

# NICHOS EM INOVAÇÃO DISRUPTIVA DE INTERESSE DA DEFESA NO BRASIL: OPORTUNIDADES E DESAFIOS

## NICHES IN DISRUPTIVE INNOVATION OF DEFENSE INTEREST IN BRAZIL: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

FERNANDA DAS GRAÇAS CORRÊA

### RESUMO

Os objetivos deste ensaio são: apresentar as mais recentes políticas públicas em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) de Interesse de Defesa; identificar as áreas tecnológicas de interesse de atuação das Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação do Ministério da Defesa (ICTMD); e correlacionar, de acordo com as áreas tecnológicas exploradas no estudo, os principais nichos em inovações disruptivas que possam atender demandas de projetos de Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação (PD&I) das Forças Armadas e do Ministério da Defesa.

### PALAVRAS-CHAVE

Ciência, Tecnologia e Inovação; Nichos Tecnológicos; Produtos Inovadores.

### ABSTRACT

The objectives of this study are to present the latest public policies in Science, Technology and Innovation (ST&I) of Defense Interest, identify the technological areas of interest for the Scientific, Technological and Innovation Institutions of the Ministry of Defense (ICTMD, acronym in portuguese) and co-associate, according to the technological areas explored in the study, the main niches in disruptive innovations that can meet the demands of Research, Development & Innovation (RD&I) projects of the Armed Forces and the Ministry of Defense.

### KEY WORDS

Science, Technology & Innovation; Technological Niches; Innovative Products.

### A AUTORA

Coordenadora de Prospecção Tecnológica e Gestão do Conhecimento do Departamento de Ciência, Tecnologia e Inovação (DECTI), da Secretaria de Produtos de Defesa (SEPROD), do Ministério da Defesa. Pós-doutoranda em Modelagem de Sistemas Complexos (EACH/USP). Pós-Doutora em Ciências Militares (ECEME). Doutora em Ciência Política na Área de Concentração Estudos Estratégicos (UFF). Pesquisadora na linha Tecnologia, Inovação & Emprego Militar (2022-2023) do Centro de Estudos Estratégicos do Exército (CEEEx).



## SUMÁRIO EXECUTIVO

Este primeiro ensaio da linha de pesquisa Tecnologia, Inovação & Emprego Militar, do Núcleo de Estudos Prospectivos (NEP), do Centro de Estudos Estratégicos do Exército (CEEEx), tem por objetivo geral correlacionar os principais nichos em inovações disruptivas que possam atender às demandas de parcerias na elaboração de projetos de Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação (PD&I) das Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação do Ministério da Defesa (ICTMD) e de serviços e produtos inovadores para emprego militar das Forças Armadas, de acordo com as áreas tecnológicas exploradas no estudo: Quântica, Inteligência Artificial (IA), Energia Dirigida e Internet das Coisas (IoT) e 6G. Entre os objetivos específicos, pretende-se apresentar as mais recentes políticas públicas de interesse da Defesa em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) e identificar e explorar quatro áreas tecnológicas de interesse da Defesa.

Existe um conjunto vasto de áreas tecnológicas em que as ICTMD atuam ou têm interesse em atuar, em parceria com nichos tecnológicos e empresas brasileiras. No entanto, em muitas dessas áreas, há tanto oportunidades quanto desafios a serem enfrentados pelas Forças Armadas (FA) e pelo Ministério da Defesa (MD). As oportunidades envolvem parcerias no desenvolvimento de projetos de PD&I das ICTMD com esses nichos tecnológicos, empresas de base tecnológica e *startups*. No âmbito de um modelo econômico descentralizado, acarretam apoio com recursos não reembolsáveis do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), capturados pelo MD e demais ministérios. Na atual conjuntura, as ICTMD participam da proposição de projetos de PD&I de diversas chamadas públicas com subvenção econômica em fundos setoriais, com representação, no MD, do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT). Mais recentemente, o MD assinou acordo de cooperação com a Associação Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) para financiar projetos de PD&I das ICTMD, em colaboração com empresas da Base Industrial de Defesa (BID), com recursos não reembolsáveis cedidos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Assim, é importante que as políticas públicas de CT&I, elaboradas pelo MCTI, contemplem demandas tecnológicas de interesse da Defesa.

Por essa razão, foram elaboradas tabelas especificando as ICTMD que atuam ou têm interesse em atuar em cada uma das quatro áreas tecnológicas exploradas neste estudo, de acordo com as respectivas FA e os principais nichos tecnológicos brasileiros que atuam na prestação de serviços e no desenvolvimento de soluções e produtos inovadores. As soluções e os produtos apresentados são de naturezas completamente diferentes e podem atender às ICTMD com perfis completamente diferentes. Inclusive, na área de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), com os incentivos e fomentos governamentais capturados pelo MD, é possível que as ICTMD que empregam tecnologias já dominadas se interessem em se especializar em novas tecnologias, como Quântica, IA e IoT e 6G. Observou-se que alguns nichos tecnológicos brasileiros se repetem em algumas áreas tecnológicas, evidenciando o enorme potencial dessas organizações em gerar inovações disruptivas para a Defesa.

Conclui-se, então, que, no âmbito da inovação aberta, os nichos tecnológicos brasileiros podem cobrir lacunas em recursos humanos, materiais e tecnologias e contribuir para alavancar projetos de PD&I de interesse da Defesa das ICTMD. Além disso, é de suma importância que tanto o MD quanto as Forças Armadas criem programas de conscientização, nas suas escolas tecnológicas, Instituto Militar de Engenharia (IME) e Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), e em universidades, polos e parques tecnológicos, a respeito da relevância de incubar *startups* que desenvolvam soluções científicas e tecnológicas, em suas instalações, para resolver problemas da Defesa.

### 1. Políticas Públicas de CT&I de interesse da Defesa no Brasil

Em 2003, o Ministério da Defesa (MD) e o então Ministério da Ciência e Tecnologia criaram o documento *Concepção Estratégica: Ciência, Tecnologia e Inovação de Interesse da Defesa Nacional*, a fim de ampliar iniciativas institucionais e buscar o engajamento de importantes representações da sociedade brasileira, no esforço comum de

interação dos órgãos civis, militares, universitários e empresariais, cuja missão seja o desenvolvimento da CT&I no País (BRASIL, 2003, p. 9). Por questão de defasagem, tanto esse documento quanto as Tecnologias de Interesse da Defesa estão em processo de atualização no MD. Além da tecnologia quântica, a Inteligência Artificial (IA) também consta na lista das Tecnologias de Interesse da Defesa que, em breve, será publicada em documento normativo interministerial.

O novo marco legal de CT&I é um conjunto de leis que altera e regulamenta as políticas públicas referentes a essa área no Brasil. A Lei Nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016, dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação. O Decreto Nº 9.283, de 07 de fevereiro de 2018, estabelece medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, com vistas à capacitação tecnológica, ao alcance da autonomia tecnológica e ao desenvolvimento do sistema produtivo nacional e regional. A Lei Complementar Nº 182, de 1º de junho de 2021, institui o marco legal das *startups* e do empreendedorismo inovador.

Os dois documentos normativos, promulgados por portaria ministerial em 2021: a Portaria GM-MD Nº 3.063, de 22 de julho de 2021 e a Portaria GM-MD Nº 3.439, de 18 de agosto de 2021, usam o novo marco legal de CT&I como fundamentos legais para implementar a Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Defesa (PCTID) e a Política de Propriedade Intelectual do Ministério da Defesa (PPIMD). De acordo com essa lei, uma Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação (ICT) é um

órgão ou entidade da administração pública direta ou indireta ou pessoa jurídica de direito privado sem fins lucrativos legalmente constituída sob as leis brasileiras, com sede e foro no País, que inclua em sua missão institucional ou em seu objetivo social ou estatutário a pesquisa básica ou aplicada de caráter científico ou tecnológico ou o desenvolvimento de novos produtos, serviços ou processos. (BRASIL, 2016, p.1)

Entre as ações estratégicas da PCTID, cabe ao MD: (1) incrementar a cooperação científico-tecnológica das ICT militares com instituições no Brasil e no exterior, em programas e projetos de interesse de Defesa; (2) estimular e apoiar a criação, a implantação e a consolidação de ambientes promotores da inovação, incluídos parques e polos tecnológicos, como forma de incentivar o desenvolvimento tecnológico, o aumento da competitividade e a interação entre as

empresas e as ICT militares; (3) estimular a parceria entre as ICT militares e as empresas, com capacidade de produção em escala, para o desenvolvimento de produtos de defesa, incluindo a transferência e o licenciamento de tecnologia; (4) privilegiar a pesquisa básica, de caráter científico e tecnológico, e o empreendedorismo para o alcance da autonomia nacional no desenvolvimento de produtos, serviços e processos inovadores de interesse de Defesa; (5) ampliar e estimular a prestação de serviços e produtos pelas ICT militares; (6) integrar, de acordo com as orientações dos NIT (Núcleos de Inovação Tecnológica), as ICT militares às redes temáticas de Ciência e Tecnologia; (7) estimular o compartilhamento e a permissão de uso de infraestrutura e capital intelectual das ICT militares com outras ICT, integrantes do setor produtivo ou pessoas físicas; e (8) implementar sistemas de gestão do conhecimento, prospecção tecnológica e identificação de áreas estratégicas de CT&I, de interesse de Defesa (BRASIL, 2021, p.p.2-4).

