UFSM

InterAção

ISSN 2357-7975
ACESSO ABERTO

IA., Santa Maria, v. 17, n. 3, e99415, p. 1-21, 2026 • https://dx.doi.org/10.5902/2357797599415
Submissão: 18/10/2026 • Aprovação: 16/11/2026 • Publicação: 23/11/2026

Artigos Dossiê

Hub de tecnologias duais em Manaus: evidências de um ecossistema emergente

Dual-use technology hub in Manaus: evidence of an emerging ecosystem

Manoel Fernandes Amaral Filho[I]
Bruno Costa Marinho[II]
José Luiz de Souza Pio[I]

[I]Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil
[II]Instituto de Pesquisas do Exército na Amazônia, Manaus, AM, Brasil

Resumo

As tecnologias duais desempenham papel crescente na interface entre desenvolvimento econômico, inovação e defesa, exigindo ambientes capazes de promover a interação entre governo, academia, indústria e instituições de pesquisa. Este estudo analisa em que medida iniciativas institucionais observadas em Manaus podem ser interpretadas como evidências da formação de um hub de inovação em tecnologias duais na Amazônia. A pesquisa possui caráter exploratório e descritivo, com abordagem qualitativa baseada em revisão bibliográfica, análise documental e dados secundários. Os resultados indicam que a combinação entre Polo Industrial de Manaus, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, universidades, institutos de pesquisa, Empresas Estratégicas de Defesa, CONDEFESA Amazônia e IPEAM configura um ecossistema regional emergente. Conclui-se que, embora ainda não exista um hub plenamente consolidado, há elementos capazes de sustentar sua formação futura.

Palavras-chave: Tecnologias duais; Hub de inovação; Amazônia

Artigo publicado por InterAção sob uma licença CC BY-NC-SA 4.0.

Abstract

Dual-use technologies play an increasingly important role at the intersection of economic development, innovation, and defense, requiring environments capable of fostering interaction among government, academia, industry, and research institutions. This study analyzes the extent to which institutional initiatives observed in Manaus can be interpreted as evidence of the emergence of a dual-use technology innovation hub in the Amazon. The research is exploratory and descriptive in nature, adopting a qualitative approach based on a literature review, documentary analysis, and secondary data. The results indicate that the combination of the Manaus Industrial Pole, research and development investments, universities, research institutes, Strategic Defense Companies, CONDEFESA Amazônia, and IPEAM constitutes an emerging regional ecosystem. It is concluded that, although a fully consolidated hub does not yet exist, there are elements capable of supporting its future development.

Keywords: Dual-use technologies; Innovation hub; Amazon

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, diversas tecnologias inicialmente desenvolvidas para atender necessidades estratégicas e de defesa passaram a desempenhar papel fundamental na vida cotidiana da sociedade. A internet, os sistemas de posicionamento global (GPS), os sensores embarcados, os materiais avançados e diversas soluções de comunicação são exemplos de inovações que transcenderam seu propósito original e encontraram aplicações em múltiplos setores da economia (MAZZUCATO, 2015; MARINHO, 2022). Esse fenômeno, associado ao conceito de tecnologias de uso dual, pode ser entendido como a capacidade de uma mesma base tecnológica atender simultaneamente a aplicações civis e militares. Sob essa perspectiva, a dualidade tecnológica decorre menos da origem da inovação e mais de sua capacidade de aplicação nos setores civil e de defesa (MOLAS-GALLART, 1997).

Para explorar plenamente a dualidade das tecnologias, são necessários mecanismos que promovam a circulação de conhecimentos, competências e recursos entre organizações. Nesse contexto, destaca-se o modelo de inovação aberta, segundo o qual as fronteiras institucionais tornam-se mais permeáveis, permitindo que conhecimentos gerados em uma organização sejam incorporados por outras instituições e transformados em novos produtos, processos, serviços e mercados (CHESBROUGH, 2003).

Sob esse prisma, a inovação passa a ser encarada como um processo a ser obtido por intermédio da interação de diversos atores. Nesse sentido, emerge o conceito da Hélice Tríplice (ETZKOWITZ; LEYDESDORFF, 1998), que descreve o modelo de inovação baseado na relação governo-universidade-empresa, em que esses três atores atuam de forma sistêmica para promover o desenvolvimento, por intermédio da inovação e do empreendedorismo (ETZKOWITZ; ZHOU, 2017). Esse conceito evoluiu para a Hélice Quádrupla, que incorpora a participação da sociedade civil, incluindo aspectos relacionados à cultura, à mídia, aos valores sociais e às indústrias criativas (CARAYANNIS; CAMPBELL, 2009), e para a Hélice Quíntupla, que acrescenta a dimensão ambiental ao modelo, reconhecendo o papel dos ecossistemas naturais e da sustentabilidade nos processos de geração de conhecimento e inovação (CARAYANNIS; CAMPBELL, 2010).

Esse modelo de inovação baseado na interação entre diferentes atores também se aplica ao desenvolvimento de tecnologias para o setor de Defesa no contexto nacional (FERNANDES *et al.* 2020; MARINHO, 2022; MARINHO; PINHEIRO-MACHADO; GALDINO, 2025; MARTINEZ; PÉREZ, 2022) e internacional (MARTINEZ; PÉREZ, 2022; REIS *et al.* 2022; SIMÕES; MOREIRA; DIAS, 2020). Muitas dessas tecnologias apresentam potencial de uso dual, podendo atender simultaneamente demandas civis e estratégicas.

