial Intelligence Development Plan* (China, 2017 *apud Webster et al.*, 2017), lançado em 2017 pelo Conselho de Estado chinês, estabelece objetivos claros para o domínio da IA em múltiplos setores, incluindo o militar. Essa diretriz é reforçada pelo conceito de fusão civil-militar, que orienta a articulação de universidades, centros de pesquisa, empresas tecnológicas e Forças Armadas em torno de uma visão nacional integrada de desenvolvimento. O Livro Branco de Defesa da China (2019), por sua vez, explicita a inserção da IA no esforço de modernização da defesa, reforçando o papel da tecnologia como multiplicador de poder em contextos de Guerra Inteligente.

Em contraste, a base normativa brasileira, conforme demonstrado no capítulo 4, carece de um instrumento de mesmo alcance e especificidade voltados à aplicação de IA e *Big Data* na área de defesa marítima. Embora documentos como a PND, a END e o LBDN reconheçam a relevância das tecnologias emergentes, suas diretrizes permanecem em nível abstrato e não se desdobram em planos de ação integrados entre os diferentes atores envolvidos. O SisGAAz, principal programa voltado à vigilância da Amazônia Azul, apresenta potencial para incorporar essas tecnologias, mas enfrenta limitações decorrentes da inexistência de um núcleo institucional com poder decisório suficiente para articular, de modo coordenado, as contribuições da Marinha, da indústria nacional e da comunidade científica.

Essa diferença estrutural resulta em dois formatos contrastantes: de um lado, o arranjo estatal chinês, marcado por centralização estratégica, coerência doutrinária e continuidade de políticas; de outro, o formato descentralizado brasileiro, fragmentado, com iniciativas isoladas e carente de uma doutrina específica sobre o uso de IA na defesa marítima. O conceito de Guerra Inteligente, presente na doutrina chinesa, exemplifica o grau de consolidação organizacional atingido, ao passo que, no Brasil, a discussão ainda se encontra em estágio exploratório. A partir do contraste entre os dois modelos, observa-se que a desarticulação entre órgãos brasileira

dificulta a construção de prioridades comuns, a coordenação de investimentos e o avanço consistente na adoção de soluções tecnológicas voltadas à vigilância da ZEE.

Vale destacar que a centralização observada na China não se limita à formulação de políticas, estendendo-se à sua execução, com a criação de estruturas de governança próprias para integrar pesquisa, desenvolvimento e aplicação prática de IA. No Brasil, a inexistência de uma entidade central voltada à coordenação das iniciativas em IA e defesa marítima contribui para a sobreposição de esforços e para a perda de sinergias potenciais entre instituições com competências complementares. A distinção entre os arranjos institucionais permite identificar diferenças na forma como cada país estrutura sua governança tecnológica. Sob a ótica brasileira, nota-se a inexistência de uma entidade central com atribuições definidas para articular os diversos atores envolvidos na adoção de tecnologias emergentes na área de defesa marítima.

5.3 CAPACIDADES TECNOLÓGICAS E ESTÁGIO DE MATURIDADE

A trajetória tecnológica chinesa no emprego de soluções sensoriais e plataformas autônomas evidencia um nível elevado de maturidade no uso da IA aplicada à observação contínua do ambiente marítimo. Como descrito no capítulo 3, a China integra uma gama variada de sensores ambientais e hiperespectrais, além de plataformas navais e aéreas, entre as quais se destacam veículos não tripulados de superfície e UAVs com IA embarcada. Esses sistemas são capazes de processar dados em tempo real por meio de algoritmos de aprendizado profundo, gerando alertas autônomos e alimentando bancos de dados georreferenciados com análises preditivas. Essa capacidade técnica decorre de investimentos contínuos e articulados, com foco na fusão sensorial e na capacidade de decisão automatizada em ambientes operacionais complexos.