No âmbito das FA, são os próprios Comandos das Forças que qualificam ou reconhecem suas Organizações Militares (OM) como ICT, por documentos normativos. De acordo com a Portaria GM-MD Nº 3.439, de 18 de agosto de 2021, todas as OM reconhecidas pelas Forças são consideradas ICT do MD (ICTMD). O MD também tem três instituições subordinadas, qualificadas por portaria ministerial como ICT. Somando-se as ICT, nas três FA e no MD, tem-se um total de 72 ICT. Assim sendo, as políticas públicas de CT&I de interesse da Defesa estão voltadas para o fortalecimento das ICTMD.

## 2. As Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação do MD

As OM do Exército Brasileiro (EB) qualificadas ou reconhecidas como ICTMD são as seguintes: Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT), Comando de Comunicações e Guerra Eletrônica do Exército (CCOMGEX), Centro de Desenvolvimento de Sistemas (CDS), Centro de Defesa Cibernética (CDCIBER), Diretoria

de Serviço Geográfico (DSG), Instituto Militar de Engenharia (IME), Hospital Central do Exército (HCE), Centro Tecnológico do Exército (CTEx), Centro de Avaliação do Exército (CAEx), Centro Integrado de Telemática do Exército (CITEx), Diretoria de Fabricação (DF) e seus três arsenais de guerra, Centro de Instrução de Aviação do Exército (CIAVEx), Hospital Militar de Área de São Paulo (HMASP), Instituto de Pesquisa da Capacitação Física do Exército (IPCFEx), Agência de Gestão e Inovação Tecnológica (AGITEC), Laboratório Químico e Farmacêutico do Exército (LQFEx), Centro de Instrução de Guerra na Selva (CIGS), Centro Instrução e

Guerra Eletrônica (CIGE), Escola de Comunicações (EsCom), 1º Batalhão de Guerra Eletrônica (1º BGE), Companhia de Comando e Controle (Cia C2), os 12 (doze) Centros de Telemática de Área (CTA) e os cinco Centros de Geoinformação (CGEO). Cada uma dessas ICT possui uma multiplicidade de competências e capacidades militares e operacionais, podendo atuar de forma isolada ou conjunta no desenvolvimento de um projeto de PD&I. As áreas tecnológicas em que as ICTMD subordinadas ao EB estão atuando ou têm interesse em atuar estão listadas na **tabela 1**, a seguir.

**Tabela 1: ICTMD subordinadas ao Exército Brasileiro**

 <b>Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação do Ministério da Defesa (ICTMD)</b>	
ICTMD	Áreas Tecnológicas em que as ICTMD atuam ou têm interesse em atuar
CCOMGEx	Comando e Controle, Comunicação Estratégica, Guerra Eletrônica e Defesa Cibernética.
CDS	Comando e Controle, TI, Computação de Alto Desempenho, Quântica, IA, Blockchain, Espectro Eletromagnético.
CDCIBER	Comando e Controle e Defesa Cibernética.
DSG e seus 5 CGEO	Geolocalização, Meteorologia, Cartografia e Sistemas de Informações Geográficas.
IME	Sinais Acústicos, Comunicações Digitais, Eletrônica Básica e Técnicas Digitais, Fotônica, Mecatrônica, Processamento Digital de Sinais, Processamento de Imagens, Radiofrequência (RF) e Antenas e de Micro-ondas, Máquinas Elétricas, Neutrônica, Robótica e Inteligência Computacional, Computação de Alto Desempenho, Defesa Cibernética, Ligantes e Misturas Betuminosas, Materiais de Construção e Concreto, Ressonância Magnética Nuclear, Processos Catalíticos, Cromatografia e Espectrometria de Massas, Processos Biotecnológicos, Imageamento, Cartografia e Sistemas de Informações Geográficas, Geolocalização, Aerodinâmica, Metalografia, Robótica Industrial e de Defesa, Biomateriais, Microscopia Eletrônica, Filmes Finos, Criogenia, Difração de Raios-X, Ensaios Ambientais em Polímeros, Ensaios Mecânicos, Fibras Naturais e seus Compósitos, Materiais Conjugados, Síntese de Nanopartículas Magnéticas, Ressonância Magnética, Tratamentos Termodinâmicos, Caracterização de Materiais, Espectroscopia no Infravermelho e Ultravioleta, Preparação de Catalisadores e Craqueamento Catalítico, Infravermelho, Emprego Tecnológico de Produtos da Biodiversidade, Unidades de Processos Orgânicos e Escalonamento de Produção de Bioativos, Modelagem Molecular Aplicada à Defesa Química e Biológica, Química Verde e Sustentável, Fluidodinâmica Computacional Multiescala, Nanotecnologia e Físico-Química, Cromatografia Líquida, Monitoramento de Produtos Orgânicos, Materiais Energéticos, Síntese Orgânica, Química Teórica e Computacional, Hidráulica, Solos, Meteorologia Aplicada e Redução de Riscos e Prevenção de Desastres




HCE	Telemedicina, Holograma, Nuclear e TI.
CTEx	TI, IA, Desempenho de Combatente, Comando e Controle, Comunicação Estratégica, Guerra Eletrônica, Defesa Cibernética, Blockchain, Energia Dirigida, Armas Pesadas.
CAEx	Avaliação Operacional e Metrologia.
CITEx e seus 12 CTA	Comando e Controle, TI, Computação de Alto Desempenho, IoT e 6G.
DF e seus 3 AG	TI, Vetrônicos, Armas Leves.
CIAVEx	Simuladores, Vetrônicos, Realidade Virtual, Realidade Mista, IA.
HMASP	Saúde Preventiva, Medicina Operacional.
IPCfEX	Saúde Preventiva, Medicina Operacional, Desempenho de Combatente, Avaliação Física, Biomecânica, Bioquímica, Cardiologia, Cineantropometria, Fisiologia do Exercício, Termorregulação, Nutrição, Psicofisiologia e Treinamento Desportivo, Eletromiografia, Infravermelho, Neurociência e Biossensores.
AGITEC	Prospecção Tecnológica, Gestão da Propriedade Intelectual, Gestão do Conhecimento Científico-Tecnológico, Gestão da Inovação Tecnológica em Defesa.
LQFEx	Fabricação de Medicamentos, Saúde Preventiva e Medicina Operacional.
CIGS	Pesquisas e Experimentações Doutrinárias para a Defesa, Desempenho de Combatente, Medicina Veterinária, Avaliação Física, Biomecânica, Cardiologia, Cineantropometria, Fisiologia do Exercício.
CIGE	Comando e Controle, Comunicação Estratégica, Guerra Eletrônica e Defesa Cibernética.
EsCom	
1º BGE	
Cia C2	

Fonte: a autora.

As OM da Marinha do Brasil (MB) qualificadas ou reconhecidas como ICTMD são as seguintes: Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGDNTM), Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), Hospital Naval Marcílio Dias/ Instituto de Pesquisas Biomédicas (HNMD/IPB), Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), Escola de Guerra Naval (EGN), Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), Laboratório Farmacêutico da Marinha (LFM), Centro Tecnológico do Corpo de Fuzileiros Navais (CTecCFN),

Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro (CTMRJ), Diretoria de Desenvolvimento Nuclear da Marinha (DDNM), Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes (CEFAN) e Corpo de Fuzileiros Navais (CTecCFN), Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro (CTMRJ), Diretoria de Desenvolvimento Nuclear da Marinha (DDNM), Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes (CEFAN) e Centro de Desenvolvimento de Submarinos (CDSUB). As áreas tecnológicas em que as ICTMD subordinadas à MB estão atuando ou têm interesse em atuar estão listadas na **tabela 2**, a seguir.