Nessa direção, o Exército Brasileiro criou a Agência de Gestão e Inovação Tecnológica (AGITEC), responsável por coordenar as atividades de gestão da inovação no âmbito da Força Terrestre (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2015) e o Sistema Defesa, Indústria e Academia de Inovação (SisDIA), com o objetivo de fortalecer a interação entre governo, academia e setor produtivo e potencializar o desenvolvimento de produtos e sistemas de defesa e de uso dual (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2016). Tais iniciativas refletem a adoção de uma abordagem baseada na inovação aberta e na atuação em rede, buscando ampliar a interação entre organizações militares, universidades, institutos de pesquisa e empresas.

A lógica de atuação em rede preconizada pelo SisDIA mostra-se particularmente relevante na Amazônia, região estratégica que reúne desafios

relacionados à soberania, à sustentabilidade e ao desenvolvimento (BECKER, 2005). Tais características favorecem a pesquisa, o desenvolvimento e a validação de tecnologias voltadas ao monitoramento territorial, à conectividade, à logística, à transição energética e à proteção de recursos naturais.

Situado na Amazônia brasileira, o Polo Industrial de Manaus (PIM) constitui um importante ambiente para ciência, tecnologia e inovação, reunindo empresas de base tecnológica, incentivos à pesquisa e uma rede de universidades e institutos de pesquisa capazes de apoiar o desenvolvimento de soluções para demandas econômicas e estratégicas da região.

Nesse contexto, observa-se, nos últimos anos, o surgimento de iniciativas voltadas ao fortalecimento das capacidades regionais de ciência, tecnologia e inovação na Amazônia, em especial na cidade de Manaus. Movimentos relacionados à ampliação da interação entre governo, academia, setor produtivo e organizações de pesquisa sugerem a emergência de novas formas de coordenação institucional na região, criando condições para o desenvolvimento de tecnologias com potencial de aplicação dual.

Apesar desse avanço recente de iniciativas institucionais voltadas à ciência, tecnologia e inovação em Manaus, ainda não está claro se esses movimentos representam ações isoladas ou se evidenciam a emergência de um ecossistema regional voltado ao desenvolvimento de tecnologias duais. Diante dessa lacuna, o presente estudo tem como objetivo analisar em que medida tais iniciativas podem ser interpretadas como evidências da formação de um hub de inovação em tecnologias duais na Amazônia, tomando Manaus como estudo de caso. Para isso, são examinadas as bases industrial, acadêmica e institucional da região, bem como os mecanismos emergentes de interação entre governo, academia, setor produtivo e organizações militares. Adota-se uma abordagem exploratória e descritiva, fundamentada em revisão bibliográfica, análise documental e utilização de dados secundários.

A seguir será apresentada uma breve revisão da literatura. A Seção II delimita o problema de pesquisa e a questão central do estudo. A Seção III descreve os procedimentos metodológicos adotados. Na Seção IV são apresentados e discutidos os resultados obtidos, enquanto a Seção V reúne as conclusões da pesquisa e indica possibilidades para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Arranjos Institucionais e Territoriais de Inovação

A literatura sobre inovação apresenta diversos arranjos voltados à geração e difusão do conhecimento, como sistemas de inovação, clusters, polos tecnológicos, parques tecnológicos, distritos de inovação, ecossistemas e hubs de inovação. Embora relacionados, esses conceitos diferem quanto à estrutura, governança e interação entre os atores.

Sistema Nacional de Inovação é o conjunto de instituições públicas e privadas que, por meio de suas atividades e interações, promovem a geração, difusão e uso de conhecimentos e tecnologias em um país. Seu desempenho depende da articulação entre empresas, universidades, centros de pesquisa, governo, políticas públicas e sistema educacional (FREEMAN, 1995). Sob essa perspectiva, a inovação é entendida como resultado de processos interativos de aprendizagem e troca de conhecimentos entre diferentes atores (LUNDVALL, 1985).

Estudos comparativos indicam que não há modelo único de Sistema Nacional de Inovação, pois as capacidades tecnológicas de cada país dependem de arranjos institucionais próprios, moldados por suas condições econômicas, científicas, tecnológicas e organizacionais (NELSON, 1993).

A partir da constatação de que a inovação depende da interação entre múltiplos atores e instituições, o conceito de Sistema Nacional de Inovação foi posteriormente desdobrado para outras escalas de análise. Nesse contexto, surgiram abordagens

voltadas à compreensão das dinâmicas inovativas em territórios específicos e em determinados segmentos econômicos, destacando-se os Sistemas Regionais de Inovação (COOKE; URANGA; ETXEBARRIA, 1997) e os Sistemas Setoriais de Inovação (MALERBA, 2002).

Enquanto os Sistemas de Inovação procuram explicar os processos inovativos em escalas nacionais, regionais ou setoriais, outras abordagens passaram a enfatizar a importância da concentração geográfica de empresas e instituições para a promoção da competitividade e da inovação. Nesse contexto, destaca-se o conceito de cluster, que pode ser definido como uma concentração geográfica de empresas e instituições interconectadas que atuam em determinado setor ou campo de atividade. Além das empresas, os clusters incluem fornecedores, prestadores de serviços, clientes, universidades, centros de pesquisa, associações e órgãos governamentais, cuja interação contribui para o aumento da competitividade, da capacidade inovativa e do desenvolvimento econômico regional (PORTER, 1998).

Embora os clusters enfatizem a concentração geográfica e a especialização produtiva, outras abordagens passaram a atribuir maior relevância ao papel das universidades, centros de pesquisa e atividades de desenvolvimento tecnológico.