Na realidade nacional, conforme analisado no capítulo 4, o estágio tecnológico é mais incipiente, com o SisGAAz operando, majoritariamente, com sensores convencionais e fontes externas de dados, como radares costeiros e AIS. Embora o projeto tenha sido concebido com arquitetura modular e potencial para integração de tecnologias emergentes, a aplicação prática de IA e *Big Data* ainda se encontra em fase de concepção ou de projetos experimentais. Iniciativas como o PROMAR, conduzido pela Amazul, e os estudos da Atech voltados ao desenvolvimento de IA

para vigilância marítima representam esforços relevantes, mas ainda não foram incorporados à estrutura operacional do sistema. A não implementação de plataformas autônomas em uso real e a carência de sistemas embarcados de análise automática revelam limitações no estágio atual de desenvolvimento do monitoramento da Amazônia Azul, sobretudo no que diz respeito à sua capacidade de expansão e automação.

Ao se observarem as duas estruturas em confronto, notam-se diferenças relevantes nos níveis de integração tecnológica e na maturidade operacional das soluções adotadas por cada país. Enquanto a China opera sistemas que combinam coleta, processamento e resposta em tempo real com o apoio de IA distribuída, o Brasil ainda estrutura suas capacidades com base na coleta de dados não integrados e em análises predominantemente humanas. A assimetria entre os esquemas institucionais distintos também reflete a falta, na configuração brasileira vigente, de um ambiente articulado de pesquisa e desenvolvimento voltado à aplicação da IA em cenários marítimos, aspecto que complementa as restrições de natureza orçamentária já apontadas. A diferença entre os arranjos institucionais analisados ajuda a compreender as limitações enfrentadas pelo Brasil no aprimoramento da capacidade de vigilância em áreas sensíveis de sua ZEE.

5.4 APLICAÇÕES OPERACIONAIS E CONSCIÊNCIA SITUACIONAL MARÍTIMA

O capítulo 3 demonstrou que a China já incorporou a IA de forma efetiva em suas operações de controle de áreas marítimas. Plataformas como os veículos autônomos *Haiyi*, sensores de dupla aplicação civil-militar e observatórios oceânicos inteligentes são empregados em conjunto, permitindo a geração contínua de dados e sua análise em tempo real. A partir de algoritmos embarcados e redes neurais treinadas, esses sistemas realizam detecção automática de anomalias, rastreamento de embarcações e classificação de padrões de comportamento em áreas sensíveis da ZEE. A vigilância chinesa não se limita à presença física, estende-se a um arranjo distribuído de percepção do ambiente operacional, no qual plataformas aéreas, navais e espaciais operam de maneira sinérgica e sustentada.

Acerca do caso brasileiro, o capítulo 4 evidenciou que a operacionalização do SisGAAz ainda se encontra em estágio preliminar. Embora o sistema conte com sensores costeiros e integração pontual com radares e fontes externas, sua

capacidade de vigilância é intermitente e fortemente dependente da atuação humana para análise dos dados coletados. Os exercícios de demonstração realizados, embora promissores, não foram ainda consolidados em uma rede contínua e funcional de monitoramento. Plataformas autônomas e sistemas de IA dedicados à análise automática não participam da estrutura operacional brasileira até este momento, o que diferencia significativamente o Brasil e a China em termos de configuração tecnológica.

A comparação entre os modelos permite constatar diferenças significativas de escala, continuidade e interoperabilidade. Enquanto a China fundamenta-se em uma lógica sistêmica e integrada, o Brasil depende de iniciativas setoriais e projetos-piloto ainda em maturação. O nível de conhecimento do espaço marítimo chinês é construído por meio da convergência de múltiplas fontes de dados, processadas em tempo real e conectadas a redes decisórias automatizadas. No ambiente organizacional brasileiro, observa-se a presença de limitações recorrentes, como a carência de interoperabilidade entre plataformas, a fragmentação das bases de dados e a deficiência atual de sistemas analíticos apoiados em IA; ou seja, essa configuração nacional distingue de abordagens tecnológicas mais consolidadas. Tal diferença entre os dois formatos também se reflete na forma como cada país estrutura seus sistemas de vigilância para lidar com fluxos de dados contínuos e múltiplas fontes sensoriais, o que influencia a robustez das ações em áreas sob jurisdição nacional.