**Tabela 2: ICTMD subordinadas à Marinha do Brasil**


ICTMD	Áreas Tecnológicas em que as ICTMD atuam ou têm interesse em atuar
DGDNTM	Meio ambiente operacional, defesa NBQRe, sistema de comando e controle, defesa e segurança cibernética, nuclear e energia, plataformas navais, aeronavais e de fuzileiros navais e desempenho de combatente.
IPqM	Sistemas de Armas, Sensores, Guerra Eletrônica, Guerra Acústica, Sistemas Digitais e Tecnologia de Materiais.
HNMD/IPB	Biomedicina, biossegurança, biodefesa, Defesa Química Biológica Radiológica e Nuclear (DBQRN), telemedicina, robótica, nanotecnologia, simulações cirúrgicas e realidade virtual.
CASNAV	Tecnologia da informação, pesquisa operacional, simulação, criptologia e pós-quântico.
EGN	Pesquisa científica de interesse da Marinha, nas áreas de Defesa Nacional, Poder Marítimo, Guerra Naval e Administração, Simulações e Cenários, Jogos de Guerra.
IEAPM	Oceanografia, Geologia, Meteorologia, Biotecnologia Marinha e Acústica Submarina.
CTMSP	Sistemas de propulsão e de geração de energia, de interesse da Marinha do Brasil (MB), em especial aqueles relacionados ao Setor Nuclear.
CHM	Cartografia náutica, meteorologia, segurança da navegação, climatologia, meio ambiente operacional, satelital, auxílios à decisão e previsão ambiental.
LFM	Novas formulações sólidas, semissólidas e líquidas, produzir galênica (comprimidos, cápsulas, suspensões e xaropes), realizar análises físico-químicas (insumos farmacêuticos, medicamentos e água), realizar análises microbiológicas (insumos, medicamentos, água potável/purificada, superfícies e controle ambiental), caracterizar insumos farmacêuticos, realizar estudos de pré-formulação e incompatibilidades, realizar estudos de estabilidade e fotoestabilidade de formulações farmacêuticas, realizar estudos de degradação forçada, realizar estudos de validação de processos e desenvolver e validar metodologias analíticas.
CTecCFN	Mecânica fina, oprônica, robótica, comando e controle, inteligência artificial, simulação e adestramento, processos decisórios, aprendizagem acelerado, manufatura aditiva, geração de energia, desempenho de combatente, proteção balística, automação, mobilidade anfíbia, letalidade e fogos expedicionários e energia dirigida.
CTMRJ	Acústica submarina, biotecnologia marinha, ciência ambiental, ciência de dado, controle e automação, criptografia, ecologia marinha, engenharia oceânica, engenharia de produção aplicada e pesquisa operacional, engenharia submarina, física, matemática aplicada, meio ambiente operacional, nanotecnologia, oceanografia aplicada, pesquisa e desenvolvimento de materiais, processos decisórios, propriedade intelectual e gestão da inovação, sistemas inerciais e lasers, Fotônica e oprônica.
DDNM	Nuclear.
CEFAN	Fisioterapia esportiva, fisiologia do exercício, biomecânica, treinamento desportivo, engenharia biomédica, ciências do exercício e do esporte, psicologia, ciências da reabilitação e desempenho de combatente.
CDSUB	Estudos para conceber projetos de submarinos.

Fonte: a autora.



As OM da Força Aérea Brasileira (FAB) qualificadas ou reconhecidas como ICTMD são as seguintes: Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI), Instituto de Estudos Avançados (IEAv), Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV), Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), Centro de Lançamento de Alcântara (CLA),

Laboratório Químico-Farmacêutico da Aeronáutica (LAQFA), Instituto de Medicina Aeroespacial Brigadeiro Médico Roberto Teixeira (IMAE), Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), Centro de Computação de Aeronáutica de São José dos Campos (CCA-SJ), Instituto de Logística da Aeronáutica (ILA) e Instituto de Aplicações Operacionais (IAOp). As áreas tecnológicas em que as ICTMD subordinadas à FAB estão atuando ou têm interesse em atuar estão listadas na **tabela 3**, a seguir.

**Tabela 3: ICTMD subordinadas à Força Aérea Brasileira**

	
ICTMD	Áreas Tecnológicas em que as ICTMD atuam ou têm interesse em atuar
DCTA	Pesquisa Aeroespacial de Vanguarda.
ITA	Novos conceitos aeronáuticos, Engenharia de transporte aéreo, Manufatura, automação, produção e gestão da inovação, Sistemas autônomos e Sistemas Embarcados, Propulsão aeroespacial e energia sustentável, Materiais avançados, materiais multifuncionais e estruturas aeroespaciais, Nanotecnologia e engenharia de superfície, Comando e controle, guerra eletrônica e segurança cibernética, Engenharia de sistemas e engenharia logística, Ciência e engenharia espacial, Infraestrutura aeronáutica, Pesquisa básica em física, química e matemática, Bioengenharia e Fatores Humanos e Ciência de Dados e Inteligência Artificial.
IAE	Ensaio de Impacto, Aerodinâmica, Ensaio de Aceleração, Ensaios Estruturais, Ensaio de Vibração, Propelentes, Envelopes Motores, Motor-Foguete, Veículos Suborbitais e Microssatélites.
IFI	Metrologia, Normalização técnica, Certificação de produtos e de sistemas de gestão da qualidade, Análise e catalogação empresarial e Assessoria em compensação comercial, industrial e tecnológica, de mobilização industrial, relacionadas ao setor aeroespacial, bem como realizar pesquisas científico-tecnológicas e desenvolver novas atividades e processos nas áreas mencionadas.
IEAv	Energia Nuclear, Sistemas de Propulsão a Jato, Eletrificação, Radiação de Alta Frequência, Radiação Ionizante, Radiação a Laser, Inteligência Artificial, Modelagem e Simulação, Sensores de Visão Computacional, Sensores Inerciais e Sensores Infravermelhos.
IPEV	Ciclo de Vida, Garantia da Qualidade, Segurança de Sistemas e Produtos, Validação experimental de ensaios em voo, Certificação militar, Desenvolvimento, Avaliação operacional e Recebimento de aeronaves.
CLBI	Planejamento e gerenciamento de operações espaciais, execução de operações espaciais, sistemas de solo, sistemas embarcados, interoperabilidade.
CLA	Lançamento e rastreamento de engenhos aeroespaciais e desenvolvimento de soluções científico-tecnológicas no campo do Poder Aeroespacial.
LAQFA	Tecnologia farmacêutica.
IMAE	Ampliação do conteúdo tecnológico dos produtos e serviços de interesse de Defesa, capacitação de recursos humanos, vinculados ou dedicados à ciência, tecnologia e inovação de interesse de Defesa e integração das iniciativas de CT&I de interesse de Defesa, conduzidas nas ICT, nas empresas e na academia.
ICEA	VANT, Simuladores e Softwares e Meteorologia Aeronáutica.
CCA SJ	Aprendizado de Máquina, Aprendizado de Máquina + Processamento de Linguagem Natural, Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Realidade Mista e Fotogrametria com Drone.
ILA	Pesquisa Operacional, Logística, Confiabilidade e Suportabilidade.
IAOp	Desenvolvimento de técnicas, processos, táticas e soluções operacionais; e Elaboração de cenários operacionais.

Fonte: a autora.

**Tabela 4: ICTMD subordinadas ao Ministério da Defesa**

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="background-color: #333; color: white; padding: 10px; text-align: center;"> <h2 style="margin: 0;">ICTMD subordinadas ao Ministério da Defesa</h2> </div>  </div>	
ICTMD	Áreas Tecnológicas em que as ICTMD atuam ou têm interesse em atuar
CENSIPAM	Inteligência eletrônica, Ondas eletromagnéticas, Tecnologia da Informação, Sensoriamento remoto, Geointeligência, Inteligência artificial, IoT e Modelagem Numérica do Tempo.
HFA	Saúde Preventiva, Medicina Operacional, DBQRN e Desempenho de Combatente, IA, Robótica, Blockchain, data analytics em saúde, Telessaúde e saúde conectada, engenharia biomédica e Biomateriais.
ESD	Pesquisa básica e aplicada na área da Defesa e da Segurança Internacional.

Fonte: a autora.

As OM qualificadas ou reconhecidas pelo MD como ICTMD são as seguintes: Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), Hospital das Forças Armadas (HFA) e Escola Superior de Defesa (ESD). As áreas tecnológicas em que essas ICTMD estão atuando ou têm interesse em atuar estão listadas na **Tabela 4**.

### 3. Nichos em tecnologias e inovação disruptiva de interesse da Defesa no Brasil

Conceitualmente, na área de Gestão Estratégica de Nichos (*SNM*, sigla em inglês), “nichos tecnológicos são espaços protegidos propícios para experimentação e desenvolvimento de inovações radicais por meio da relação dos agentes” (MENDONÇA, CUNHA & NASCIMENTO, 2019, p.3). Os espaços para o desenvolvimento e uso de novas tecnologias são protegidos por mecanismos como isenções fiscais do

governo, compromissos de PD&I entre empresas de base tecnológica e/ou até da disposição dos consumidores finais em participar nos testes de maneira não remunerada (CANIËLS & ROMIJN, 2008 Apud MENDONÇA, CUNHA & NASCIMENTO, 2019, p.3). Além de diversas organizações de fomento à inovação realizarem investimentos com recursos não reembolsáveis, é comum as Forças Armadas brasileiras testarem, sem exigir remuneração, soluções inovadoras desenvolvidas por nichos tecnológicos em áreas de acesso restrito que simulem teatros de operações militares.

O século XXI proporcionou o surgimento de diversas inovações tecnológicas, as quais algumas ainda se encontram em estágio de amadurecimento. O surgimento de inovações tecnológicas como essas, a volatilidade crescente das demandas, as mudanças drásticas de comportamento e a percepção dos mercados consumidores têm tornado cada vez mais necessário o rompimento das barreiras tecnológicas nas organizações (VIANA, 2019).



Na gestão de programas e projetos se utiliza muito o termo disruptivo para referência às tecnologias que promovem mudanças profundas nos processos, produtos e/ou serviços. As inovações disruptivas poderão dar origem a novos mercados, que, possivelmente, assumirão a posição dos produtos existentes anteriormente. Assim, com esses diferenciais a tendência é a prosperidade dos negócios, pois as organizações que desenvolvem a inovação disruptiva ganharão experiência e investimentos sólidos, permitindo, cada vez mais, a melhoria do desempenho dos seus produtos, o aprimoramento dos atributos existentes e, ainda, o acréscimo de novos atributos aos seus produtos.<sup>1</sup> Neste estudo, listamos algumas das tecnologias disruptivas que mais têm demandado projetos de PD&I, as quais podem ser de interesse das ICTMD subordinadas ao Exército Brasileiro: Quântica, IA, Energia Dirigida, Internet das Coisas (IoT) e 6G.