Nesse contexto, surgem os polos tecnológicos, caracterizados pela articulação entre pesquisa, inovação e desenvolvimento regional e podem ser compreendidos como espaços planejados destinados à promoção de atividades intensivas em ciência, tecnologia e inovação, reunindo empresas, universidades, institutos de pesquisa e organizações governamentais em um mesmo território. Seu objetivo é favorecer a geração de conhecimento, estimular processos de inovação e impulsionar o desenvolvimento econômico e regional por meio de atividades tecnológicas avançadas (CASTELLS; HALL, 1994).

Já os parques tecnológicos são ambientes planejados e dotados de gestão especializada, destinados a promover a interação entre universidades, centros de pesquisa, empresas e governo, com o objetivo de estimular a inovação,

a transferência de tecnologia e o desenvolvimento econômico baseado no conhecimento (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF SCIENCE PARKS AND AREAS OF INNOVATION, 2026).

Embora semelhantes, os polos tecnológicos constituem arranjos territoriais mais amplos, enquanto os parques tecnológicos correspondem a estruturas físicas delimitadas, dotadas de gestão especializada e infraestrutura voltada à inovação.

Os distritos de inovação são áreas urbanas que concentram empresas, universidades, centros de pesquisa e startups, favorecendo a interação entre atores, a circulação de conhecimento e a geração de inovações. Diferentemente dos parques tecnológicos tradicionais, caracterizam-se pela elevada conectividade, diversidade de atores e integração com o tecido urbano (KATZ; WAGNER, 2014).

São identificados três modelos gerais de distritos de inovação: modelo "âncora ampliada", estruturado em torno de grandes instituições âncora, como universidades, hospitais de pesquisa, centros tecnológicos ou grandes empresas, que atraem startups, empresas derivadas, incubadoras e empreendedores; o modelo de "áreas urbanas reimaginadas", caracterizado pela transformação de antigas áreas industriais, portuárias ou de armazéns em ambientes urbanos voltados à inovação; e o modelo de "parque científico urbanizado", no qual parques científicos ou tecnológicos tradicionalmente isolados passam por processos de adensamento, diversificação de usos, melhoria da conectividade e integração com a dinâmica urbana (KATZ; WAGNER, 2014).

Os ecossistemas de inovação podem ser compreendidos como redes de organizações interconectadas, organizadas em torno de uma firma focal ou de uma plataforma, que reúnem atores do lado da produção e do uso para desenvolver novo valor por meio da inovação. Nessa perspectiva, fornecedores, complementadores, usuários, clientes, instituições de pesquisa e agentes reguladores combinam competências, recursos e tecnologias, permitindo a criação de soluções que dificilmente seriam desenvolvidas por uma organização isoladamente (AUTIO; THOMAS, 2014).

Por fim, os hubs de inovação podem ser compreendidos como espaços ou plataformas em rede que conectam diferentes atores, conhecimentos e competências para promover colaboração, cocriação, aprendizagem interativa, transferência de conhecimento, desenvolvimento de soluções inovadoras e apoio à transformação de ideias em produtos, serviços ou empreendimentos (MWANTIMWA *et al.*, 2020).

Esses arranjos de inovação oferecem a base institucional e territorial para o desenvolvimento de tecnologias duais, tema abordado na subseção seguinte.

2.2 Tecnologias duais

Conforme apresentado de forma sintética na Introdução, as tecnologias duais caracterizam-se pela potencial aplicação em contextos civis e militares. Essa dualidade não se restringe a produtos ou equipamentos específicos, abrangendo também conhecimentos, competências, processos produtivos, métodos organizacionais e capacidades tecnológicas que podem ser empregados em diferentes domínios de aplicação (MOLAS-GALLART, 1997).

Diversas tecnologias originalmente desenvolvidas para atender necessidades militares acabaram encontrando aplicações em diferentes setores da economia. Entre os exemplos mais conhecidos estão as telas sensíveis ao toque; a internet e os protocolos HTTP/HTML; o sistema de posicionamento global (GPS); e o assistente virtual Siri, todos incorporados aos smartphones contemporâneos (MAZZUCATO, 2015). Outros exemplos incluem o sonar, o radar, além de diversos inseticidas, medicamentos e agentes antibacterianos que tiveram origem ou receberam contribuições significativas de pesquisas voltadas ao setor de Defesa (BRUSTOLIN, 2014).

Até mesmo os fornos de micro-ondas tiveram sua origem associada, de forma incidental, às pesquisas conduzidas durante a Segunda Guerra Mundial para o desenvolvimento de radares destinados à detecção de submarinos alemães (KENNEDY, 2014).

No Brasil, as atividades de pesquisa e desenvolvimento realizadas no setor espacial também geraram importantes transbordamentos tecnológicos para outros

segmentos da economia, como a resina líquida reativa de polibutadieno, utilizada em combustíveis e rações animais, os tubos de alumínio sem costura e o aço 300M, empregado na fabricação de trens de pouso de aeronaves comerciais (MARINHO; CORRÊA; ALVES, 2017).

Apesar do elevado potencial das tecnologias duais, seu transbordamento para aplicações civis não ocorre de forma automática. Barreiras institucionais, organizacionais e culturais podem dificultar a transferência tecnológica, enquanto fatores como baixa interação com o setor produtivo, insuficiência de incentivos à inovação e limitações relacionadas à propriedade intelectual e ao licenciamento reduzem o aproveitamento das tecnologias desenvolvidas em instituições militares (MARINHO, 2025).

3 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A Amazônia brasileira ocupa posição estratégica para o desenvolvimento nacional em razão de sua relevância ambiental, econômica, científica e geopolítica. Ao mesmo tempo, a região apresenta desafios singulares relacionados à conectividade, ao monitoramento territorial, à logística, à proteção ambiental, à segurança de infraestruturas críticas e ao desenvolvimento sustentável. Tais desafios demandam soluções tecnológicas capazes de atender simultaneamente a aplicações civis e estratégicas, inserindo-se no contexto das chamadas tecnologias duais.

