

Ciência, tecnologia e inovação (CT&I) nas Forças Armadas: autossuficiência ou terceirização?

Data da submissão: 6 de julho de 2025

Data da aprovação: 27 de novembro de 2025

*Ali Kamel Ismael Júnior**

Resumo Executivo

A organização e o investimento em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) nas Forças Armadas são condições estruturantes para a autonomia estratégica do Brasil, e este *policy paper* demonstra, com base em evidências históricas e comparação internacional, que nem a autossuficiência plena nem a terceirização ampla da CT&I em defesa são adequadas à realidade brasileira, marcada por baixo esforço em defesa (cerca de 1,08% do PIB, frente a percentuais superiores em potências como EUA, França e Rússia e ao compromisso de 5% do PIB assumido pelos aliados da OTAN até 2035) e forte concentração do orçamento em pessoal e custeio em detrimento de investimento e P&D (SIPRI, 2024; Macrotrends, 2024; OTAN, 2025; Brasil, 2023; 2025). A análise da trajetória nacional (IME, ITA, IPqM, Embraer, Programa Nuclear da Marinha) e dos projetos estratégicos PROSUB, Gripen, KC-390 e SISFRON, confrontada com os modelos francês (ênfase em autossuficiência estatal em setores sensíveis) e norte-americano (terceirização estruturada via BID e universidades, articulada por instituições como a DARPA), indica que o Brasil já opera, de fato, um modelo híbrido, que combina busca de soberania em áreas críticas (nuclear, radares, cibernética, mísseis) com parcerias e transferência de tecnologia em domínios complementares, no marco da Tríplice Hélice governo–BID–universidade (Melo, 2015; Etzkowitz; Zhou, 2017; Andrade, 2019; Brasil, 2020; DARPA, 2024; CRS, 2021; Moura, 2022; Souza, 2022). O principal achado é que a consolidação consciente desse modelo híbrido, apoiada na elevação gradual do gasto em defesa para patamar mínimo de 2% do PIB com maior previsibilidade, na recomposição interna do orçamento em favor de investimento e CT&I e no fortalecimento das capacidades de uso dual, constitui a estratégia mais realista e eficaz para reduzir vulnerabilidades externas, robustecer a Base Industrial de Defesa e posicionar o Brasil de forma competitiva no cenário tecnológico e geopolítico do século XXI.

Palavras-chave: defesa; ciência e tecnologia; inovação; soberania; Base Industrial de Defesa.

* Capitão de Mar e Guerra (EN). Chefe do Departamento de Relações Institucionais do Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro (CTMRJ). Doutor em Ciências Navais pela Escola de Guerra Naval (EGN). Mestre Stricto Sensu em Engenharia Elétrica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8846-400X>

1 ANÁLISE DO PROBLEMA E SUAS IMPLICAÇÕES PARA DEFESA

1.1 CONTEXTO E RELEVÂNCIA DO TEMA

A organização e o investimento em CT&I nas Forças Armadas são essenciais para garantir autonomia estratégica, soberania e projeção de poder (Brasil, 2020). A competição tecnológica global, marcada por avanços em tecnologias críticas como Inteligência Artificial (IA), sistemas hipersônicos e guerra cibernética, exige do Brasil um posicionamento claro em relação à priorização no investimento em defesa, apesar das restrições e imprevisibilidades orçamentárias (SIPRI, 2024).

1.2 HISTÓRICO DA CT&I NAS FORÇAS ARMADAS DO BRASIL

O desenvolvimento da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) nas Forças Armadas do Brasil está ligado à formação do Estado e ao esforço por capacidades autônomas de defesa em um território extenso e sujeito a pressões externas. Durante o período colonial, a CT&I em defesa era inexistente, limitando-se a fortificações costeiras erguidas com mão de obra local e conhecimentos importados (Melo, 2015).

Com a chegada da Corte Portuguesa (1808), fundou-se a Real Academia Militar (1810), embrião do Instituto Militar de Engenharia (IME), consolidando a formação de engenheiros militares (Brasil, 2020). No Império, foram criados arsenais de guerra, como o Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), mas a dependência externa em armamentos persistiu (Amarante, 2012). Durante a República Velha e o entreguerras, a modernização ocorreu via importações e missões estrangeiras, como a Missão Militar Francesa (1919), sem estruturar uma CT&I própria (Andrade, 2019).

Na Segunda Guerra Mundial e no pós-guerra, a necessidade de autonomia tecnológica ficou evidente, impulsionando a criação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em 1950, do Instituto Militar de Engenharia (IME) e do Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), ambos em 1959, marcos na formação técnica e no desenvolvimento da indústria de defesa do país (Matos; Ferreira, 2020). Nas décadas de 1960 a 1980, o Brasil investiu em setores estratégicos, como a Embraer, em 1969, e o Programa Nuclear da Marinha (PNM), em 1979, buscando reduzir a dependência externa (Amarante, 2012; Brasil, 2020).

A criação do Ministério da Defesa, em 1999, consolidou a governança dos programas estratégicos e fortaleceu a articulação entre a Base Industrial de Defesa (BID), universidades e institutos, em alinhamento com a Estratégia Nacional de Defesa (Brasil, 2020). No século

XXI, destacam-se projetos como o PROSUB, Gripen, KC-390 e SISFRON, que buscam aliar soberania tecnológica ao fortalecimento da BID e à redução da dependência externa (Moura, 2022; Souza, 2022).

Atualmente, a CT&I de defesa no Brasil adota o modelo Tríplice Hélice, integrando governo, BID e universidades, com foco em áreas críticas como radares, guerra cibernética, propulsão nuclear e sistemas de comando e controle, mesmo sob restrições orçamentárias (Etzkowitz; Zhou, 2017; Andrade, 2019). O quadro 1 sintetiza a evolução histórica da CT&I de defesa no Brasil.