### 3.1. Quântica

A ciência quântica estuda o desenvolvimento de algoritmos e *softwares* baseados em informações processadas por sistemas quânticos, como átomos, partículas subatômicas e fótons. A computação quântica faz uso de propriedades da mecânica quântica, como sobreposição e interferência, enquadrando-se no contexto da teoria da complexidade com significativos transbordamentos para diversas áreas: Criptografia, IA, Biomedicina e novos medicamentos, Sensoriamento Remoto, Modelagem Financeira, Meteorologia, entre outras.

Para entender melhor essa área, é essencial saber que os computadores clássicos operam com memória em *bits* e cada *bit* armazena “1” ou “0” de informação. Computadores quânticos, por sua vez,

operam com um conjunto de *qubits* e cada *qubit* armazena “1” ou “0” ou uma sobreposição de “1” ou “0” de informação. Computadores quânticos manipulam esses *qubits*.

Os avanços tecnológicos introduzidos com a adoção de sistemas quânticos em tarefas informacionais refletem-se, principalmente, no aumento da velocidade de processamento de dados e na redução do número total de *bits* necessários para a implementação de algoritmos específicos, graças à existência de uma propriedade imprescindível para a execução da maioria dessas tarefas: o emaranhamento. Todavia, quando um sistema puro interage com um meio externo e as informações relativas ao estado  $|\psi\rangle$  são expostas a este meio, ocorre um fenômeno que afeta o estado global no qual este sistema está inserido e destrói a pureza da função de onda original: a decoerência. Se um estado emaranhado puro possui ao menos um *qubit* exposto à ação de um sistema externo, o processo de decoerência não só reduz a amplitude das superposições existentes entre todos os seus constituintes como também afeta o grau de emaranhamento entre os mesmos. (ALBINO, FORTES & BLOOT, 2020, p.2)

Na mecânica quântica, o emaranhamento ocorre quando um par de partículas interage fisicamente. A decorrência quântica é a perda da coerência de ângulos de fase entre partículas de um sistema sobreposto. Hoje, o emaranhamento é a base para a maior parte das aplicações quânticas potenciais que envolvem as áreas de Comunicação, Computação, Mecânica e Metrologia. A Segunda Revolução Quântica se estabelece a partir dos estudos do emaranhamento quântico.

No final da década 1990, os primeiros computadores quânticos baseados em montagem térmica foram construídos no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT, sigla em inglês). Em 2017, a empresa canadense *D-Wave* desenvolveu um computador híbrido denominado *Orion* com um processador quântico de 16 *qubits* que, também, processa *bits* convencionais. Em 2017, essa mesma empresa lançou o 2000Q,

<sup>1</sup>Para conhecer melhor o debate sobre o conceito de Inovação no âmbito da linha de pesquisa Prospectiva Tecnológica e Emprego Militar do NEP/CEEEx, acessar:

<http://ebrevistas.eb.mil.br/CEEExAE/article/view/7013/6052>

modelo de computador quântico comercial com 2.000 *qubits*. Em 2019, a comunidade científica foi surpreendida com o *Sycamore*, *chip* quântico da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA, sigla em inglês) com 54 *qubits*, capaz de solucionar problemas complexos em minutos e prever possíveis mudanças na configuração de uma molécula de diazeno ( $H_2N_2$ ), utilizando apenas 12 dos 54 *qubits* presentes no processador. Se um computador clássico utilizasse um super processador só seria capaz de realizar esse feito em cerca de 10 mil anos. Entre as empresas estrangeiras que estão na fronteira do desenvolvimento desse tipo de supercomputador, destacam-se a IBM, o Google e a Microsoft. Atualmente, os países que mais têm investido recursos em programas de tecnologias quânticas são EUA, Inglaterra, China e Índia.

No Brasil, não dispomos de organizações capazes, ainda, de desenvolver tecnologias quânticas, como computadores e chips quânticos, mas dispomos de instituições civis e militares que têm competências e capacidades para atuar na Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação (PD&I) de tecnologias computacionais de alto desempenho, simulação quântica e pós-quântica. São elas: SENAI CIMATEC Bahia; Sociedade Brasileira de Física; Instituto Brazil Quantum; Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica; Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) de Óptica Básica e Aplicada às Ciências da Vida; e o Instituto de Física Gleb Wataghin, da Universidade Estadual de Campinas.

Em maio de 2021, o SENAI CIMATEC Bahia lançou o Centro de Computação Quântica Latino Americano (LAQCC, sigla em inglês), o segundo maior da América Latina, e o simulador quântico que utiliza um *hardware* clássico de supercomputação, com foco no desenvolvimento de ensaios teóricos, provas de conceito, simulações e plataforma de treinamento de pesquisadores. O objetivo do LAQCC é disseminar a tecnologia quântica, impulsionar a capacitação de mão de obra e incentivar pesquisas científicas, facilitando, assim, a formação de pesquisadores, programadores, engenheiros e

técnicos em território nacional. Além de realizar PD&I, os serviços prestados pelo SENAI CIMATEC Bahia envolvem consultorias, serviços técnicos e tecnológicos, especialmente, nas áreas de Computação de Alto Desempenho (HPC, sigla em inglês), Arquitetura de Sistemas e Software, Computação Visual (Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Visão Computacional, Interface Natural de Usuário e Interação Humano-Computador [IHC, sigla em inglês] não convencionais) e Microeletrônica. Na área de Processamento de Alto Desempenho, os serviços técnicos e tecnológicos ofertados são: Otimização e Paralelização de Códigos; Processamento de Alto Desempenho & Supercomputação Sísmica; Inversão do Campo de Onda Completo (FWI, sigla em inglês) e Geofísica; Administração de Servidores e Segurança da Informação; e *Hosting & Cloud*.<sup>2</sup>

### 3.2. Inteligência Artificial (IA)

A IA é uma área do conhecimento científico que pode empregar um conjunto integrado de ferramentas e métodos, como: Redes Neurais Artificiais (RNA); algoritmos; *Machine Learning* (aprendizado de máquina); *Deep Learning* (aprendizagem profunda); Processamento de Linguagem Natural (PLN); Robótica; entre outras, capaz de permitir a uma máquina a reprodução de determinadas habilidades humanas, como raciocínio, percepção de ambiente, reconhecimento de voz e de visão, tomada de decisão, com diferenciados graus de autonomia. As RNA são sistemas computacionais com nós interconectados, que funcionam como os neurônios do cérebro humano, por meio de uma gama de algoritmos que torna viável o aprendizado de máquinas com dados e aprimoramento contínuo de novos conjuntos de regras e métodos para resolução de problemas. As RNA empregam métodos de *Deep Learning* com capacidade de reconhecer padrões complexos com função de aprendizado dentro da própria rede. Baseiam-

<sup>2</sup>Para conhecer melhor os serviços técnicos e tecnológicos do SENAI CIMATEC Bahia, acessar: <https://www.senaicimatec.com.br/servicos/>

se na estrutura de neurônios humanos visando à reprodução do aprendizado de máquinas. Existem diferentes tipos de RNA, tais como Redes Neurais Convolucionais (RNC), Redes Neurais Recorrentes (RNR), Redes Neurais *Feedforward* e Redes Neurais *Autoencoder*. Entre os múltiplos usos das redes neurais, encontram-se: aprendizagem e modelagem das relações entre entradas e saídas de dados não-lineares e complexos; promoção de generalizações e inferência; controle da qualidade e dos processos; revelação de relacionamentos, padrões e predições que estejam ocultos, como ações de mercado, moeda, opções, futuros, falência e classificação de títulos; modelagem de dados altamente voláteis, como dados de séries temporais financeiras; previsão de eventos, como detecção de fraudes em cartões de crédito e de assistência médica; identificação de compostos químicos; aperfeiçoamento de sistemas de controle robóticos etc. Organizações de saúde, empresas de energia e fabricantes, bancos, indústrias de telecomunicações e varejo e organizações do setor público empregam redes neurais nas mais diversas atividades.

Vislumbra-se, desde já, além da corrida tecnológica por *hardwares* avançados, uma permanente corrida pelo desenvolvimento de *softwares* mais velozes, nos quais alguns milésimos de segundo de processamento podem representar a vitória ou a perda de uma batalha. Embora haja drones militares letais, como o *MQ-9 Reaper*, que são remotamente controlados e pilotados por operadores humanos via satélite, existem projetos em fase de desenvolvimento, no Exército dos EUA, de drones militares capazes de identificar e abater veículos e alvos humanos de forma totalmente autônoma por IA. Os países que estão na vanguarda dessa tecnologia são EUA, Japão, China e Índia.

No Brasil, existem diversas organizações com competências e capacidades para atuar na PD&I de tecnologias na área de IA, como no Centro de Excelência em Inteligência Artificial (CEIA) da Universidade Federal de Goiás (UFG), o SENAI CIMATEC Bahia, o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em

Telecomunicações (CPqD) e o recém-criado Centro de Inteligência Artificial da Universidade de São Paulo.