Nos últimos anos, observa-se em Manaus a ocorrência de diversos movimentos institucionais voltados ao fortalecimento das capacidades regionais de ciência, tecnologia e inovação. Entre eles destacam-se a criação do Conselho da Indústria de Defesa da Amazônia (CONDEFESA AMAZÔNIA), a ampliação do número de Empresas Estratégicas de Defesa sediadas na região, a implantação do Instituto de Pesquisas do Exército na Amazônia (IPEAM) e a celebração de instrumentos de parceria envolvendo organizações militares, universidades e centros de pesquisa.

Apesar de seus diferentes objetivos e estruturas de governança, essas iniciativas indicam crescente integração entre governo, academia, indústria e instituições de

pesquisa. Contudo, ainda não está claro se representam ações isoladas ou a emergência de um ecossistema regional de tecnologias duais.

Diante desse contexto, o presente estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: em que medida as iniciativas institucionais observadas recentemente em Manaus constituem evidências suficientes para caracterizar a emergência de um hub de inovação voltado ao desenvolvimento de tecnologias duais na Amazônia?

4 METODOLOGIA

O estudo possui natureza exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa baseada em revisão bibliográfica, análise documental e dados secundários. Foram examinados trabalhos sobre ecossistemas de inovação, tecnologias duais, inovação em defesa e desenvolvimento regional e, para a análise empírica de Manaus, normas, documentos institucionais, relatórios, notícias oficiais e informações de órgãos governamentais, instituições de pesquisa e entidades de fomento. Os dados secundários concentram-se principalmente no período de 2023 a 2026, correspondente às iniciativas recentes analisadas. O procedimento consistiu na leitura e comparação das fontes, identificação das evidências por dimensão analítica e análise integrada entre literatura e documentação institucional.

Os oito critérios do Quadro I foram operacionalizados a partir de dimensões recorrentes na literatura revisada: base industrial e territorial (COOKE; URANGA; ETXEBARRIA, 1997; PORTER, 1998; CASTELLS; HALL, 1994); mecanismos de financiamento e interação empresa–ICT (CHESBROUGH, 2003; COOKE; URANGA; ETXEBARRIA, 1997); instituições de pesquisa e ensino (COOKE; URANGA; ETXEBARRIA, 1997; ETZKOWITZ; LEYDESDORFF, 1998; ETZKOWITZ; ZHOU, 2017; INTERNATIONAL ASSOCIATION OF SCIENCE PARKS AND AREAS OF INNOVATION, 2026); empresas de defesa e integração setorial (FERNANDES *et al.* 2020; MARINHO, 2022; MARINHO; PINHEIRO-MACHADO; GALDINO, 2025; MARTINEZ; PÉREZ, 2022; REIS *et al.* 2022; SIMÕES; MOREIRA; DIAS, 2020); instituição de P&D como âncora (ETZKOWITZ; LEYDESDORFF, 1998; KATZ; WAGNER,

2014); instâncias de articulação (AUTIO; THOMAS, 2014; ETZKOWITZ; LEYDESDORFF, 1998; ETZKOWITZ; ZHOU, 2017); instrumentos formais de parceria (AUTIO; THOMAS, 2014; CHESBROUGH, 2003; MWANTIMWA *et al*., 2020); e governança compartilhada (AUTIO; THOMAS, 2014; COOKE; URANGA; ETXEBARRIA, 1997; MWANTIMWA *et al*., 2020). Para a síntese, atribuiu-se grau alto quando havia evidência documental de estrutura ou mecanismo formal em operação; médio quando a evidência era parcial, recente ou ainda em consolidação; e baixo quando o mecanismo permanecia incipiente ou em construção.

Como procedimento auxiliar, utilizou-se a ferramenta de inteligência artificial generativa ChatGPT para revisão linguística, organização textual e padronização de referências. A seleção das fontes, a interpretação dos dados, a argumentação e as conclusões permaneceram sob responsabilidade exclusiva dos autores.

5 RESULTADOS

5.1 Base Industrial — Polo Industrial de Manaus (PIM) e investimentos em PD&I

O PIM constitui o principal ativo produtivo da Amazônia Ocidental e a principal âncora industrial do ecossistema regional de inovação. Criado em 1967 e administrado pela SUFRAMA, opera sob regime de incentivos fiscais e reúne mais de 600 empresas, com faturamento de R$ 161,02 bilhões de janeiro a novembro de 2023 e mais de 110 mil empregos diretos e indiretos (SUFRAMA, 2023; 2024). Os bens de informática e eletroeletrônicos lideraram o faturamento do PIM, enquanto os investimentos produtivos cresceram 15% entre 2022 e 2023, indicando a continuidade da expansão industrial (SUFRAMA, 2023).

O principal mecanismo de indução à inovação no PIM é a Lei nº 8.387/1991, que obriga as empresas de TIC da Amazônia Ocidental e do Amapá a investirem anualmente pelo menos 5% de seu faturamento bruto em atividades de PD&I (BRASIL, 1991). Em 2023, esses investimentos totalizaram R$ 1,59 bilhão, dos quais 71,84%

foram destinados a projetos executados em parceria com ICTs, 10,92% a projetos internos das empresas e 17,24% a programas prioritários, fundos de investimento e ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) (SUFRAMA, 2025). A distribuição dos recursos permanece concentrada em Manaus (57%), embora haja movimento de descentralização para outros municípios da Amazônia Ocidental. A elevada participação das ICTs como parceiras executoras (71,84%) evidencia um mecanismo institucional de inovação aberta (CHESBROUGH, 2003) estruturalmente embarcado no modelo regulatório do PIM, criando fluxos regulares e mensuráveis de transferência de conhecimento entre o setor produtivo e a academia regional.