5.5 LIÇÕES APLICÁVEIS E LIMITES DA ADAPTAÇÃO BRASILEIRA

A abordagem chinesa apresenta lições importantes para a estruturação de um protótipo brasileiro de vigilância marítima com suporte em tecnologias emergentes. A primeira delas refere-se à integração sistêmica entre sensores heterogêneos, operando em plataformas diversas e conectadas por redes de análise baseadas em IA. Essa convergência técnica viabiliza uma vigilância contínua e uma informação integrada do espaço marítimo em tempo real, características essenciais à proteção eficaz de extensas áreas marítimas. A segunda lição diz respeito à automatização da análise de dados, com a adoção de algoritmos de aprendizado profundo capazes de identificar padrões, detectar anomalias e apoiar decisões operacionais sem a necessidade de intervenção humana constante. Essas soluções, como demonstrado

no capítulo 3, são aplicadas de forma recorrente na proteção da ZEE chinesa e, em termos conceituais, alinham-se às necessidades da MB na defesa da Amazônia Azul.

Contudo, a transposição direta desse sistema para o contexto brasileiro encontra limitações que devem ser cuidadosamente consideradas. A governança tecnológica centralizada e a fusão civil-militar chinesa não têm paralelo nas estruturas institucionais brasileiras, marcadas por maior dispersão de competências, maior dependência de consensos interministeriais e limitações orçamentárias estruturais. A experiência chinesa indica que a adoção de soluções automatizadas depende não apenas da disponibilidade de plataformas e algoritmos, mas também da existência de condições institucionais favoráveis, como diretrizes normativas, capacitação especializada e articulação entre os diferentes atores envolvidos.

Diante das diferenças estruturais e institucionais observadas, a identificação de lições aproveitáveis exigiu discernimento entre elementos conceituais compatíveis com a realidade brasileira e aspectos que demandariam ajustes significativos. A análise comparativa permitiu delimitar esse espaço de aprendizado, sem desconsiderar os condicionantes que moldam a aplicação prática de tecnologias emergentes em contextos distintos.

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi analisar a aplicação das tecnologias de IA e *Big Data* à gestão e proteção da Amazônia Azul, tomando como referência o emprego dessas ferramentas na defesa da ZEE chinesa. A partir disso, buscou-se responder: como a experiência da China no uso de IA e *Big Data* para proteção de sua ZEE pode ser aplicada à gestão e defesa da Amazônia Azul? A abordagem foi exploratória e descritiva, sem o propósito de normatizar condutas ou emitir juízos de valor, mas sim de organizar e confrontar evidências empíricas com base em referenciais técnico-operacionais.

No capítulo 2, foram sistematizados os fundamentos conceituais e institucionais da aplicação da IA no domínio marítimo, destacando seu potencial transformador na área de IVR. A IA possibilita a análise automatizada de dados em larga escala, contribuindo para o aumento da CSM e da capacidade preditiva das operações. No entanto, sua eficácia depende de fatores estruturantes, como integração sensorial, maturidade tecnológica, governança normativa e interoperabilidade de plataformas.

A experiência da China, analisada no capítulo 3, demonstrou um modelo de desenvolvimento centralizado, baseado na fusão civil-militar e na mobilização coordenada de setores acadêmicos, empresariais e militares. A doutrina chinesa incorpora a IA como elemento estrutural da Guerra Inteligente, promovendo sua aplicação em veículos autônomos, sistemas de comando e controle e redes de sensores costeiros e orbitais. A estratégia do país revela um ecossistema tecnológico voltado à superioridade informacional e antecipação de ameaças no domínio marítimo, com elevado grau de automação e vigilância persistente sobre áreas sensíveis da ZEE.

No capítulo 4, examinou-se o contexto brasileiro, com foco na estratégia da Amazônia Azul e na implementação do SisGAAz. Observou-se que, embora o sistema represente um avanço na vigilância marítima, seu estágio atual é incipiente. Identificaram-se avanços como a integração modular, a adoção de sensores diversificados e a articulação interagencial, mas também limitações críticas, como a carência normativa de IA, a baixa disponibilidade de recursos humanos especializados, a fragilidade na infraestrutura de processamento de dados e a dependência tecnológica externa.