Quadro 1 – Evolução histórica da CT&I de defesa no Brasil

| Período | Marco histórico | Características e avanços relevantes |
|--|---|--|
| Brasil Colônia (1500-1822) | Fortificações costeiras | Defesa costeira baseada em tecnologias importadas e construção artesanal; inexistência de CT&I autônoma. |
| Império (1822-1889) | Criação da Real Academia Militar (1810) e formalização do AMRJ (1808) | Formação inicial de engenheiros militares; manutenção e construção naval estruturada; avanços institucionais iniciais em CT&I de defesa. |
| República Velha e entreguerras (1889-1939) | Missão Militar Francesa (1919) | Modernização doutrinária e técnica; importação de armamentos; consolidação de arsenais de guerra. |
| Segunda Guerra Mundial e pós-guerra (1939-1964) | Força Expedicionária Brasileira (FEB), criação do ITA (1950), IME e IPqM (1959) | Consolidação de centros de formação técnica e pesquisa; início do planejamento industrial estratégico, especialmente no setor aeronáutico. |
| Regime Militar (1964-1985) | Criação da Embraer (1969), início do PROSUB (1979) | Busca de autonomia em setores estratégicos (nuclear, aeronáutico, terrestre); fortalecimento da Base Industrial de Defesa. |
| Redemocratização e anos 1990 | Criação do Ministério da Defesa (1999) | Integração das Forças Armadas; alinhamento estratégico e início de programas de defesa integrados à BID. |
| Século XXI | PROSUB, Gripen, KC-390, SISFRON | Avanços em tecnologias sensíveis; adoção do modelo Tríplice Hélice; fortalecimento de parcerias entre BID, universidades e governo. |

Fonte: Elaboração própria com base em Amarante (2012), Brasil (2020), Matos e Ferreira (2020), Melo (2015), Moura (2022), Souza (2022) e Etzkowitz e Zhou (2017).

1.3 O ORÇAMENTO DE DEFESA NO BRASIL E NO MUNDO ATUALMENTE

O orçamento de defesa reflete a prioridade estratégica de cada nação, impactando diretamente sua capacidade de manter a prontidão operacional, projetar poder e investir em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) no setor de defesa (Brasil, 2023). O nível de

investimento em defesa é determinante para o desenvolvimento de capacidades autônomas em tecnologias sensíveis, além de possibilitar a estruturação de programas de modernização e de transferência de tecnologia (Melo, 2015; Andrade, 2019).

Em 2023, os países que mais investiram proporcionalmente ao seu PIB em defesa foram a Rússia (5,9%), os Estados Unidos (3,5%), a Índia (2,4%) e a França (1,9%). A China destinou 1,6% de seu PIB ao setor, enquanto Venezuela (1,3%) e Brasil (1,08%) mantiveram percentuais inferiores, refletindo restrições econômicas e prioridades distintas em suas agendas estratégicas (SIPRI, 2024; Macrotrends, 2024). O quadro 2 consolida os dados de orçamentos de defesa e dos respectivos percentuais em relação ao PIB do Brasil e de outros atores no ano de 2023.

Quadro 2 – Orçamento de defesa comparado (Ano de 2023)

| País/Região | Gasto total (US\$ bilhões) | % do PIB |
|-----------------------|----------------------------|----------|
| Rússia | 109,0 | 5,9% |
| Estados Unidos | 877,0 | 3,5% |
| Índia | 81,0 | 2,4% |
| França | 58,0 | 1,9% |
| China | 296,0 | 1,6% |
| Venezuela | 2,5 | 1,3% |
| Brasil | 22,9 | 1,08% |
| América Latina | 65,4 | - |
| Mundo | 2.387 | - |

Fonte: Elaboração própria com base em SIPRI (2024); Macrotrends (2024); Brasil (2023; 2025).

A análise comparada evidencia que países com maiores percentuais de investimento em defesa conseguem manter programas de CT&I robustos, garantindo soberania tecnológica em áreas sensíveis e agilidade na incorporação de inovações (DARPA, 2024; CRS, 2021). Os Estados Unidos, por exemplo, investem significativamente em CT&I por meio de estruturas como a DARPA, fomentando inovações disruptivas em estreita articulação com a BID e universidades, mantendo a liderança tecnológica global (DARPA, 2024). A Rússia, por sua vez, sustenta capacidades autônomas em sistemas estratégicos como propulsão nuclear, mísseis hipersônicos e defesa cibernética, alinhadas a seu contexto geopolítico (SIPRI, 2024).

Já a China, mesmo com percentual moderado em relação ao PIB, investe valores absolutos elevados, viabilizando programas avançados em tecnologias como inteligência artificial, mísseis balísticos intercontinentais e guerra cibernética (Macrotrends, 2024). A Índia, com 2,4% do PIB, tem priorizado a redução da dependência externa e o fortalecimento

da BID, investindo em projetos autóctones e parcerias internacionais estratégicas (SIPRI, 2024).

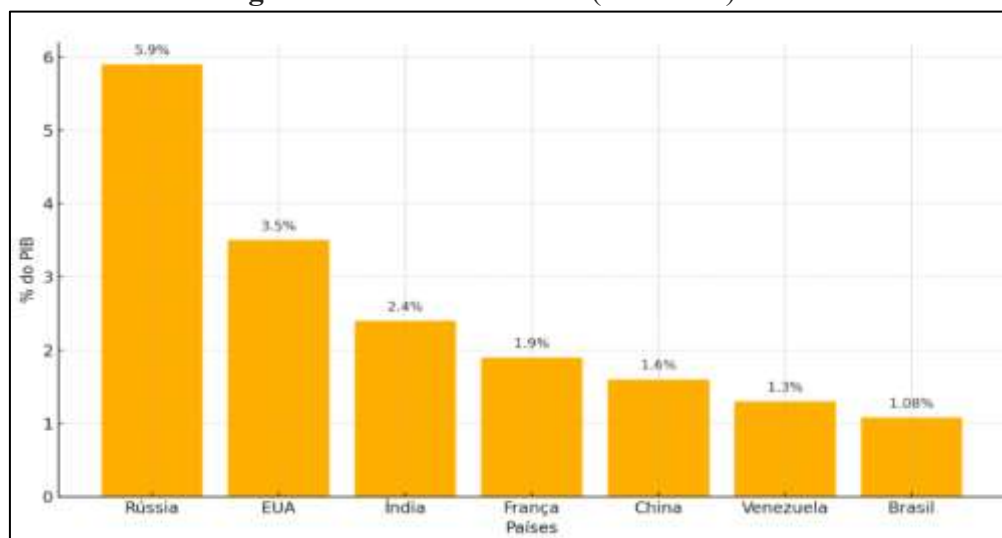
No caso brasileiro, a destinação de 1,08% do PIB para defesa (menor que o da Venezuela) limita o alcance e a velocidade dos programas de CT&I, tornando necessário um foco seletivo em tecnologias sensíveis, ao mesmo tempo em que se buscam parcerias estruturadas com a BID e universidades para absorção de tecnologias complementares, de forma a maximizar os recursos disponíveis e garantir a manutenção de capacidades estratégicas (Etzkowitz; Zhou, 2017; Andrade, 2019).