O Comitê das Atividades de Pesquisa e Desenvolvimento da Amazônia (CAPDA) exerce a governança setorial dos recursos de PD&I, operando como coordenador-ponte entre as empresas do PIM e as ICTs públicas e privadas nos Programas Prioritários da Lei nº 8.387/1991 (RAMOS; SILVA, 2024). Essa estrutura de governança especializada é consistente com o padrão de Sistemas Regionais de Inovação (COOKE; URANGA; ETXEBARRIA, 1997) e com os mecanismos de coordenação identificados em indústrias de defesa com alta integração universidade-empresa (SIMÕES; MOREIRA; DIAS, 2020).

Esses resultados evidenciam que o PIM não constitui apenas uma base manufatureira, mas também um mecanismo estruturado de indução à inovação e de interação entre empresas e ICTs, elemento relevante para a formação de um ecossistema regional de tecnologias duais.

5.2 Base acadêmica

Manaus abriga uma ampla base de instituições de ensino superior, públicas e privadas, além de institutos de pesquisa e organizações dedicadas à ciência, tecnologia e inovação. Esse conjunto inclui universidades, centros universitários, faculdades, institutos federais e organizações de pesquisa de relevância nacional, formando uma base diversificada de formação de recursos humanos, produção científica e desenvolvimento tecnológico. Destacam-se, entre as instituições públicas,

a Universidade Federal do Amazonas (UFAM), a Universidade do Estado do Amazonas (UEA), o Instituto Federal do Amazonas (IFAM), o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e a Fundação Oswaldo Cruz Amazônia (Fiocruz Amazônia).

Complementando essa base científica e tecnológica, foi criado, em 2024, o Instituto de Pesquisas do Exército na Amazônia (IPEAM), com a missão de executar atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação de interesse do Exército Brasileiro e da Amazônia (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2024). Vinculado ao Instituto Militar de Engenharia (IME), o IPEAM busca desenvolver soluções tecnológicas voltadas aos desafios regionais, atuando em áreas como inteligência artificial, transição energética, tecnologias quânticas e biotecnologias. Sua atuação está orientada para a geração de conhecimentos e tecnologias capazes de contribuir simultaneamente para a Defesa Nacional e para o desenvolvimento sustentável da Amazônia. Por sua natureza, o Instituto atua como elemento articulador entre o Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército, as universidades amazônicas e o setor produtivo regional.

Nesse contexto, o IPEAM amplia a capacidade regional de articulação entre instituições militares, universidades, centros de pesquisa e setor produtivo, fortalecendo o ecossistema de inovação voltado a tecnologias de uso dual.

Em conjunto, essas organizações fornecem competências científicas e tecnológicas em áreas estratégicas como engenharia, computação, biotecnologia, energia, saúde, meio ambiente e monitoramento territorial, constituindo importante ativo para a formação de recursos humanos e para o desenvolvimento de tecnologias duais na região.

5.3 Base institucional de defesa: SisDIA, CONDEFESA e EEDs

O Sistema Defesa, Indústria e Academia de Inovação (SisDIA) foi concebido para articular governo, universidades e empresas no desenvolvimento de tecnologias de interesse da Defesa (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2016). Em Manaus, a presença de organizações militares, universidades e um parque industrial de base tecnológica cria

condições favoráveis à atuação em rede proposta pelo Sistema e determinante para o sucesso dos modelos de inovação aplicada no setor de defesa (MARINHO, 2022; FERNANDES *et al.*, 2020).

A literatura destaca que a integração institucional é condição necessária, embora não suficiente, para que ecossistemas de defesa em economias emergentes gerem transbordamentos tecnológicos sustentáveis (BLANCO; LOZADA; ARIAS, 2024).

Em consonância com a lógica do SisDIA, o CONDEFESA Amazônia foi ativado em 2024, reunindo representantes das Forças Armadas, universidades e setor produtivo. Sua atuação concentra-se em áreas como inteligência artificial, segurança cibernética, sistemas autônomos, energia e indústria naval, alinhadas a domínios tecnológicos de elevado potencial dual (Molas-Gallart, 1997) e a tecnologias consideradas estratégicas para a segurança e defesa nacionais.

O indicador mais expressivo do dinamismo institucional associado à combinação SisDIA–CONDEFESA é a expansão do número de Empresas Estratégicas de Defesa (EED) sediadas na Amazônia. Segundo apresentação institucional do CONDEFESA Amazônia (2026), a base regional de EED passou de 3 empresas credenciadas até 2023 para 9 em 2026, representando um crescimento de 200% em curto período. O mesmo documento informa que 14 empresas localizadas em Manaus se encontravam em processo de credenciamento junto ao Ministério da Defesa. Caso todas venham a obter o credenciamento, o número de EED na região poderá alcançar 23 organizações; nesse cenário potencial, o crescimento acumulado seria de aproximadamente 667% em relação ao quantitativo existente até 2023. Trata-se, portanto, de uma projeção condicionada à conclusão dos credenciamentos em tramitação, e não de crescimento já realizado.

A presença crescente de empresas formalmente inseridas na BID nacional é condicionante para que as demandas das Forças Armadas se traduzam em encomendas tecnológicas com potencial de transbordamento para o mercado civil, reforçando a hipótese de emergência de um ecossistema regional de inovação orientado a tecnologias duais.