A análise comparativa do capítulo 5 evidenciou contrastes estruturais entre os dois modelos. A China opera sob uma lógica de planejamento estratégico integrado, com diretrizes normativas claras, investimentos contínuos e alta maturidade tecnológica. Já o Brasil enfrenta desafios de coordenação institucional, restrições orçamentárias e ausência de uma estratégia nacional para IA em defesa marítima. Apesar dessas diferenças, a experiência chinesa oferece lições úteis, como a integração de sensores, uso de IA embarcada para análise automática e articulação entre centros de pesquisa e estruturas operacionais.

Diante das evidências levantadas, pode-se afirmar que a experiência chinesa em IA e *Big Data* fornece referências tecnológicas e organizacionais valiosas, mas sua aplicação ao contexto brasileiro exige adaptações estruturais, institucionais e doutrinárias. Elementos como automação analítica e integração sensorial e os desdobramentos da IA Generativa são compatíveis com os objetivos do SisGAAz, desde que acompanhados de investimentos sustentados em capacitação, infraestrutura e governança. Portanto, a resposta à questão desta pesquisa não está na replicação do modelo chinês, mas na identificação de aspectos transferíveis e na construção de um arranjo nacional coerente com as condições brasileiras.

Entre as limitações do estudo, destaca-se a dependência de fontes secundárias para analisar a estrutura chinesa, devido à natureza restrita de muitos documentos oficiais. Além disso, o estágio inicial da aplicação prática da IA no Brasil limita a verificação empírica de sua eficácia no ambiente marítimo nacional. Por fim, a ausência de uma estratégia formal brasileira dedicada à IA na defesa restringe a capacidade de avaliar prospectivamente a institucionalização dessa ferramenta no curto prazo. Tais fatores não invalidam os achados, mas delineiam a incerteza do tema.

Em termos acadêmicos, a dissertação propõe uma leitura comparativa fundamentada, que articula conceitos estratégicos com dados empíricos, favorecendo a compreensão da IA como tecnologia de uso dual com implicações na segurança marítima. No plano estratégico, reforça-se a necessidade de ampliar a capacidade nacional de vigilância e proteção da Amazônia Azul, com soluções tecnológicas aderentes às diretrizes da PND e do PEM. O estudo conclui que o fortalecimento do SisGAAz com apoio de IA é viável, desde que orientado por um modelo institucional sólido, sustentável e tecnicamente estruturado.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA MARINHA DE NOTÍCIAS. **Marinha e Embraer assinam acordo de parceria na área de tecnologia**. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2 abr. 2024b. Disponível em: <https://www.agencia.marinha.mil.br/ciencia-e-tecnologia/marinha-e-embraer-assinam-acordo-de-parceria-na-area-de-tecnologia>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- AGÊNCIA MARINHA DE NOTÍCIAS. **Podcast – A todo Pano**. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 27 jun. 2024a. Disponível em: <https://www.agencia.marinha.mil.br/podcast-todo-pano>. Acesso em 28 jul. 2025.
- ALVES, Wallace Affonso. **Construção da capacidade tecnológica de inovação em sistemas não-tripulados na segunda guerra entre Armênia e Azerbaijão e na operação especial da Federação Russa na Ucrânia: lições para o Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz)**. 2023. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Altos Estudos de Política e Estratégia) – Departamento de Estudos, Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://repositorio.esg.br/handle/123456789/1853>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- BEZERRA, Marcos Moreira. **A atividade de inteligência e sua aplicação para a eficácia das patrulhas navais nas águas jurisdicionais brasileiras no século 21**. 2024. 51 f. Dissertação (Estado-Maior para Oficiais Superiores) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.repositorio.mar.mil.br/handle/ripcmb/847545>. Acesso em: 30 maio 2025.
- BHUVESHA, B. K. **China's growing capability in underwater warfare: implications for the indo-pacific**. Nova Dehli: Centre For Joint Warfare Studies, 12 out. 2023. Disponível em: <https://cenjows.in/chinas-growing-capability-in-underwater-warfare-implications-for-the-indo-pacific/>. Acesso em: 3 jun. 2025.
- BLACK, James *et al.* **Strategic competition in the age of AI**. Washington, D.C.: Rand Corporation, 2024.
- BRASIL. **Economia azul: a importância do mar para o desenvolvimento do Brasil**. São Paulo: Ministério da Defesa, 2022.
- BRASIL. **Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021a.
- BRASIL. **Estratégia de Defesa Marítima**. Brasília, DF: Marinha do Brasil, 2023.
- BRASIL. **Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2020c.
- BRASIL. **Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm. Acesso em: 29 jul. 2025.