Para se ter uma ideia de quão baixo é esse gasto no Brasil, além das comparações já efetuadas, os países aliados da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) em reunião de 2025, comprometeram-se a investir anualmente 5% do Produto Interno Bruto (PIB) em requisitos básicos de defesa e em despesas relacionadas com a defesa e a segurança até 2035 (OTAN, 2025).

No momento discute-se no Congresso Nacional brasileiro um Projeto de Emenda Constitucional (PEC nº 55/2023) que visa garantir ao Ministério da Defesa um orçamento mínimo equivalente a 2% do Produto Interno Bruto (PIB) anual, com o objetivo de aumentar os investimentos no setor, de forma a assegurar maior previsibilidade nos gastos com defesa, evitando cortes em momentos de crise fiscal (Brasil, 2023).

A figura 1, a seguir, ilustra de forma clara a disparidade percentual dos investimentos em defesa em relação ao PIB entre os países analisados, servindo como referência para entender os desafios do Brasil no financiamento da CT&I de defesa.

Figura 1 – Gastos de defesa (% do PIB) em 2023



Fonte: Elaboração própria a partir de Brasil (2025), SIPRI (2024) e Macrotrends (2024).

A discrepância entre o comprometimento dos países aliados da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), que em 2025 reafirmaram a meta de investir 5 % do PIB em despesas de defesa e segurança até 2035 (OTAN, 2025), e o investimento brasileiro, que permanece em torno de 1,08% do PIB (SIPRI, 2024; Macrotrends, 2024), evidencia diferenças estruturais e conceituais na forma como as nações compreendem o papel da defesa em suas agendas estratégicas e orçamentárias.

Nos países da OTAN, a despesa de defesa é amplamente distribuída entre custeio, pessoal e investimento, com ênfase em pesquisa, desenvolvimento e aquisição de novos sistemas. O comprometimento de 5% do PIB busca assegurar sustentabilidade operacional e tecnológica, incluindo não apenas o custeio das forças em prontidão, mas também a renovação constante de capacidades, a modernização de equipamentos, e o financiamento direto de P&D em tecnologias críticas, como inteligência artificial, sistemas autônomos, guerra cibernética, propulsão avançada e mísseis hipersônicos (DARPA, 2024; CRS, 2021). Assim, uma proporção expressiva desse percentual é canalizada para investimentos de capital e inovação, com papel central da BID e das universidades (Etzkowitz; Zhou, 2017).

Em contraste, no Brasil, a maior parte do orçamento de defesa é absorvida por despesas obrigatórias de pessoal e custeio, deixando pouca margem para investimento efetivo em CT&I (Brasil, 2023; 2025). Segundo dados do Ministério da Defesa, mais de 80% do orçamento destina-se ao pagamento de salários, pensões e manutenção de infraestrutura, enquanto apenas uma fração residual é direcionada a investimentos estruturantes ou inovação tecnológica (Brasil, 2023; 2025; Andrade, 2019). Essa composição orçamentária reflete um modelo de sustentação operacional, e não de transformação tecnológica, o que limita o avanço de projetos estratégicos e reduz a capacidade do país de acompanhar as tendências de inovação observadas em potências militares (Melo, 2015; Brasil, 2020).

Além disso, o contexto geopolítico distinto influencia a intensidade dos investimentos. As nações da OTAN enfrentam ameaças diretas e imediatas em seu entorno estratégico, o que justifica elevados níveis de gasto e o comprometimento político com a manutenção de forças modernas e interoperáveis. Já o Brasil, situado em uma região relativamente estável, tende a adotar uma postura reativa e orçamentariamente restritiva, priorizando a estabilidade fiscal em detrimento de investimentos de longo prazo em defesa e inovação (Melo, 2015; Andrade, 2019).

Contudo, como ressaltam Etzkowitz e Zhou (2017), o investimento consistente em CT&I de defesa não se traduz apenas em poder militar, mas também em competitividade industrial e tecnológica, impactando diretamente a Base Industrial de Defesa (BID) e a

economia nacional. Portanto, a manutenção de um patamar inferior a 1,1% do PIB, sem mecanismos de previsibilidade, compromete a autonomia tecnológica e a capacidade de inovação soberana do Brasil, agravando a dependência externa em áreas sensíveis e restringindo a geração de tecnologias de uso dual.

Nesse sentido, a Proposta de Emenda Constitucional nº 55/2023, que prevê elevar o investimento mínimo em defesa a 2% do PIB, representa um passo fundamental para reposicionar o país em um patamar compatível com suas dimensões geopolíticas e ambições estratégicas (Brasil, 2023). Ainda assim, mesmo que aprovada, essa ampliação deve vir acompanhada de reformulação da estrutura interna de alocação de recursos, redirecionando parte significativa do custeio e das despesas obrigatórias para investimentos produtivos e tecnológicos, sob pena de o aumento percentual não se traduzir em ganhos reais de capacidade.

Em síntese, enquanto os aliados da OTAN utilizam seus orçamentos como instrumentos de inovação e poder tecnológico, o Brasil ainda concentra sua despesa em manutenção de estrutura e pessoal, revelando um descompasso entre o volume investido e a qualidade estratégica da alocação. A superação desse hiato requer não apenas aumento percentual do PIB destinado à defesa, mas uma reconfiguração orçamentária estrutural, capaz de garantir recursos estáveis e contínuos para o desenvolvimento científico, tecnológico e industrial que sustenta a soberania e a dissuasão no século XXI.