O CEIA, vinculado ao Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás (INF/UFG), foi criado em parceria com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e tem por missão disponibilizar e transferir tecnologias baseadas em IA, a fim de promover a maior competitividade de organizações públicas e/ou privadas, por meio do desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras, envolvendo empresas e *startups* desse ecossistema e instituições de ensino e pesquisa. Desde 2020, o INF/UFG, por intermédio do CEIA, é credenciado como Unidade EMBRAPII (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial) e recebe um fluxo contínuo de recursos não reembolsáveis da, para apoiar projetos de PD&I na área de IA em parceria com empresas. Em outubro de 2021, o CEIA realizou a aquisição do *NVIDIA DGX A100*, sistema universal para a infraestrutura de IA da empresa estadunidense Nvidia Corporation (NVIDIA), com o apoio de recursos da FAPEG e da Procuradoria Geral do Estado de Goiás. Entre os laboratórios científicos vinculados ao CEIA, o Laboratório *Deep Learning Brasil* desenvolve projetos de PD&I em IA e tecnologias exponenciais, sendo integralmente financiado por empresas do setor privado. Além de parcerias com órgãos da administração pública, como Ministério da Educação, Ministério da Saúde, Secretarias do Governo do Estado de Goiás e de administrações municipais, enquanto Unidade EMBRAPII, o CEIA já estabeleceu parcerias para desenvolvimento de projetos de PD&I em IA com empresas, como *HP, Dell, Facebook, Google, Intel, Microsoft e Samsung, Americas Health, Copel e iFood*.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Para conhecer melhor a Unidade EMBRAPII CEIA, acessar: <https://embrapii.org.br/unidades/unidade-embrapii-em-inteligencia-artificial-ceia-ufg-centro-de-excelencia-em-inteligencia-artificial/>



### 3.3. Energia Dirigida

Armas de Energia Dirigida (AED) canalizam a energia em uma direção determinada, com potência muito mais elevada do que a potência aplicada em uso doméstico e/ou industrial, podendo ser de uso letal e não letal. Além de *lasers*, armas de micro-ondas de baixa e alta potência e acústicas também são consideradas AED. Existem dois tipos de armas de micro-ondas: (1) as que empregam ondas milimétricas e focam em um alvo em grandes distâncias, produzindo sensação de queimadura no tecido; e (2) as que empregam ondas de alta potência para provocar danos irreversíveis nos circuitos elétricos e eletrônicos de meios logísticos e infraestruturas inimigas. Armas de Pulso Eletromagnético, mais conhecidas como *E-Bomb*, empregam ondas eletromagnéticas na faixa dos 100 MHz aos 20 GHz, semelhantes às de um relâmpago ou de uma explosão nuclear, sendo aptas a incapacitar, destruir ou deteriorar circuitos elétricos e eletrônicos de equipamentos e infraestruturas.

As bombas de pulso eletromagnético podem inutilizar e/ou destruir armas, como: mísseis de guiagem ótica, mísseis antirradiação, foguetes com guiagem na fase terminal da trajetória, mísseis de cruzeiro, drones, veículos de reentrada atmosférica intercontinental, sistemas de direção de tiro, controle e sistemas de navegação de aviões e bases militares, entre outros. (CORRÊA, 2019, p.p.89-90)

Embora alguns países e organizações militares considerem as *E-Bombs* como letais, elas podem apresentar melhor custo/benefício, nos teatros de operações militares, que as Armas de Destruição em Massa (ADM).

Por sua vez, as armas acústicas empregam ondas sonoras infrassônicas, ultrassônicas e audíveis na faixa de frequência de 1 Hz a 30 kHz sobre alvos localizados em grandes distâncias, sendo capazes de provocar efeitos físicos e psicológicos. Como causam vibração nos globos oculares, os dispositivos sônicos e ultrassônicos distorcem a visão,

gerando efeitos psicológicos sobre os alvos. Geralmente, são utilizadas em operações de controle de multidão, antipirataria e contraterrorismo. Diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento dominam essa tecnologia, sobretudo, EUA, Rússia, China e Índia. De domínio público, os EUA são os que têm mais projetos de AED concluídos e em andamento divulgados em seus canais oficiais.<sup>4</sup> O *Active Denial System* (ADS) é um projeto desenvolvido conjuntamente pela Força Aérea e pelo Corpo de Fuzileiros dos EUA para empregar ondas milimétricas no controle de multidões hostis. Além de poder ser desenvolvido a um custo relativamente mais baixo e, por essa razão, ser considerado não-letal, o efeito do feixe de energia direta passa assim que o dispositivo é desligado ou que o indivíduo sai da direção do feixe, sendo mínimo o risco de lesão grave. Em 2005, a Marinha dos EUA iniciou um projeto de canhão eletromagnético embarcado em navio com apoio da empresa britânica *BAE Systems*<sup>5</sup>.

Quanto às armas acústicas, até 120 decibéis, qualquer tipo de som pode causar desconfortos, inclusive, em potências mais baixas. Acima de 130 decibéis, as ondas sonoras se tornam intoleráveis e quanto maior for a potência, pior será o dano aos organismos vivos. Dependendo da frequência e da potência, as armas acústicas instaladas em plataformas podem causar diversos sintomas clínicos, a saber: cansaço, aquecimento da temperatura corporal, náuseas e vômitos, pressão no ouvido, dificuldades na visão e na audição, ressonâncias nos ossos e/ou até danos aos órgãos internos, podendo

<sup>4</sup> Os projetos mais conhecidos em *laser* são o *Laser Anti Minas HLONS* (mais conhecido como Zeus), o *Advanced Tactical Laser* (ATL), o *Ground Based Laser Weapon*, o *Area Defense Anti-Munitions*, o *Laser Weapon System* (LaWS), o *Maritime Laser Demonstrator*, o *Maritime Tactical Laser System*, o *High Energy Liquid Laser Area Defense System* (HELLADS) e o *Excalibur*.

<sup>5</sup> De acordo com informações do Escritório de Pesquisa Naval da Marinha dos EUA, a velocidade e o alcance do navio acabam transformando-o em multipropósito, à medida que os militares a bordo podem prestar apoio logístico com precisão superfície-superfície em ataques em terra, defesa naval e dissuasão.

provocar a morte. Esse tipo de arma é de emprego dual e pode ser usada na aplicação da lei, na segurança marítima, no controle de massa, antipirataria, contraterrorismo e na segurança pública. Os países que mais têm investido em armas sônicas e supersônicas são EUA, Rússia e China. Em 2019, o Instituto Técnico de Física e Química da Academia Chinesa de Ciências anunciou o desenvolvimento de protótipo de uma arma sônica portátil movida a gás para controle de multidões. Essa arma produz um som monótono de baixa frequência capaz de provocar severos desconfortos com vibrações nos tímpanos, globos oculares, estômago, fígado e cérebro (SPUTINK, 2019, p.1).

No Brasil, as organizações com competências e capacidades para atuar na PD&I em *lasers* são o Instituto de Física da Universidade de São Paulo e o Centro de Lasers e Aplicações do Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares (IPEN). Na área de micro-ondas de baixa potência, o Brasil tem organizações especializadas em Perturbação Eletromagnética (PE) e Interferência Eletromagnética (EMI). Define-se PE como um

fenômeno eletromagnético capaz de degradar o desempenho de um dispositivo, equipamento ou sistema, ou de afetar desfavoravelmente matéria viva ou inerte [...] Uma perturbação eletromagnética pode ser um ruído eletromagnético, um sinal não desejado ou uma modificação do próprio meio de propagação. (LIZ, 2003, p. 6)

A EMI é definida como a “degradação do desempenho de um equipamento, canal de transmissão ou sistema; causada por uma perturbação eletromagnética” (LIZ, 2003, p. 6). As organizações brasileiras com competências e capacidades para atuar em projetos de PD&I em PE e em EMI são: o Instituto Nacional de Comunicações; o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); o Centro de Estudos e Sistemas Avançados do Recife (Instituto Cesar); e o Centro Nacional de Pesquisas em Energia e Materiais (CNPEN). É possível que, com apoio governamental, organizações com competências e capacidades em PE e EMI

possam ser capazes de desenvolver micro-ondas de alta potência. Mas, se existirem projetos de PD&I em micro-ondas de potência em ICTMD, há empresas no Brasil capazes de apoiá-los, como a Embraer S.A., Omnisys Engenharia Ltda<sup>6</sup> e Atmos Sistemas Ltda<sup>7</sup>.

A Polícia Militar do Estado do Rio de Janeiro (PMERJ) realizou testes empregando novas armas não letais, incluindo, um protótipo de arma sônica no controle de multidões.

**Figura 1: Arma acústica HS-14**



Fonte: Ultra Electronics – Undersea Sensor Systems Inc. (USSI)

Conforme ilustrado na **figura 1**, o alto-falante auto-contido leve e portátil, fabricado a base de fibra de carbono reforçado, denominado HS-14, é vendido pela empresa estadunidense *HyperSpike*. Utiliza Software Otimizador de Áudio HS, pesa cerca de 16,8 kg, tem capacidade para atingir até 148 decibéis, é empregado para alcançar distâncias audíveis de até 1.500 metros e opera em ambientes com grande ruído de fundo. A *HyperSpike* é um *spin off* que nasceu da parceria entre as empresas *Wattre Corporation* e *Ultra Electronics – Undersea Sensor Systems Inc.* (USSI), especificamente voltada para a produção seriada de dispositivos acústicos. A empresa brasileira *Condor Tecnologias Não-Letais* adquiriu esse dispositivo sônico da *HyperSpike* e o cedeu para que a PMERJ realizasse testes em

<sup>6</sup> Subsidiária da empresa francesa *Thales* no Brasil.