BRASIL. **Livro Branco de Defesa Nacional**. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2020b.

BRASIL. **Plano Estratégico da Marinha**. Brasília, DF: Marinha do Brasil, 2020a.

BRASIL. **Política Nacional de Defesa**. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2020d.

BRASIL. **Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélite (PREPS)**. Brasília, DF: Marinha do Brasil, 2021b. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/salvamarbrasil/Sistema/preps>. Acesso em: 28 jun. 2024.

BRASIL. **Unidades de conservação costeiras e marinhas**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 17 dez. 2021c. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/ecossistemas-costeiros-e-marinhas/unidades-de-conservacao-costeiras-e-marinhas> . Acesso em: 29 jul. 2025.

CENTRE FOR JOINT WARFARE STUDIES. **Chinese autonomous underwater vehicle**: HSU-001. Nova Delhi: CENJOWS, 2023.

CHANG, Chein-I *et al.* **Hyperspectral imaging and applications**. Pequim: MPDI Books, 2022.

CHAVES JUNIOR, Sergio Fernando de Amaral. **Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz)**: o passo inicial para o efetivo controle da área marítima brasileira. 2013. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Altos Estudos de Política e Estratégia) – Departamento de Estudos, Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://repositorio.esg.br/handle/123456789/1934>. Acesso em: 21 jun. 2025.

CHINA. **BeiDou Navigation Satellite System**. Pequim: BDS, 2024a. Disponível em: <http://www.beidou.gov.cn/yw/index.html>. Acesso em: 28 jul. 2025.

CHINA. **Mazu Ocean Forecasting System**: open source AI-based numerical models. Pequim: National Marine Environmental Forecasting Center, 2024b. Disponível em: <https://www.nmefc.cn/newsDetail?infold=e0671f7c5e754dc28aa2d16709f42beb>. Acesso em: 2 maio 2025.

CHINA. **China's National Defense in the New Era**. Pequim: State Council of the People's Republic of China, 2019.

COPERNICUS. **Copernicus Marine Service**: Annual Report 2023. Bruxelas: European Union, 2023.

DEFENSE ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY (DARPA). **ACTUV “Sea Hunter” prototype transitions to office of naval research for further development**. Arlington: DARPA, 30 jan. 2018. Disponível em: <https://www.darpa.mil/news/2018/sea-hunter->

prototype#:~:text=Jan%2030%2C%202018,Unmanned%20Surface%20Vehicle%20(MDUSV). Acesso em: 30 mar. 2025.

DEFESANET. **Marinha do Brasil e SIATT lançam MANSUP do Astros com sucesso**. Rio de Janeiro: DefesaNet, 19 dez. 2024. Disponível em: <https://www.defesanet.com.br/astros/siatt-apoia-a-marinha-do-brasil-em-lancamento-inedito-do-missil-mansup-por-plataforma-em-terra/>. Acesso em: 22 jun. 2025.

EINSTEIN, Albert. Atomic education urged by Einstein. **The New York Times**, New York, n. 1, p. 11, maio 1946.

ESCOLA DE GUERRA NAVAL. **O emprego da Inteligência Artificial na Marinha do futuro**: aplicações em ISR e aspectos jurídicos. Rio de Janeiro: Fundação Ezute, 2020.