5.4 Estruturas emergentes de integração e o papel do IPEAM

Instrumentos formais de parceria entre organizações militares e instituições acadêmicas evidenciam a consolidação de canais estáveis de colaboração, elemento indispensável para ecossistemas de inovação (AUTIO; THOMAS, 2014).

Nesse sentido, no processo de criação do IPEAM, diversos instrumentos de parceria foram firmados entre instituições do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército e instituições de Manaus, visando atividades científicas e tecnológicas e/ou de formação de recursos humanos: Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército (DCT) e UFAM; IME e UEA; IME e Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM); e IME e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) (INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, 2026). Além desses, é importante ressaltar que já existem instrumentos de parceria firmados entre o Comando Militar da Amazônia (CMA) e a UFAM (UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS, 2025), entre CMA e Fiocruz (FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ, 2024) e entre CMA e IFAM (COMANDO MILITAR DA AMAZÔNIA, 2024).

O ponto culminante do processo de integração da capacidade regional de PD&I em defesa é a implantação do IPEAM. O Instituto representa a materialização da presença do Exército Brasileiro como ator de pesquisa aplicada na região amazônica, com missão voltada ao desenvolvimento de soluções tecnológicas adaptadas às especificidades do ambiente local. Por sua natureza, o IPEAM opera na interface entre pesquisa aplicada, desenvolvimento e transferência de tecnologia, articulando-se com universidades, empresas e organizações militares já presentes no ecossistema regional.

A combinação do IPEAM com as parcerias formais existentes e em formação, o CONDEFESA Amazônia, a base produtiva do PIM e toda a capacidade científica e tecnológica já instalada em Manaus configura uma arquitetura institucional densa e multidimensional que ultrapassa o limiar de iniciativas isoladas e passa a exibir características estruturais de um ecossistema regional de inovação em tecnologias duais em processo de consolidação.

O Quadro 1 consolida essas evidências e apresenta uma avaliação sintética do grau de aderência do ecossistema regional aos principais critérios de um hub de inovação em tecnologias duais.

Quadro 1 – Grau de aderência do ecossistema de Manaus aos critérios de Hub de Inovação em Tecnologias Duais

Critério	Evidência em Manaus	Grau
Base industrial densa	PIM: 600+ empresas, R$ 161,02 bi (jan.–nov./2023)	Alto
Mecanismo de financiamento PD&I	Lei 8.387/91: R$ 1,59 bi (2023), 71,8% com ICTs	Alto
Instituições de pesquisa e ensino	Ampla base de instituições de ensino superior e instituições dedicadas à ciência, tecnologia e inovação	Médio
Empresas Estratégicas de Defesa (EEDs)	3 → 9 credenciadas; 14 em processo (cenário potencial: 23; +667%)	Alto
Inst. militar de P&D (âncora)	IPEAM (implantado)	Alto
Conselho setor industrial-defesa	CONDEFESA Amazônia (ativo)	Alto
Instrumentos formais de parceria	DCT-UFAM; IME-UEA; IME-CENSIPAM; IME-FAPEAM; CMA-UFAM; CMA-FIOCRUZ; e CMA-IFAM	Médio
Governança compartilhada	Em construção	Baixo

Fonte: Autores (2026)

Os resultados indicam que Manaus já reúne a maior parte dos elementos normalmente associados à formação de hubs de inovação, incluindo base industrial intensiva em tecnologia, instituições de pesquisa, mecanismos de financiamento à inovação, empresas de defesa e estruturas de articulação institucional. Embora a governança compartilhada ainda esteja em consolidação, as evidências sugerem que o ecossistema regional ultrapassou a condição de iniciativas isoladas e passou a apresentar características compatíveis com um hub de inovação em tecnologias duais em construção.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados indicam que Manaus reúne um conjunto expressivo de ativos industriais, acadêmicos e institucionais que sustentam a emergência de um ecossistema regional voltado ao desenvolvimento de tecnologias duais. A expansão recente das Empresas Estratégicas de Defesa, a ativação do CONDEFESA Amazônia, a implantação do IPEAM e o volume significativo de investimentos em PD&I no âmbito do PIM configuram um ambiente favorável à inovação aberta e à interação entre governo, academia e setor produtivo. Embora esses movimentos revelem um processo consistente de articulação institucional, a governança compartilhada ainda se encontra em fase de consolidação, o que sugere que o ecossistema pode ser caracterizado como emergente, mas ainda não plenamente estruturado.

Sob essa perspectiva, Manaus apresenta condições para consolidar-se como um dos principais ambientes nacionais de desenvolvimento de tecnologias duais voltadas aos desafios da Amazônia e da Defesa Nacional.

O estudo contribui ao sistematizar evidências dispersas e propor uma leitura integrada da dinâmica regional de inovação dual, ao mesmo tempo em que aponta a necessidade de investigações futuras sobre mecanismos de governança, métricas de desempenho tecnológico e impactos socioeconômicos das iniciativas analisadas.

REFERÊNCIAS

AUTIO, E.; THOMAS, L. D. W. “Innovation ecosystems: implications for innovation management”. In: DODGSON, M.; GANN, D. M.; PHILLIPS, N. (eds.). **The Oxford Handbook of Innovation Management**. Oxford: Oxford University Press, 2014. p. 204–228.

BECKER, B. K. “Geopolítica da Amazônia”. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71–86, jan./abr. 2005.