<sup>7</sup> Em 30 de abril de 2020, a *Atmos Sistemas* foi adquirida pela empresa sueca de defesa e segurança *Saab AB*.

controle de multidões.<sup>8</sup> Além desse controle, dispositivos acústicos como o HS-14 são projetados em pequenas aeronaves e/ou veículos para proteção de perímetro, aplicação da Lei, insurgência prisional, controle de vida selvagem, contraterrorismo, antipirataria e proteção de fronteiras e portos.

### 3.4. Internet das coisas (IoT) e 6G

A “Internet das Coisas” (IoT) e as gerações tecnológicas para redes móveis e de banda larga pertencem à grande área das Telecomunicações.

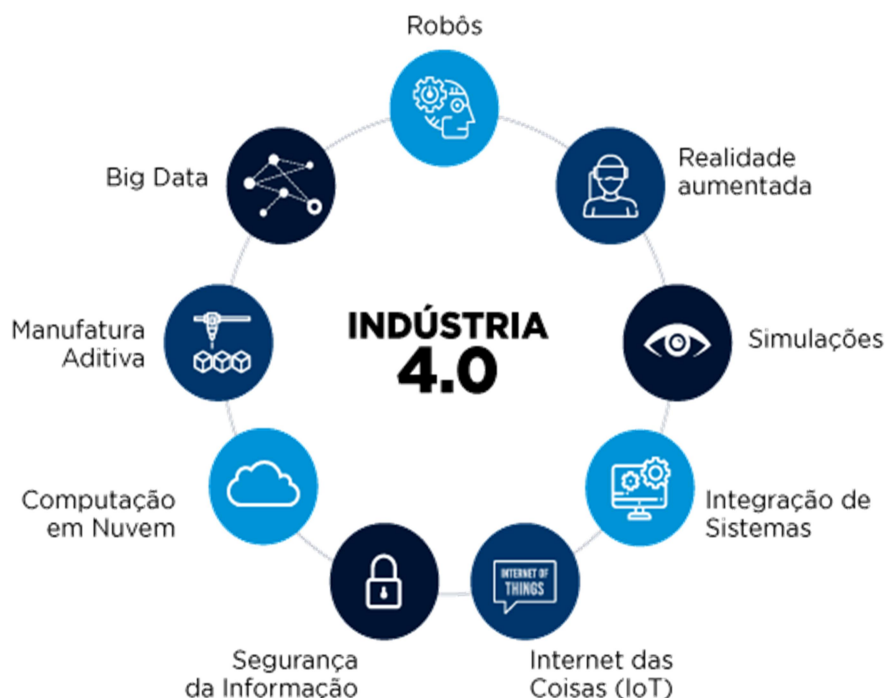
A expressão “Internet das Coisas” foi cunhada pelo tecnólogo Kevin Ashton em 1999, quando a usou para descrever como os dados capturados pelos humanos levariam a uma revolução, uma vez que os computadores começassem a gerar e a coletar dados sem qualquer intervenção humana. (SANTOS, p.15)

A IoT descreve um conjunto de tecnologias habilitadoras, com capacidade de computação distribuída, organizadas em redes

com a finalidade de conectar e compartilhar dados em tempo real com outros dispositivos e sistemas por meio da *Internet*. Alguns dos principais nichos tecnológicos especializados em IoT são SENAI CIMATEC Bahia, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), Instituto Eldorado, Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI), Centro de Estudos e Sistemas Avançados do Recife (CESAR), TECGRAF de Desenvolvimento de Software Técnico-Científico da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (TECGRAF/ PUC-Rio) e Instituto de Desenvolvimento Tecnológico de Manaus. Todos esses nichos tecnológicos citados são credenciados como Unidades EMBRAPII na área de tecnológica IoT/ Manufatura 4.0 e seus projetos de PD&I são desenvolvidos em parceria com empresas e contam com fluxo contínuo de recursos não reembolsáveis oriundos da EMBRAPII.<sup>9</sup>

No âmbito da indústria 4.0, as nove tecnologias habilitadoras são as apresentadas na figura 2.

**Figura 2: Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0**



Fonte: Tecnicon

<sup>8</sup>Informações coletadas junto à empresa brasileira Condor Tecnologias Não-Letais.

<sup>9</sup> Para conhecer mais sobre a EMBRAPII, acesse seu Manual Operacional: [https://embrapii.org.br/wp-content/images/2021/07/Manual\\_EMBRAPII\\_UE\\_vers\\_ao-6.0-de-20.10.20.pdf](https://embrapii.org.br/wp-content/images/2021/07/Manual_EMBRAPII_UE_vers_ao-6.0-de-20.10.20.pdf)



Essas tecnologias habilitadoras cada vez mais complexas demandam ainda mais conectividade massiva, segurança e latência ultrabaixa. Até 2018, a maior parte das redes móveis e de banda larga utilizava tecnologia de quarta geração (4G). A partir de 2019, as empresas de telefonia celular passaram a implantar redes móveis e de banda larga de quinta geração (5G), atuando em três principais cenários de comunicação: banda larga móvel aprimorada (eMBB), comunicações massivas de tipo de máquina (mMTC) e comunicações ultraconfiáveis e de baixa latência (uRLLC). As aplicações das redes 5G para Comunicações Aeronáuticas e Marítimas serão estudadas no médio prazo pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), conforme o Plano de Uso do Espectro de Radiofrequências do Brasil 2021-2028 (BRASIL, 2021, p.30). Nesse contexto, serão estudados de forma mais aprofundada e desenvolvidos os seguintes trabalhos:

- (a) Disposições regulamentares para apoiar a aviação para integrar com segurança veículos suborbitais no espaço aéreo e ser interoperável com a aviação civil internacional, e facilitar as radiocomunicações para estes veículos, por exemplo, comunicações de voz e dados, navegação, vigilância e telemetria, comando e controle (item 1.6 da agenda da CMR-23); (b) Estudos para possível nova atribuição ao Serviço Móvel Aeronáutico por Satélite (Rota) (AMSS(R)), na totalidade ou parte da faixa de frequências 117,975-137 MHz, evitando restrições indevidas nos sistemas existentes, inclusive nas faixas adjacentes (item 1.7 da agenda da CMR-23); (c) Estudos técnicos e regulatórios para acomodar o uso de redes de serviço fixo por satélite (FSS) em comunicações de controle de sistemas de aeronaves não tripuladas (item 1.8 da agenda da CMR-23); (d) Consideração de ações e atualizações regulatórias apropriadas, com o objetivo de acomodar tecnologias digitais para aplicações de “segurança da vida” (*safety-of-life*) na aviação comercial nas faixas de HF já atribuídas ao serviço móvel aeronáutico em rota (entre 2850 e 22000 kHz), garantindo a coexistência dos sistemas atuais com os sistemas modernizados (item 1.9 da agenda da CMR-23); (e) Estudos de necessidades de espectro, convivência com serviços de radiocomunicações e

medidas regulatórias para eventuais novas atribuições do serviço móvel aeronáutico para uso de aplicações móveis aeronáuticas “*non-safety*” (que não apresentam risco à vida e propriedade) (ar-ar, solo-ar e ar-solo), incluindo na faixa de frequências 15,4-15,7 GHz e 22-22,21 GHz, garantindo a proteção aos serviços passivos e de radioastronomia nas faixas adjacentes (item 1.10 da agenda da CMR-23). (BRASIL, 2021, p.30)

Determinadas aplicações comerciais do uso do 5G, embora entreguem largura de banda mais alta, muitas vezes, implicam em um consumo de energia muito maior do que redes de quarta geração. Além disso, as restrições do 5G em suportar dispositivos tecnológicos IoT que compartilham dados em tempo real, em maior velocidade, com densidade de tráfego e de conexão, com maior mobilidade e maior eficiência de espectro justificam a tendência, em países desenvolvidos e emergentes, de substituir o 5G por redes de sexta geração.

Para 6G, portanto, precisaremos de um novo paradigma de computação para suportar todos os benefícios da softwarização sem arcar com os custos de energia/consumo. Tecnologias de computação, como computação em nuvem, computação em névoa e computação de borda, são importantes para a resiliência da rede, computação e processamento distribuídos e menor latência e sincronização de tempo. Para resolver as limitações do 5G, incluindo a desvantagem do pacote curto, fornecimento de serviços de alta confiabilidade e baixa latência com altas taxas de dados, cobertura do sistema e Internet das Coisas (IoT), e para atender às demandas de comunicações móveis do ano de 2030 e além, a rede 6G deve tornar o foco humano, em vez de centrado na máquina, centrado no aplicativo ou centrado em dados, como a visão. (YOU et al, 2020, p.4)

Atualmente, a China é o país que mais lidera investimentos em tecnologias 6G. Apoiado sob um *cluster* industrial constituído por empresas, como *Huawei*, *ZTE*, *Xiaomi*, *China Telecom* e *Samsung*, em novembro de 2019, o governo chinês buscou recursos humanos altamente qualificados em telecomunicações, em universidades e em

instituições, para desenvolver o 6G e comprovar sua viabilidade científica. Um dos treze satélites a bordo do foguete chinês *Long March 6*, lançado ao espaço em novembro de 2020, foi o responsável por testar e comprovar a viabilidade científica do 6G. Hoje, redes sem fio alcançam no máximo 500 Mbps. Se não houver interferências, a faixa tera-hertz em que opera o 6G permite a transmissão de dados em tempo real a uma velocidade de 50 Gb/s. Indubitavelmente, a IA será a propulsão para a sexta geração de transmissão de dados e moldará as futuras comunicações.