FONTES, Luiz Henrique Parreira. **Inteligência Artificial**: implicações para a Marinha do Brasil. 2019. 139 f. Dissertação (Estado-Maior para Oficiais Superiores) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.mar.mil.br/handle/ripcmb/845129>. Acesso em: 16 maio 2025.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). **International Maritime Organization Annual Report 2024**. Londres: IMO, 2024.

KANIA, Elsa. **Chinese military innovation and artificial intelligence**. Washington, D.C.: Center for a New American Security, 2019.

KENTON, Will. **What Is proprietary technology?** Nova Iorque: Investopedia, 21 jan. 2023. Disponível em: <https://www.investopedia.com/terms/p/proprietarytechnology.asp>. Acesso em: 29 jul. 2025.

MANKINS, John. **Technology readiness levels**. Nova Iorque: National Aeronautics and Space Administration, 1995.

MEIJER, Albert; BOLÍVAR, Manuel Pedro Rodriguez. Governing the Smart City: a review of the literature on smart urban governance. **International Review of Administrative Sciences**, Thousand Oaks, v. 82, n. 2, p. 392-408, abr. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0020852314564308>. Acesso em: 29 jul. 2025.

MENGES, Daniel *et al.* **Digital twin of autonomous surface vessels for safe maritime navigation enabled through predictive modeling and reinforcement learning**. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2024.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Final report of the NASA Technology Readiness Assessment (TRA) study team**. Washington, D.C.: NASA, 2016.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **NOAA Artificial Intelligence strategic plan 2021-2025**: analytics for next-generation earth science. Washington, D.C.: NOAA, 2021.

NOGUEIRA, Renata. **Principais iniciativas de inteligência artificial dos Estados Unidos da América e China que podem contribuir com o fortalecimento do poder marítimo do Brasil e com a consecução dos objetivos da política nacional de defesa.** 2024. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.repositorio.mar.mil.br/handle/ripcmb/847706>. Acesso em: 30 maio 2025.

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION (NATO). **NATO's digital ocean initiative gets a boost in Portugal.** Bruxelas: NATO, 2024b. Disponível em: https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_228959.htm?selectedLocale=en. Acesso em: 27 jun. 2025.

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION (NATO). **Summary of NATO's revised Artificial Intelligence (AI) strategy.** Bruxelas: NATO, 2024a. Disponível em: https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_227237.htm. Acesso em: 23 maio 2025.

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION (NATO). **System Life Cycle Management (SLCM): Technology Readiness Levels (TRLs).** Bruxelas: NATO, 2022.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **AI principles.** Paris: OECD, 2019. Disponível em: <https://www.oecd.org/en/topics/ai-principles.html>. Acesso em: 1 ago. 2025.

OTTESEN, Are. **Situation awareness in remote operation of autonomous ships.** Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2020.

OZORIO, Paulo Roberto Blanco. **A influência das tecnologias emergentes e disruptivas na estratégia naval estadunidense:** oportunidades para a estratégia de meios da Marinha do Brasil no horizonte 2040. 2021. 110 f. Tese (Política e Estratégias Marítimas) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.repositorio.mar.mil.br/handle/ripcmb/847742>. Acesso em: 28 jul. 2025.

PODER NAVAL. **IACIT e Marinha do Brasil firmam contrato para fornecimento de dados do Radar Além do Horizonte.** Rio de Janeiro: Poder Naval, 2023b. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2023/12/20/iacit-e-marinha-do-brasil-firmam-contrato-para-fornecimento-de-dados-do-radar-alem-do-horizonte/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

PODER NAVAL. **SIATT inicia planejamento para instalação da Unidade de Vigilância do SisGAaz.** Rio de Janeiro: Poder Naval, 2023a. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2023/11/14/siatt-inicia-planejamento-para-instalacao-da-unidade-de-vigilancia-do-sisgaaz/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

QIAO, Yuanyuan *et al.* **Survey of deep learning for Autonomous Surface Vehicles in the marine environment.** IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Boston, v. 24, n. 4, p. 3678-3701, jan. 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10021250/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

SEA TRAFFIC MANAGEMENT. **Validation project**: final report. Bruxelas: STM Validation, 2020.