1.4 O MODELO BRASILEIRO DE CT&I EM DEFESA E SEUS PROJETOS ESTRATÉGICOS

No Brasil, a limitação orçamentária, combinada com as dimensões continentais e as necessidades de defesa, exigiu a adoção de um modelo híbrido de CT&I em defesa, que combina autossuficiência em áreas críticas com parcerias estruturadas em tecnologias complementares (Etzkowitz; Zhou, 2017; Andrade, 2019). A Estratégia Nacional de Defesa (END) define setores sensíveis, como propulsão nuclear, radares, sistemas de comando e controle, e guerra cibernética, como áreas prioritárias para investimento e fortalecimento soberano (Brasil, 2020).

A articulação entre governo, Base Industrial de Defesa (BID) e universidades é central nesse modelo, seguindo o conceito do Modelo Tríplice Hélice (Etzkowitz; Zhou, 2017). Essa estrutura permite ao país avançar tecnologicamente, mesmo com restrições orçamentárias, por meio de projetos estratégicos que combinam absorção tecnológica, transferência de tecnologia e desenvolvimento de capacidades industriais autóctones.

Essa articulação é observada em programas como o PROSUB, KC-390, Gripen e SISFRON, nos quais o Brasil realiza absorção tecnológica e parcerias estratégicas com a BID e universidades, alinhado ao modelo Tríplice Hélice. Isso viabiliza avanços tecnológicos mesmo em um cenário de restrições financeiras, fortalecendo gradualmente a BID e reduzindo a dependência externa (Brasil, 2020; Moura, 2022; Souza, 2022). Assim, mesmo em um contexto de orçamento limitado, a manutenção de políticas consistentes de longo prazo e a priorização de áreas críticas são essenciais para que o Brasil fortaleça sua CT&I de defesa, assegure capacidades tecnológicas soberanas e garanta a segurança nacional em um ambiente global competitivo e incerto.

O quadro 3 organiza esses projetos quanto à sua classificação tecnológica e aos principais parceiros envolvidos, permitindo visualizar a estratégia brasileira de CT&I de defesa de forma integrada e fundamentada, demonstrando como a integração entre as instituições contribui para a redução da dependência externa e o fortalecimento da capacidade tecnológica de defesa no Brasil.

Quadro 3 – Principais Projetos Estratégicos das Forças Armadas do Brasil

| Projeto | Classificação | Principais Parceiros |
|----------------|-------------------------|---|
| PROSUB | Tecnologia Sensível | Marinha do Brasil, Naval Group (França), Itaguaí Construções Navais (ICN) |
| KC-390 | Tecnologia Complementar | Força Aérea Brasileira (FAB), Embraer, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) |
| Gripen | Tecnologia Complementar | FAB, Saab (Suécia), ITA |
| SISFRON | Tecnologia Sensível | Exército Brasileiro, Bradar, Embraer Defesa, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPqD), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Universidade de Brasília (UnB) |

Fonte: Elaboração própria a partir de Brasil (2020); Moura (2022); Souza (2022); e Etzkowitz e Zhou (2017).

O Brasil, mesmo diante de restrições, tem buscado fortalecer suas capacidades em CT&I de defesa, alinhando-se ao modelo híbrido de autossuficiência e terceirização seletiva. Projetos como o PROSUB e o SISFRON exemplificam o foco em tecnologias sensíveis sob controle nacional, enquanto o KC-390 e o Gripen ilustram o uso de parcerias internacionais para absorção e desenvolvimento de tecnologias complementares. A integração entre governo, BID e universidades, associada à priorização de áreas críticas, é indispensável para a promoção de soberania tecnológica, inovação e fortalecimento industrial, garantindo a capacidade de defesa e a proteção de seus interesses estratégicos em um ambiente geopolítico dinâmico (Etzkowitz; Zhou, 2017; Andrade, 2019).

No entanto, a limitada disponibilidade de recursos financeiros impacta a velocidade e o alcance da inovação tecnológica, exigindo escolhas estratégicas sobre onde investir para alcançar a autossuficiência tecnológica sem comprometer a eficiência orçamentária (SIPRI, 2024; Macrotrends, 2024; Brasil, 2023).

1.5 MODELOS INTERNACIONAIS DE GESTÃO DE CT&I DE DEFESA: FRANÇA E EUA

Dentre os exemplos internacionais, destacam-se os modelos de gestão de CT&I em defesa adotados pela França e pelos Estados Unidos, cujas estratégias oferecem lições relevantes ao Brasil.

Na França, a gestão de CT&I em defesa é caracterizada pela forte liderança estatal no financiamento de pesquisa e desenvolvimento, buscando manter autossuficiência em áreas críticas como o setor nuclear e o aeroespacial. Essa estratégia se apoia em políticas de transferência de tecnologia e fortalecimento contínuo da BID, permitindo ao país preservar capacidades sensíveis com alta independência (Melo, 2015).

Nos Estados Unidos, o modelo se distingue pela atuação da *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA), que articula um ecossistema de inovação acelerada, integrando governo, BID e universidades. Essa estrutura permite ao país terceirizar, de forma estruturada e flexível, grande parte do desenvolvimento de tecnologias disruptivas, mantendo o controle estratégico em áreas críticas e garantindo agilidade na absorção de inovações (DARPA, 2024; CRS, 2021).

Para balizar uma análise comparativa entre os modelos de gestão de CT&I em defesa da França, dos Estados Unidos e do Brasil, elaborou-se o quadro 4 no qual se detalham parâmetros qualitativos e os valores quantitativos utilizados para estimar a participação relativa de governo, Base Industrial de Defesa (BID) e universidades em cada um desses países.