De acordo com o Plano de Uso do Espectro de Radiofrequências do Brasil 2021-2028, os estudos preliminares realizados pela indústria e pela comunidade científica apontam características que podem fazer parte da arquitetura dos sistemas 6G, a saber: virtualização e desagregação; integração avançada entre redes de acesso e *backhaul*; e rede centrada no usuário. Destacam-se os seguintes setores como principais beneficiários de frequências acima de 90 GHz: Mobilidade Autônoma, Realidade Virtual e Aumentada, Indústria 4.0 e Saúde 4.0. Estudos mais aprofundados para a implementação do 6G no Brasil, segundo esse planejamento da ANATEL 2021-2028, somente ocorrerão a partir de 2025 (BRASIL, 2021, p.35).

O Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR), vinculado ao Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), tem sido um dos maiores protagonistas na investigação científica aplicada às áreas relacionadas com as radiocomunicações em redes de 5ª e 6ª geração. Além de pesquisa aplicada, o CRR atua na prestação de serviços técnicos especializados e no desenvolvimento de produtos inovadores, na qualificação de recursos humanos nas mais recentes tecnologias de radiocomunicações e na certificação de produtos e serviços relacionados com radiocomunicações. Entre os produtos entregues pelo CRR, encontram-se: links de rádio de longo alcance e alta capacidade para acesso à Internet; acesso de banda larga sem fio; e redes de 5ª geração e

links de comunicação via satélite para a realização de operações das Forças Armadas em níveis tático, estratégico e administrativo.<sup>10</sup> A INATEL lidera e coordena o projeto Brasil 6G, integrado à Rede Nacional de Pesquisa (RNP), e conta com a participação de diversas universidades brasileiras, como as universidades federais do Pará, Ceará, Goiás, Rio de Janeiro, Santa Catarina e a UNICAMP. Ademais de o CPqD também integrar o grupo de pesquisa do projeto Brasil 6G, universidades estrangeiras, como a de Oulu, na Finlândia, também são colaboradoras no projeto. Além do CRR, diversos outros pesquisadores do INATEL atuam no projeto em suas várias linhas de atuação, como as voltadas para o uso de IA e Sistemas de Comunicação, Inovações em RF e Comunicações Ópticas, Casos de Uso e Requisitos, Arquitetura, Segurança e Sustentabilidade de Rede e Comunicação.

Na atual conjuntura, as ICTMD participam na proposição de projetos de PD&I de diversas chamadas públicas com subvenção econômica em fundos setoriais com representação no MD do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT). Em maio de 2021, o MD assinou acordo de cooperação com a EMBRAPII<sup>11</sup> e, em maio de 2022, o MD renovou por mais 3 anos o acordo de cooperação com essa associação, para financiar projetos de PD&I das ICTMD em colaboração com empresas da BID, com recursos não reembolsáveis cedidos pelo BNDES.

Na **tabela 5**, é possível identificar as ICTMD que poderão se beneficiar de parcerias e produtos de nichos em inovações disruptivas no Brasil nas áreas tecnológicas citadas.

<sup>10</sup>Para conhecer melhor o CRR, acesse: <https://www.inatel.br/crr/>

<sup>11</sup>Para conhecer o Acordo de Cooperação Nº 001/SEPROD/2021-MD - Celebrado entre o Ministério da Defesa e a Associação Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII), acesse: [https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/lai/licitacoes\\_contratos/acordos-e-protocolos/acordos/acordo-e-plano-de-trabalho-embrapii.zip](https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/lai/licitacoes_contratos/acordos-e-protocolos/acordos/acordo-e-plano-de-trabalho-embrapii.zip)

**Tabela 5: Nichos em tecnologias e inovação disruptiva no Brasil de interesse das ICTMD**

ICTMD	Áreas Tecnológicas	Nichos Tecnológicos no Brasil	Produtos Inovadores
CCOMGEX, CDS, CDCIBER, IME, CIGE, Escola de Comunicações, 1º Batalhão de Guerra Eletrônica, Companhia de Comando e Controle, IPQM, CASNAV, CTMRJ, ITA, e IEAV.	Quântica	SENAI CIMATEC Bahia, Sociedade Brasileira de Física, Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica - INCT de Óptica Básica e Aplicada às Ciências da Vida e Instituto de Física Gleb Wataghin da Universidade Estadual de Campinas, Instituto Brazil Quantum.	Modelagem de problemas complexos, Simulação e Provas de conceito de problemas complexos, Prototipagem de problemas reais a partir de simulador quântico, Processamento ultrarrápido a partir de computador quântico, Chips a partir de várias tecnologias quânticas base: supercondutores, semicondutores, iônicos e fotônicos, Sensores de ultra precisão com base nas tecnologias quânticas base, Instrumentos de medida diversos, Hardware para equipamentos, Desenvolvimento de algoritmos, Equipamentos de comunicação, Computador quântico nacional, Equipamentos de criptografia, Relógios atômicos, elementos para diagnóstico, processamento de situações estratégicas, Simulações e modelagens de energia de moléculas e reações, Diagnósticos médicos, pesquisas e simulação em bactérias quânticas. <sup>12</sup>
CCOMGEX, CDS, CDCIBER, IME, CTEX, CITEC e seus 12 CTA, CIGE, Escola de Comunicações, 1º Batalhão de Guerra Eletrônica, Companhia de Comando e Controle, IPQM, CASNAV, CTMRJ, ITA, CLA, CLBI e IEAV.	Computação de Alto Desempenho	SENAI CIMATEC Bahia, SBF, Instituto Brazil Quantum, Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica - INCT de Óptica Básica e Aplicada às Ciências da Vida, IFGW/ UNICAMP, LNCC, Coppe/ UFRJ, Instituto de Computação/ UFF, CEMEAI/ USP São Carlos, Centro de Supercomputação da UFABC e Centro de Computação Eletrônica/ UFPR.	Processamento de Alto Desempenho, Processamento de Alto Volume e Múltiplos Dados, Simulações Matemáticas e Numéricas, Simulações em áreas de domínio e estratégicas, Desenvolvimento e segurança na nuvem, rede de clusters RDMA de alta latência de alto rendimento, ferramentas para automatização e execução de <i>jobs</i> em nuvem monitoramento, computadores de processamento, soluções de rede escaláveis e econômicas, processadores de múltiplos núcleos (multi-core), softwares IFE aerotransportáveis, software de centro de comando.
CCOMGEX, CDS, CDCIBER, IME, HCE, CTEX, CITEC e seus 12 CTA, DF e seus três arsenais de guerra, CIAVEX, CIGE Escola de Comunicações	Inteligência Artificial	Centro de Excelência em Inteligência Artificial da Universidade Federal de Goiás, SENAI CIMATEC Bahia, CPqD e o recém-criado Centro de Inteligência Artificial da Universidade de São Paulo, Instituto Brasileiro de Informação Ciência e Tecnologia (IBICT), Laboratório de Inteligência Artificial (LabIA) -	Redes neurais artificiais, Processamento de Linguagem Natural, Interfaces de visualização e interação humano computador, Visão Computacional, Detecção e Reconhecimento de Padrões, Suporte a decisão softwares de cibersegurança, softwares GPU, plataforma de automação inteligente com insights operacionais, sistemas de apoio à decisão, Sistemas de monitoramento, sistemas inteligentes de mitigação de fraudes, invasões, inteligência tática e operacional, Sistemas e veículos

<sup>12</sup> Alguns destes produtos inovadores nas áreas Quântica, Computação de Alto Desempenho e IA foram coletados em colaboração com o Doutor João Marcelo Silva Souza, pesquisador líder e coordenador do laboratório de *High Performance Computing* (HPC, sigla em inglês) e gestor das áreas de *Cloud*, Redes e Segurança do SENAI CIMATEC Bahia.