SILVA FILHO, Edison Benedito da. **Base industrial de defesa do Brasil**: notas para uma estratégia de promoção de exportações. Brasília, DF: IPEA, 2017.

SILVA, José Fábio Carneiro da. **O emprego otimizado de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas na Amazônia Azul com o uso da Inteligência Artificial**. 2023. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Altos Estudos de Política e Estratégia) – Departamento de Estudos, Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://repositorio.esg.br/handle/123456789/1830>. Acesso em: 18 jun. 2025.

SIVORI, Hazel; BRUNTON, Lauren. **Out of the box**: Implementing autonomy and assuring AI in the Maritime Industry. Londres: Lloyd's Register, 2023. Disponível em: <https://www.lr.org/en/knowledge/research-reports/2023/ai-and-autonomy/>. Acesso em: 7 maio 2025.

STONE, Alex; WOOD, Peter. **China's Military-civil fusion**: a view from Chinese strategists. Pequim: China Aerospace Studies Institute, 2020.

SUTTON, H. I. **China navy reveals new large underwater robot which could be a game changer**. New York: Forbes, 2019. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/hisutton/2019/10/01/china-reveals-new-robot-underwater-vehicle-hsu-001/>. Acesso em: 31 jun. 2025.

THALES GROUP. **PATHMASTER, Unmanned Mine Countermeasures**. Paris: Thales Defence & Security, 2025. Disponível em: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/defence-and-security/naval-forces/underwater-warfare/pathmaster-unmanned-mine>. Acesso em: 28 jul. 2025.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **Recommendation on the ethics of Artificial Intelligence**. Paris: UNESCO, 2021.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Global environment outlook 6 summary for policymakers**. New York: UNEP, 2019.

UNITED STATES. **China military power**. Washington, D.C.: Defense Intelligence Agency, 2019.

UNITED STATES. **Military and security developments involving the People's Republic of China**: annual report to Congress. Washington, D.C.: Department of Defense, 2024.

UNITED STATES. **Military and security developments involving the People's Republic of China**: annual report to Congress. Washington, D.C.: Department of Defense, 2021.

UNITED STATES. **Summary of the 2018 Department of Defense Artificial Intelligence Strategy**. Washington, D.C.: Department of Defense, 2018.

UNITED STATES. **Technology Readiness Assessment (TRA) deskbook**. Washington, D.C.: Department of Defense, 2023.

VAVASSEUR, Xavier. **Thales to provide its Pathmaster mine warfare system to Singapore**. Paris: Naval News, 2025. Disponível em: <https://www.navalnews.com/event-news/index-asia-2025/2025/05/thales-to-provide-its-pathmaster-mine-warfare-system-to-singapore/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

VILELA, Érico Sant' Anna. **Amazônia Azul**: a estratégia da Marinha do Brasil para a segurança marítima. 2020. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Inteligência Estratégica) – Departamento de Estudos, Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://repositorio.esg.br/handle/123456789/851>. Acesso em: 25 jun. 2025.

WEBSTER, Graham *et al.* **New generation Artificial Intelligence development plan**. Washington, D.C.: New America, 2017. Disponível em: <https://www.newamerica.org/cybersecurity-initiative/digichina/blog/full-translation-chinas-new-generation-artificial-intelligence-development-plan-2017/>. Acesso em: 30 mar. 2025.

WILTGEN, Guilherme. **Comandante do COMPAAZ fala das capacidades do SisGAaz**. Rio de Janeiro: Defesa Aérea & Naval, 2022. Disponível em: <https://www.defesaaereanaval.com.br/naval/comandante-do-compaaz-fala-das-capacidades-do-sisgaaz>. Acesso em: 22 jun. 2025.

YANG, Zi; EVROM, Yoram; BITZINGER, Richard. **China's Military-civil fusion strategy**: development, procurement, and secrecy. Seattle: The National Bureau of Asian Research, 2021.

ZEWE, Adam. Explained: generative AI. **MIT News**, Boston, 9 nov. 2023. Disponível em: <https://news.mit.edu/2023/explained-generative-ai-1109>. Acesso em: 28 jul. 2025.