Quadro 4 – Parâmetros qualitativos e quantitativos utilizados para estimativa dos percentuais de participação em CT&I de defesa (continua)

| Parâmetro Avaliado | Descrição do Critério | França | EUA | Brasil | Fontes |
|--|---|------------------|------------|------------|--|
| 1. Centralidade do Governo em P&D de Defesa | Grau de financiamento direto, definição de prioridades estratégicas e controle de setores sensíveis (nuclear, aeroespacial, cibernético). | Muito alto (50%) | Alto (30%) | Alto (40%) | Melo (2015); Brasil (2020); DARPA (2024); e CRS (2021) |

| Parâmetro Avaliado | Descrição do Critério | França | EUA | Brasil | Fontes |
|---|--|------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|
| 2. Protagonismo da BID em P&D e produção | Capacidade industrial e tecnológica, volume de contratos, papel na inovação e execução de projetos estratégicos. | Moderado (30%) | Muito alto (40%) | Moderado (35%) | Melo (2015); DARPA (2024); Andrade (2019); e Moura (2022) |
| 3. Participação das Universidades em P&D de Defesa | Atuação em pesquisa aplicada, absorção de recursos de defesa, formação de recursos humanos, parcerias em inovação. | Moderada (20%) | Alta (30%) | Moderada (25%) | Etzkowitz e Zhou (2017); Brasil (2020); e Souza (2022) |
| 4. Estrutura do modelo Tríplice Hélice | Integração governo-BID-universidade em ecossistemas de CT&I de defesa. | Integrado, liderança governo | Integrado, liderança BID | Integrado, liderança governo | Etzkowitz e Zhou (2017); Melo (2015); e DARPA (2024) |

Fonte: Elaboração própria a partir de Melo (2015); Brasil (2020); DARPA (2024); CRS (2021); Etzkowitz e Zhou (2017); Andrade (2019); Moura (2022); e Souza (2022)

A definição dos percentuais apresentados no Quadro 4 e ilustrados na Figura 2 foi construída a partir de cruzamento de dados qualitativos e quantitativos secundários presentes nas fontes mencionadas, complementados por interpretação comparativa conforme metodologia de Melo (2015) e estrutura analítica da Tríplice Hélice (Etzkowitz; Zhou, 2017). Não se trata, portanto, de valores contábeis exatos, que são inexistentes de forma padronizada entre os países, mas de estimativas ponderadas, derivadas da análise dos seguintes indicadores:

a) Centralidade governamental: baseou-se na proporção de P&D de defesa financiada diretamente pelo Estado (orçamentos públicos em defesa e pesquisa), nos relatórios oficiais dos Ministérios da Defesa e agências correlatas (Brasil, 2020; DARPA, 2024; CRS, 2021). Foram considerados “muito altos” os casos em que o Estado define prioridades estratégicas e detém controle direto de execução em áreas sensíveis (ex.: França), “altos” onde o Estado atua como articulador e financiador, mas com delegação parcial à indústria (ex.: Brasil e EUA);

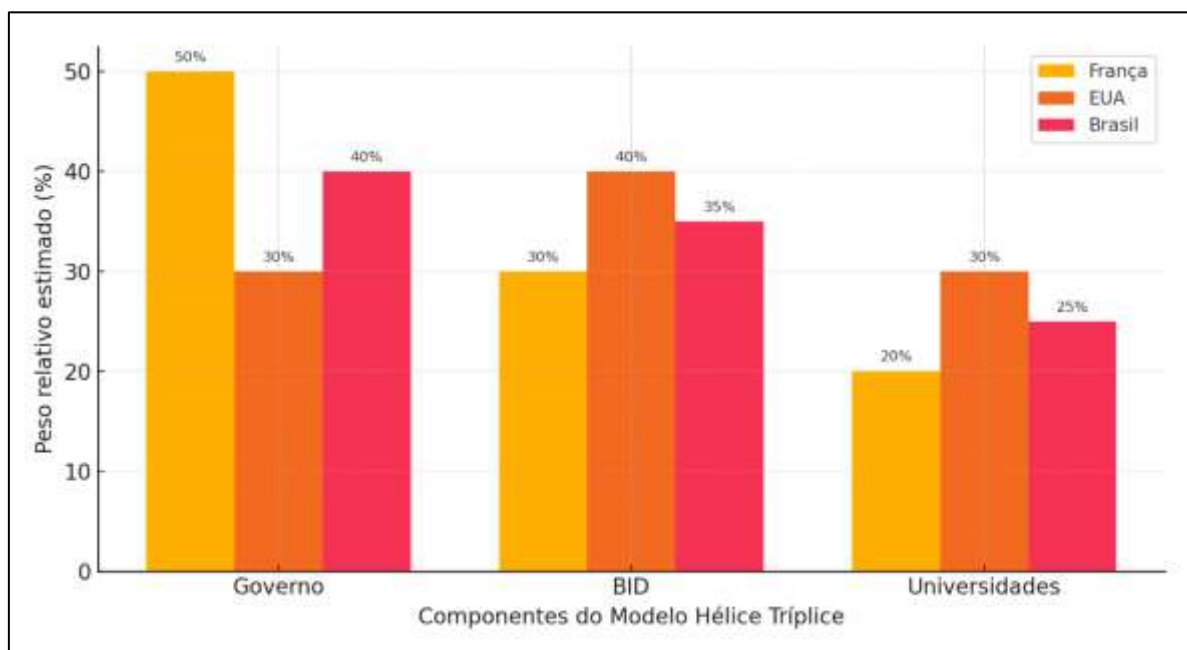
b) Protagonismo da Base Industrial de Defesa (BID): estimado a partir da participação da indústria nacional na execução de programas estratégicos, volume contratual e autonomia tecnológica (Andrade, 2019; Moura, 2022; Souza, 2022). Assim, percentuais mais elevados (40%) refletem forte envolvimento e capacidade de inovação industrial (como nos EUA), enquanto percentuais moderados (30–35%) correspondem a participação relevante, mas dependente do direcionamento estatal (como na França e no Brasil);

c) Participação das universidades: inferida da densidade e relevância dos convênios de pesquisa aplicada, programas de pós-graduação e formação de recursos humanos vinculados à defesa (Etzkowitz; Zhou, 2017; Souza, 2022). Os percentuais atribuídos (20–30%) representam a proporção estimada de contribuição acadêmica na geração de conhecimento e inovação tecnológica de defesa, com base nos modelos nacionais de integração universidade–indústria–governo; e

d) Integração sistêmica (Tríplice Hélice): avaliada qualitativamente conforme o grau de coordenação e interdependência institucional entre os três vértices do sistema de inovação. Classificações como “integrado, liderança estatal” ou “integrado, liderança industrial” derivam da análise das estruturas institucionais e dos fluxos de P&D descritos nas fontes comparadas (Melo, 2015; DARPA, 2024; Etzkowitz; Zhou, 2017).