BLANCO, C.; LOZADA, N. E.; ARIAS, J. E. “Innovation management in the defense sector: A systematic literature review focusing on developing countries”. **Journal of Infrastructure, Policy and Development**, v. 8, n. 11, art. 6065, out. 2024. DOI: 10.24294/jipd.v8i11.6065.

BRASIL. **Lei nº 8.387, de 30 de dezembro de 1991**. Dispõe sobre os benefícios fiscais na Zona Franca de Manaus e a obrigação de investimento em PD&I. Brasília: Congresso Nacional, 1991. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8387.htm. Acesso em: 3 jun. 2026.

BRUSTOLIN, V. M. **Inovação e desenvolvimento via defesa nacional nos EUA e no Brasil**. Tese de Doutorado, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. J. "'Mode 3' and 'Quadruple Helix': toward a 21st century fractal innovation ecosystem". **International Journal of Technology Management**, v. 46, n. 3, p. 201–234, 2009.

CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. J. "Triple helix, quadruple helix and quintuple helix and how do knowledge, innovation and the environment relate to each other? A proposed framework for a trans-disciplinary analysis of sustainable development and social ecology". **International Journal of Social Ecology and Sustainable Development**, v. 1, n. 1, p. 41–69, 2010.

CASTELLS, M.; HALL, P. **Technopoles of the World: The Making of 21st Century Industrial Complexes**. London: Routledge, 1994.

CHESBROUGH, H. W. Open Innovation: **The New Imperative for Creating and Profiting from Technology**. Boston: Harvard Business School Press, 2003.

COMANDO MILITAR DA AMAZÔNIA. **CMA e IFAM assinam Protocolo de Intenções para fortalecer a cooperação em educação e desenvolvimento regional. 2024**. Disponível em: https://x.com/cma_exercito/status/1781054966951473183. Acesso em: 7 jun. 2026.

CONSELHO DA INDÚSTRIA DE DEFESA DA AMAZÔNIA (CONDEFESA Amazônia). **Apresentação Oficial CONDEFESA — 17 Abr. 2026**. Manaus: FIEAM/CIEAM, 2026. [Apresentação institucional].

COOKE, P.; URANGA, M. G.; ETXEBARRIA, G. "Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions". **Research Policy**, v. 26, n. 4–5, p. 475–491, 1997.

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. "The endless transition: a 'Triple Helix' of university-industry-government relations". **Minerva**, v. 36, n. 3, p. 203–208, 1998.

ETZKOWITZ, H.; ZHOU, C. "Hélice tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo". **Estudos Avançados**, v. 31, n. 90, p. 23–48, 2017.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Portaria nº 548-Cmt Ex**: Cria a Agência de Gestão e Inovação Tecnológica (AGITEC) e dá outras providências. 2015. Disponível em: https://www.sgex.eb.mil.br/sistemas/boletim_do_exercito/boletim_be.php. Acesso em: 31 maio 2026.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Portaria nº 1.701-Cmt Ex, de 21 de dezembro de 2016**: Cria o Sistema Defesa, Indústria e Academia de Inovação (SisDIA de Inovação) e aprova sua diretriz de implantação. 2016. Disponível em: https://www.sgex.eb.mil.br/sg8/006_outras_publicacoes/01_diretrizes/01_comando_do_exercito/port_n_1701_cmdo_eb_21dez2016.html. Acesso em: 31 maio 2026.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Portaria nº 2.350-Cmt Ex**: Cria o Instituto de Pesquisas do Exército na Amazônia (IPEAM) e dá outras providências. 2024. Disponível em: https://www.sgex.eb.mil.br/sg8/006_outras_publicacoes/07_publicacoes_diversas/01_comando_do_exercito/port_n_2350_cmdo_eb_24out2024.html. Acesso em: 7 jun. 2026.

FERNANDES, L. L.; ROSA, G. R.; ARAÚJO, L. O.; ANDRADE JÚNIOR, J. L. "The triple helix approach in the defence industry: a case study at the Brazilian Army". **World Review of Science, Technology and Sustainable Development**, v. 16, n. 1, p. 22–43, 2020.

FREEMAN, C. "The 'National System of Innovation' in historical perspective". **Cambridge Journal of Economics**, v. 19, n. 1, p. 5–24, fev. 1995.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. Fioc**ruz Amazônia e Comando Militar da Amazônia formalizam parceria**. 2024. Acesso em: 7 jun. 2026. Disponível em: https://fiocruz.br/es/node/187442.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF SCIENCE PARKS AND AREAS OF INNOVATION (IASP). **Definitions of Science Parks and Areas of Innovation**. 2026. Disponível em: https://www.iasp.ws/our-industry/definitions/science-park. Acesso em: 3 jun. 2026.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA. **Instrumentos de Parceria**. 2026. Disponível em: https://www.ime.eb.mil.br/instrumentos-de-parceria. Acesso em: 7 jun. 2026.

KATZ, B.; WAGNER, J. "The rise of innovation districts: a new geography of innovation in America". **Brookings**, p. 1–34, maio 2014.

KENNEDY, P. **Engenheiros da Vitória: Os Responsáveis pela Reviravolta na Segunda Guerra Mundial**. São Paulo: Companhia das Letras, 2014.

LUNDVALL, B.-Å. **Product Innovation and User-Producer Interaction**. Aalborg: Aalborg University Press, 1985.

MALERBA, F. "Sectoral systems of innovation and production". **Research Policy**, v. 31, n. 2, p. 247–264, 2002.

MARINHO, B. C.; CORRÊA, L. D. P.; ALVES, E. O. "A inovação no setor de defesa e seus benefícios para a sociedade". **Anais do III ENPI**, 2017.