1º Batalhão de Guerra Eletrônica Companhia de Comando e Controle, IPQM, CASNAV, CTecCFN, CDSUB, CTMRJ, ITA, IEAV, IPEV, CCA SJ e CENSIPAM.		Coppe/UFRJ, Laboratório de Aplicações em Inteligência Artificial da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Laboratório de Ciência de Dados e Inteligência Artificial da Universidade de Fortaleza, Laboratório Robótica e Inteligência Artificial da Faculdade de Engenharia Elétrica/ UFU.	autônomos, <i>Robotic Process Automation</i> , API para reconhecimento biométrico facial, recombinação de proteínas e outras moléculas orgânicas, edição genética, monitoração em tempo real de sinais eletromagnéticos, previsão de série temporal em larga escala e detecção de anomalias em tempo real, detecção de fraudes, identificação rápida de ameaças, frameworks de código aberto, migração de dados e de banco de dados, modelos preditivos, rastreamento precoce, monitoramento e diagnóstico de doenças, sistemas e simuladores em Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Realidade Mista.
CDS, IME, CTEX, IPQM, EGN, CTecCFN, CTMRJ, ITA, CLA, CLBI e IEAV.	Energia Dirigida (laser, micro-ondas e acústica)	Laboratório do Acelerador Linear (LAL) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), Laboratório de Demonstrações Ernst Wolfgang Hamburger do IFUSP, Laboratório de Acústica e Vibrações da UFRJ (LAVI) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF) do Departamento de Metalurgia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Grupo de Fenômenos Ultrarrápidos e Comunicações Ópticas (GFURCO do IFGW/ UNICAMP, Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Centro de Lasers e Aplicações do Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares (IPEN), Instituto Nacional de Fotônica (INFO), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Comunicações Sem Fio (INCT-CSF), Divisão de Eletrônica Aeroespacial (DIDEA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Laboratório Nacional de Luz Sincrotron.	Sistemas antimísseis a laser, sistemas anti-drones, espoletas ativas de proximidade a laser, câmaras anecóicas, sistemas de detecção, destruição e alerta antecipado, sistema de laser anti-minas, lasers quânticos em cascata, armas de rádio-eletroguerra, catapultas eletromagnéticas, emissores eletromagnéticos móveis para desativar ogivas de mísseis e eletrônicos, canhões de micro-ondas de alta potência, armas eletromagnéticas táticas, minas terrestres, marítimas e espaciais eletromagnéticas e válvulas de ondas progressivas ( <i>TWT</i> , sigla em inglês), válvulas de micro-ondas de potência, dispositivos acústicos sônicos e supersônicos e amplificadores de ondas milimétricas.
CCOMGEX, CDS, CDCIBER, IME, CITEC e seus 12 CTA, CIAVEX, CIGE Escola de Comunicações 1º Batalhão de Guerra Eletrônica Companhia de Comando e Controle, IPQM, CASNAV, ITA,	Internet das Coisas e Redes 5G e 6G	SENAI CIMATEC Bahia, CPqD, Instituto Eldorado, Centro de Inovação Edge da Universidade Federal de Alagoas, CESAR, Instituto de Desenvolvimento Tecnológico de Manaus, CERTI, TECGRAF/ PUC-Rio e CRR/ INATEL, ONINN Centro de Inovações, Emitter Telecomunicações LTDA, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Comunicações	Sistema de comunicação e de transmissão sem fio 6G em tempo real, integração de sistemas de comunicação sem fio e tecnologias habilitadoras em terra e via satélite, sistema de gerenciamento de rádio e áudio distribuído e inteligente, instalação de torres, semicondutores, plataformas de infraestrutura de redes, gerenciamento automatizado de ameaças digitais, tráfego de banda alternado dinamicamente sem interferências, jogos em nuvem, videoconferências de alta resolução, realidade virtual totalmente imersiva,

ICEA, CCA SJ, CLA, CLBI e CENSIPAM.		Sem Fio (INCT-CSF)	interações de holograma completo, novas bandas e frequências em <i>terahertz</i> , materiais de Superfície Inteligente Reprogramável ( <i>RIS</i> , sigla em inglês), Estação Rádio Base móvel, SatCom, <i>Switches</i> IP/MPLS, <i>Switches</i> Compactos L2, <i>Switches</i> L2/L3, <i>Switches</i> L2 empilháveis, sistemas LTE de banda larga, sistemas de rádio bidirecional, dispositivo de comunicação instantânea PTT ( <i>Push-To-Talk</i> ), Caixão de Areia Tático Virtual, Receptores GNSS, redes <i>wireless/wired</i> , conversores de potência, baterias para Rádios, antenas de HF, rotores para antenas direcionais de grande porte, sistemas de posicionamento de azimute e elevação, sistemas de recepção de satélites meteorológicos, amplificadores de radiofrequência para HF, rastreadores pessoais, sistema de proteção, transferência e automação de geradores para a Embratel, centro de operações para vários satélites.
-------------------------------------	--	--------------------	---

Fonte: a autora.

Todas as ICTMD citadas podem se beneficiar de parcerias e produtos de nichos em inovações disruptivas no Brasil nessas áreas tecnológicas e de recursos não reembolsáveis para projetos de PD&I junto ao MCTI e demais parcerias capturadas pelo MD. O MD e as Forças Armadas podem fomentar, junto às universidades, aos polos e aos parques tecnológicos e às escolas de altos estudos militares, a criação de organizações de base tecnológica que atendem suas demandas em projetos de PD&I em áreas tecnológicas de interesse da Defesa.

#### 4. Conclusão

As Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação do Ministério da Defesa (ICTMD) atuam em um universo de áreas tecnológicas. No entanto, carecem de mais recursos humanos, materiais e financeiros para alavancar os seus processos. No âmbito de um modelo descentralizado, o Ministério da Defesa (MD) e as Forças Armadas podem apoiar esses projetos em parceria com outros ministérios, associações empresariais e organizações de base tecnológica brasileiras, como fundações e agências de fomento à pesquisa e à inovação. A parceria entre o MD e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) é fundamental, tanto no investimento em projetos das Forças Armadas com recursos

não reembolsáveis, quanto na elaboração de políticas públicas que incluam demandas da área de Defesa.

Das cinco áreas tecnológicas de interesse da Defesa exploradas neste estudo, as mais carentes de nichos tecnológicos são: a Energia Dirigida, a IoT e o 6G. Embora ainda não existam tantos nichos tecnológicos nessas áreas, no Brasil, há empresas capazes de atender às demandas de possíveis e oportunos projetos de PD&I de ICTMD.

Importante que o MD e as Forças Armadas, em suas escolas tecnológicas, como IME e ITA, criem empresas e *startups* especializadas em prestar serviços e desenvolver soluções inovadoras para resolver problemas da Defesa. Da mesma forma, é necessário fomentar, em universidades, polos e parques tecnológicos nacionais, a criação de organizações de base tecnológica, *spin off* e *startups* que também desenvolvam soluções inovadoras para os problemas da Defesa. Em especial, no caso do 6G, cuja tecnologia ainda não chegou ao Brasil, mas há estudos de viabilidade da ANATEL para implantá-la no País a partir de 2025, os estudos preliminares, nas universidades brasileiras, ainda se encontram na fase de pesquisa básica. Inclusive, os países que, atualmente, mais lideram investimentos, ainda não dominaram o conhecimento em redes de quinta e sexta gerações.

Nichos tecnológicos e empresas brasileiras que se voltarem para essas cinco áreas tecnológicas de interesse da Defesa terão um universo de possibilidades, oportunidades e desafios para enfrentar. No âmbito da inovação aberta, os nichos tecnológicos brasileiros podem cobrir lacunas em recursos humanos, materiais e tecnologias e contribuir para alavancar projetos de PD&I das ICTMD.

## Referências

- BRASIL. Concepção Estratégica: Ciência, Tecnologia e Inovação de Interesse da Defesa Nacional. Ministério da Defesa: Ministério da Ciência e Tecnologia: Brasília, 2003.
- BRASIL. Lei Nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2016/lei/113243.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/113243.htm) Acesso em: 5 maio 2022.
- BRASIL. Plano de Uso do Espectro de Radiofrequências para o período de 2021 a 2028. ANATEL. Fevereiro de 2021. Disponível em [https://www.telesintese.com.br/wp-content/uploads/2021/06/Plano\\_de\\_Uso\\_do\\_Espectro\\_Fev\\_2021.pdf](https://www.telesintese.com.br/wp-content/uploads/2021/06/Plano_de_Uso_do_Espectro_Fev_2021.pdf) Acesso em: 5 maio 2022.
- ALBINO, Anton. FORTES, Raphael. BLOOT, Rodrigo. **Programação na plataforma IBMQ e análise comparativa da performance de computadores quânticos**. Anais do I Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (CoBICET) - Evento online – 31 de agosto a 04 de setembro de 2020. Disponível em <https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/6170/Programa%20a7%20c3%20a3o%20na%20Plataforma%20IBMQ%20Q%20E%20An%20c3%20a1lise%20Comparativa%20da%20Performance%20de%20Computadores%20Qu%20a2nticos?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 5 maio 2022.
- China cria arma sônica portátil que funciona com gás inerte. Sputnik, 26 de setembro de 2019. Disponível em <https://br.sputniknews.com/20190926/china-cria-arma-sonica-portatil-que-funciona-com-gas-inerte-foto-14564003.html> Acesso em: 5 maio 2022.
- CORRÊA, Fernanda das Graças. **Prospecção Tecnológica em Defesa e o Futuro da Guerra**. Revista Análise Estratégica. V. 18 n. 4 (2020). Disponível em <http://ebrevistas.eb.mil.br/CEEExAE/article/view/7013/6052> Acesso em: 5 maio 2022.
- CORRÊA, Fernanda das Graças. **E-Bomb na Defesa Nuclear do Exército Brasileiro em Cenários de Guerra**. Revista da Escola Superior de Guerra, v. 34, n. 71, maio/agosto de 2019. Disponível em <https://revista.esg.br/index.php/revistadaesg/article/view/1086/890>
- LIZ, Muriel Bittencourt de. **Contribuição para a redução da interferência eletromagnética em fontes chaveadas**. 2003. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/85025/195653.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 5 maio 2022.
- SANTOS, Sandro. **Introdução à IoT: Desvendando a Internet das Coisas**. SS Trader Editor, 2018.
- YOU, Xiaohu et Al. *Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts*. *Science China - Information Sciences*. Vol. 64 Nº 110.301. January 2021. Disponível em <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11432-020-2955-6.pdf> Acesso em: 5 maio 2022.
- VIANA, Rodrigo Bahia de Cerqueira. **Gestão da Tecnologia e Inovação**. SENAC: São Paulo, 2019.