A ponderação final resultou da média interpretativa entre esses eixos, convertendo a intensidade observada em percentuais de participação relativa, conforme as categorias adotadas pela literatura especializada. Essa metodologia assegura consistência teórica e transparência analítica, permitindo comparar ecossistemas de CT&I de defesa com diferentes níveis de maturidade institucional, sem incorrer em artificial precisão estatística. Assim, os percentuais da Tabela 2 devem ser compreendidos como indicadores sintéticos de tendência, e não como dados financeiros estritos — um recurso heurístico destinado a explicitar a estrutura de governança e o equilíbrio de forças entre Estado, indústria e academia em cada país.

Os índices apresentados fortalecem a compreensão sobre como cada país organiza seus ecossistemas de inovação e defesa. Com base nesses parâmetros, foi elaborada a Figura 2, que apresenta os modelos de gestão de CT&I de defesa, evidenciando o peso relativo estimado de governo, BID e universidades no Brasil, França e EUA.

Figura 2 – Modelos de Gestão de CT&I na França e nos EUA

Fonte: Elaboração própria a partir de Melo (2015); Brasil (2020); DARPA (2024); CRS (2021); Andrade (2019); Etzkowitz e Zhou (2017), Moura (2022); e Souza (2022).

Em síntese, observa-se que o modelo de gestão de CT&I em defesa do Brasil, embora ainda limitado em termos orçamentários, se aproxima do modelo francês ao manter o governo como elemento central na coordenação e financiamento de tecnologias sensíveis, ao mesmo tempo em que articula a BID e as universidades para fortalecer capacidades estratégicas e reduzir dependências externas.

Contudo, diferentemente da França, onde o Estado exerce controle mais rígido sobre a BID, o Brasil adota progressivamente mecanismos de parceria para impulsionar a inovação em áreas complementares, similar à experiência dos Estados Unidos no aproveitamento do potencial tecnológico da BID e das universidades. Já o modelo norte-americano se distingue pelo protagonismo da BID e pela agilidade no desenvolvimento de tecnologias disruptivas, articuladas por instituições como a DARPA, com o governo atuando como indutor estratégico e financiador.

Os dados apresentados na tabela 2 demonstram que, enquanto a França prioriza a autossuficiência em setores críticos e os EUA buscam velocidade e flexibilidade em inovação, o Brasil equilibra ambas as abordagens de forma seletiva, por meio de um modelo híbrido que, apesar de restrições de recursos, permite avanços concretos na CT&I de defesa por meio de projetos estratégicos e de uma articulação crescente entre governo, BID e universidades, alinhada ao modelo Tríplice Hélice.

1.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS DE AUTOSSUFICIÊNCIA E TERCEIRIZAÇÃO DA PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

A análise dos modelos internacionais e nacionais de gestão de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) em defesa evidencia que tanto a autossuficiência quanto a terceirização possuem vantagens e limitações, sendo a escolha entre elas condicionada pelas capacidades orçamentárias, prioridades estratégicas e estruturas institucionais de cada país (Melo, 2015; DARPA, 2024; Brasil, 2020).

Na França, observa-se um modelo de autossuficiência robusto, com forte liderança estatal no financiamento e controle de áreas sensíveis, como os setores nuclear e aeroespacial. Este modelo permite garantir soberania tecnológica, reduzir vulnerabilidades externas e assegurar a independência em tecnologias críticas, embora demande elevados investimentos públicos e políticas de longo prazo para manter massa crítica em P&D (Melo, 2015; Brasil, 2020).

Nos Estados Unidos, predomina o modelo de terceirização estruturada e flexível, articulado por instituições como a DARPA. Neste modelo, a Base Industrial de Defesa (BID) e as universidades lideram o desenvolvimento de tecnologias disruptivas, enquanto o governo atua como articulador e financiador estratégico, garantindo agilidade na incorporação de inovações e reduzindo custos (DARPA, 2024; CRS, 2021). Entretanto, esse modelo exige mecanismos sólidos de governança e supervisão para evitar dependências externas em áreas sensíveis.

O Brasil, por sua vez, diante de restrições orçamentárias e desafios territoriais e estratégicos, adota um modelo híbrido, buscando equilíbrio entre autossuficiência em tecnologias sensíveis e terceirização em áreas complementares por meio de parcerias estruturadas com a BID e universidades (Etzkowitz; Zhou, 2017; Andrade, 2019).

Este modelo tem permitido ao país avançar em áreas críticas como propulsão nuclear e guerra cibernética, por meio de controle estatal, ao mesmo tempo em que absorve tecnologias em áreas como aviação e sistemas de monitoramento, por meio de parcerias internacionais e acordos de transferência tecnológica, como nos projetos Gripen, KC-390 e SISFRON (Brasil, 2020; Moura, 2022; Souza, 2022).

Para reforçar e consolidar visualmente este raciocínio, apresenta-se o quadro 5, que organiza de forma comparada os pontos fortes, limitações, exemplos práticos e impactos estratégicos dos modelos de autossuficiência, terceirização e híbrido em CT&I de defesa, facilitando a compreensão dos aspectos analisados.