MARINHO, B. C. **Proposta de estratégias de inovação aberta para instituições da administração pública: estudo de caso do Exército Brasileiro**. Tese de Doutorado, Academia de Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento, Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Rio de Janeiro, 2022.

MARINHO, B. C.; PINHEIRO-MACHADO, R.; GALDINO, J. F. "Sistema de ciência, tecnologia e inovação do Exército". **Revista Aracê**, v. 7, n. 4, p. 19934–19953, abr. 2025.

MARINHO, R. C. **Fatores Inibidores do Licenciamento de Tecnologias Duais: Estudo de Caso do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Militares, Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro, 2025.

MARTINEZ, G. A. G.; PÉREZ, L. R. V. "The Triple Helix and its intervention in the research and development of products for international security and defense". **Revista de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad**, v. 17, n. 1, p. 31–46, jun. 2022.

MAZZUCATO, M. O **Estado empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado**. São Paulo: Editora Schwarcz, 2015.

MOLAS-GALLART, J. “Which way to go? Defence technology and the diversity of ‘dual-use’ technology transfer”. **Research Policy**, v. 26, n. 3, p. 367–385, 1997.

MWANTIMWA, K. M.; NDEGE, N. R.; ATELA, J. I.; HALL, A. “Scaling innovation hubs: impact on knowledge, innovation and entrepreneurial ecosystems in Tanzania”. **Journal of Innovation Management**, v. 9, n. 2, p. 39–63, nov. 2020.

NELSON, R. R. (ed.). **National Innovation Systems**: A Comparative Analysis. New York: Oxford University Press, 1993.

PORTER, M. E. “Clusters and the new economics of competition”. **Harvard Business Review**, v. 76, n. 6, p. 77–90, nov./dez. 1998.

RAMOS, M. L.; SILVA, E. F. “Desafios e oportunidades na captação de recursos para PD&I pelas ICT públicas da Amazônia Ocidental: uma análise da Lei nº 8.387/1991”. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 12, e11696, dez. 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n12-135.

REIS, J.; ROSADO, D. P.; RIBEIRO, D. F.; MELÃO, N. “Quintuple Helix innovation model for the European Union defense industry: an empirical research”. **Sustainability**, v. 14, n. 24, art. 16499, dez. 2022.

SIMÕES, P. C.; MOREIRA, A. C.; DIAS, C. M. “Portugal’s changing defense industry: is the Triple Helix model of knowledge society replacing state leadership model?”. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 6, n. 4, art. 183, p. 1–19, dez. 2020.

SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS (SUFRAMA). **Polo Industrial de Manaus fatura R$ 130,77 bilhões de janeiro a setembro de 2023**. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/suframa/pt-br/publicacoes/noticias/polo-industrial-de-manaus-fatura-r-130-77-bilhoes-de-janeiro-a-setembro-de-2023. Acesso em: 3 jun. 2026.

SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS (SUFRAMA). **Polo Industrial de Manaus fatura R$ 161,02 bilhões de janeiro a novembro de 2023**. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/suframa/pt-br/publicacoes/noticias/polo-industrial-de-manaus-fatura-r-161-02-bilhoes-de-janeiro-a-novembro-de-2023. Acesso em: 3 jun. 2026.

SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS (SUFRAMA). **Empresas da Zona Franca investiram R$ 1,59 bilhão em PD&I na Amazônia Ocidental e Amapá em 2023 por meio da Lei de Informática**. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/suframa/pt-br/assuntos/noticias/empresas-da-zona-franca-investiram-r-1-59-bilhao-em-pd-i-na-amazonia-ocidental-e-amapa-em-2023-por-meio-da-lei-de-informatica. Acesso em: 3 jun. 2026.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS. **UFAM e Comando Militar da Amazônia celebram Protocolo de Intenções**. 2025. Disponível em: https://ufam.edu.br/noticias-destaque/5816-ufam-e-comando-militar-da-amazonia-celebram-protocolo-de-intencoes.html. Acesso em: 7 jun. 2026.

Autoria

1 Manoel Fernandes Amaral Filho

Graduado em Ciências Militares e Direito; Pesquisador; Coronel Veterano do Exército Brasileiro; Mestre em Operações Militares pela Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais; Doutorando em Engenharia Elétrica
https://orcid.org/0009-0006-6496-0539 • manoel.amaral@ufam.edu.br

2 Bruno Costa Marinho

Graduado em Ciências Militares pela Academia Militar das Agulhas Negras; Graduado em Direito pela Universidade Estácio de Sá; Mestre em Direito Ambiental pela Universidade do Estado do Amazonas; Doutor em Propriedade Intelectual e Inovação pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial; Professor Colaborador da Universidade do Estado do Amazonas; Pesquisador do Laboratório de Ciências Militares da Escola de Comando e Estado-Maior do Exército; Chefe
https://orcid.org/0000-0002-5394-5652 • marinho.bruno@ime.eb.br

3 José Luiz de Souza Pio

Engenheiro Civil pela Universidade do Amazonas; Mestre em Ciências - Engenharias de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro; Doutor em Ciências em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gearia; Pesquisador vinculado ao Instituto de Computação, Professor
https://orcid.org/0000-0001-5864-8983 • josepio@icomp.ufam.edu.br

Como citar este artigo

AMARAL FILHO, M. F.; MARINHO, B. C.; PIO, J. L. S. Hub de tecnologias duais em Manaus: evidências de um ecossistema emergente. **InterAção**, Santa Maria, v. 17, n. 3, e99415, p. 1-21, 2026. DOI 10.5902/2357797599415. Disponível em: https://dx.doi.org/10.5902/2357797599415. Acesso em: dia mês abreviado. ano.