Quadro 5 – Comparação consolidada entre os modelos de CT&I de defesa: Autossuficiência, Terceirização e Modelo Híbrido

| Aspecto | Autossuficiência (Ex.: França) | Terceirização (Ex.: EUA) | Modelo Híbrido (Brasil) |
|---|---|--|---|
| Pontos fortes | Controle total sobre tecnologias sensíveis; Redução de vulnerabilidades externas; Soberania tecnológica | Agilidade na incorporação de inovações; Redução de custos; Ampliação do acesso a tecnologias emergentes | Combinação de soberania em áreas críticas com eficiência em áreas complementares; Flexibilidade |
| Limitações | Elevados custos de desenvolvimento; exige políticas de longo prazo; Necessidade de massa crítica de P&D | Potencial dependência externa; Possível perda de domínio de tecnologias sensíveis | Requer priorização clara; depende de governança estável e previsibilidade orçamentária |
| Exemplo prático | Setor nuclear e aeroespacial francês (Melo, 2015) | Ecosistema DARPA, com BID e universidades liderando inovação sob supervisão (DARPA, 2024; CRS, 2021) | PROSUB, Gripen, KC-390 e SISFRON combinando autossuficiência e parcerias (Brasil, 2020); Moura, 2022; Souza (2022). |
| Impactos econômicos e estratégicos | Fortalecimento da BID nacional; Tecnologias de uso dual; Soberania | Geração de tecnologias disruptivas; Fortalecimento de clusters tecnológicos; Exportação de tecnologias | Fortalecimento gradual da BID; Criação de empregos qualificados; Redução de dependências externas |
| Fontes consideradas | Melo (2015); Brasil (2020) | DARPA (2024); CRS (2021) | Andrade (2019); Brasil (2020); Moura (2022); Souza (2022) |

Fonte: Elaboração própria a partir de Melo (2015); Brasil (2020); DARPA (2024); CRS (2021); Andrade (2019); Moura (2022); e Souza (2022).

A análise consolidada neste tópico demonstra que o modelo híbrido adotado pelo Brasil constitui a estratégia mais compatível com suas condições orçamentárias e necessidades estratégicas, permitindo avanços em tecnologias sensíveis sob controle nacional enquanto promove a absorção de tecnologias complementares por meio de parcerias. Isso garante o fortalecimento da Base Industrial de Defesa, reduz a dependência tecnológica externa e contribui para o desenvolvimento econômico, criando empregos qualificados e fortalecendo a cadeia produtiva tecnológica nacional (Etzkowitz; Zhou, 2017; Andrade, 2019; Brasil, 2020).

Assim, ao equilibrar soberania tecnológica, eficiência orçamentária e agilidade em inovação, o Brasil poderá proteger seus interesses estratégicos em um cenário internacional de rápidas transformações tecnológicas e tensões geopolíticas crescentes, consolidando sua capacidade de defesa de forma sustentável e soberana.

1.7 DISCUSSÃO

Este policy paper demonstrou que a organização, estruturação e investimento em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) nas Forças Armadas são elementos essenciais para o fortalecimento da autonomia estratégica, da capacidade de defesa e da projeção de poder do Brasil no cenário internacional. A análise comparativa entre os modelos de autossuficiência, terceirização e o modelo híbrido brasileiro evidenciou que não existe um caminho único, sendo necessário adotar estratégias combinadas, ajustadas às restrições orçamentárias e às demandas estratégicas do país.

O modelo de autossuficiência, como observado na França, garante soberania tecnológica e controle sobre tecnologias sensíveis, reduzindo vulnerabilidades externas, mas requer elevados investimentos públicos, políticas de longo prazo e manutenção de massa crítica em P&D. Já o modelo de terceirização estruturada, adotado pelos Estados Unidos e articulado por instituições como a DARPA, proporciona maior agilidade e eficiência na incorporação de inovações disruptivas, mobilizando a Base Industrial de Defesa (BID) e universidades sob supervisão estatal, mas exige mecanismos de governança robustos para evitar dependências em setores críticos. Por sua vez, o modelo híbrido brasileiro equilibra soberania em tecnologias sensíveis com a eficiência proporcionada pelas parcerias estruturadas em áreas complementares, utilizando a BID e universidades para absorver e desenvolver capacidades tecnológicas essenciais ao país.

A partir da análise realizada, observa-se que o Brasil deve priorizar áreas sensíveis como guerra cibernética, propulsão nuclear, radares e sistemas de mísseis, garantindo autossuficiência em tecnologias críticas (inteligência artificial (IA), computação quântica, veículos autônomos, sensores etc.) ao mesmo tempo em que fortalece parcerias estruturadas com a BID e universidades por meio de encomendas tecnológicas e cláusulas de transferência de tecnologia. É imprescindível assegurar previsibilidade orçamentária para garantir a continuidade de programas estratégicos como o PROSUB, o KC-390, o Gripen e o SISFRON, utilizando o modelo Tríplice Hélice como vetor de articulação para alinhar governo, BID e academia no fortalecimento do ecossistema de defesa brasileiro.

Outro ponto relevante é o estímulo ao uso dual das tecnologias desenvolvidas, permitindo que inovações militares transbordem para o setor civil, fortalecendo cadeias produtivas e gerando empregos qualificados. A formação de recursos humanos especializados, com foco em áreas críticas para a defesa, deve ser tratada como prioridade, ampliando a massa

crítica de engenheiros, técnicos e pesquisadores para sustentar programas estratégicos e reduzir dependências externas.

Ademais, a governança dos programas de CT&I de defesa deve ser fortalecida com sistemas de monitoramento de indicadores de desempenho, prazos e metas, garantindo a eficiência na aplicação dos recursos públicos e a execução dos projetos no prazo e orçamento previstos. Também é essencial que o Brasil amplie sua participação em fóruns internacionais e estabeleça parcerias estratégicas em CT&I de defesa, visando consolidar expertise tecnológica, ampliar sua capacidade de inserção internacional e estimular a competitividade da BID no mercado global.

Ao equilibrar soberania tecnológica, eficiência orçamentária e agilidade na inovação, o Brasil poderá fortalecer sua capacidade de defesa, reduzir vulnerabilidades estratégicas e se posicionar de forma competitiva em um cenário internacional marcado por tensões geopolíticas e rápidas transformações tecnológicas. A CT&I em defesa, além de garantir a segurança e a soberania nacionais, constitui vetor de desenvolvimento industrial, tecnológico e econômico, capaz de gerar empregos qualificados, fortalecer cadeias produtivas e impulsionar a economia. Dessa forma, ao adotar consistentemente o modelo híbrido, sustentado por políticas de longo prazo e articulação entre governo, BID e universidades, o Brasil se consolidará como um país apto a proteger seus interesses estratégicos, acompanhar avanços tecnológicos essenciais e promover a prosperidade e a segurança de sua sociedade no século XXI.

2 RECOMENDAÇÕES

Com base na análise histórica, comparativa e orçamentária apresentada, propõem-se as seguintes recomendações para o fortalecimento da CT&I nas Forças Armadas do Brasil, acompanhadas de breve avaliação de sua viabilidade política, fiscal e institucional, bem como dos principais riscos e barreiras à implementação:

- **Ampliar o investimento em defesa para, no mínimo, 2% do PIB**, conforme a Proposta de Emenda Constitucional nº 55/2023, mencionada em Brasil (2023), garantindo previsibilidade orçamentária e sustentabilidade dos programas estratégicos de CT&I. Em relação à viabilidade e riscos, esta recomendação é politicamente viável a médio prazo, diante do reconhecimento crescente do papel da defesa na soberania nacional; contudo, enfrenta barreiras fiscais estruturais e rigidez orçamentária derivadas do teto de gastos e do alto

comprometimento com despesas obrigatórias (Andrade, 2019). Exige coordenação interministerial e gradualismo na implementação, com cronograma plurianual de expansão;

- **Reorientar a composição interna do orçamento de defesa**, reduzindo a proporção destinada a custeio e pessoal e ampliando o percentual voltado a investimentos e P&D em defesa (Brasil, 2023; SIPRI, 2024). Esta recomendação é de difícil execução no curto prazo, pois requer revisão de vínculos legais e previdenciários, além de resistências corporativas; porém, é fundamental para assegurar impacto real do aumento orçamentário na CT&I. A experiência de países como França e EUA demonstra que a qualidade do gasto é mais determinante que o volume global (Melo, 2015; DARPA, 2024; CRS, 2021);
- **Priorizar áreas sensíveis sob controle nacional**, como inteligência artificial, guerra cibernética, propulsão nuclear, radares e sistemas de mísseis, assegurando soberania tecnológica e continuidade dos programas críticos (Brasil, 2020; Moura, 2022). Apesar da alta relevância estratégica desta recomendação, ela é dependente de continuidade política e estabilidade orçamentária. O risco principal é a descontinuidade entre governos e o impacto de cortes sobre programas de longo ciclo tecnológico, como o PROSUB e o SISFRON;
- **Fortalecer a articulação entre governo, BID e universidades**, ampliando o modelo Tríplice Hélice (Etzkowitz; Zhou, 2017) para absorver tecnologias complementares, fomentar inovação dual e reduzir dependências externas (Souza, 2022). Esta recomendação é institucionalmente factível, pois baseia-se em estruturas existentes e experiências bem-sucedidas; entretanto, requer mecanismos de governança e incentivos fiscais para P&D que estimulem a participação do setor privado e evitem assimetria entre as partes (Andrade, 2019);
- **Implementar mecanismos de governança e monitoramento**, com indicadores e metas transparentes para CT&I em defesa (Brasil, 2020). Esta recomendação é altamente viável e de baixo custo fiscal, pois envolve racionalização de processos e adoção de ferramentas já consolidadas na administração pública. O desafio principal é a integração interforças e o estabelecimento de métricas comuns entre programas distintos; e
- **Fomentar a formação de recursos humanos especializados** em áreas estratégicas de defesa, criando massa crítica para a manutenção e o avanço de programas sensíveis, ampliando bolsas e convênios de pesquisa militar-acadêmica (Melo, 2015; Souza, 2022). A recomendação é viável por meio de parcerias com universidades e programas de pós-graduação existentes, mas dependente de recursos estáveis para bolsas e da manutenção de políticas de incentivo à carreira científica no setor público.

Em síntese, todas as recomendações apresentadas são tecnicamente fundamentadas e politicamente plausíveis, mas sua implementação plena exige compatibilização fiscal e

continuidade institucional. O principal desafio não reside apenas em elevar o montante investido, mas em garantir que os recursos sejam aplicados de forma estratégica e sustentável, priorizando a inovação, a formação de capacidades críticas e a integração do ecossistema nacional de CT&I em defesa. Essa abordagem é coerente com as lições internacionais analisadas (Melo, 2015; DARPA, 2024; CRS, 2021) e com a trajetória de amadurecimento gradual da Base Industrial de Defesa brasileira (Andrade, 2019; Moura, 2022), reforçando a defesa como vetor de desenvolvimento soberano e competitivo.

REFERÊNCIAS

AMARANTE, José Carlos Albano do. **A base industrial de defesa brasileira**. Rio de Janeiro: IPEA, 2012. Disponível em:

https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1091/1/TD_1758.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

ANDRADE, Israel de Oliveira. **Base industrial de defesa: desafios e perspectivas**. Brasília: IPEA, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9629/1/Base%20industrial%20de%20defesa.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília: Ministério da Defesa, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/estado-maior/estrategia-nacional-de-defesa>. Acesso em: 8 jun. 2025.

BRASIL. Senado Federal. **Proposta destina mínimo anual de 2% do PIB para Defesa Nacional**. Rádio Senado, 1 nov. 2023. Disponível em:

<https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2023/11/01/proposta-destina-minimo-anual-de-2-do-pib-para-defesa-nacional>. Acesso em: 6 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Execução orçamentária dos orçamentos fiscal e da seguridade social do Ministério da Defesa**. 2025. Disponível em:

<https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/orcamento-e-financas-1/arquivos/10-atualiza-consolidado-2016-a-2025-v-ascom-dot-atualizada-e-empenhadas-outubro.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

CRS (CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE). **Defense Advanced Research Projects Agency: overview and issues for Congress**. Washington, 2021. Disponível em: <https://www.congress.gov/crs-products/2021/R45088>. Acesso em: 5 jul. 2025.

DARPA (DEFENSE ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY). **Agency Financial Report, FY 2024**. Arlington, VA: DARPA, 2024. Disponível em:

<https://www.darpa.mil/sites/default/files/attachment/2024-11/darpa-2024-afr-final.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2025.

ETZKOWITZ, Henry; ZHOU, Chunyan. Tríplice Hélice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 90, p. 23-48, 2017.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/4gMzWdcjVXCMp5XyNbGYDMQ/?lang=pt>. Acesso em: 5 jul. 2025.

MACROTRENDS. **Brazil military spending/defense budget (1960–2023)**. 2024.

Disponível em: <https://www.macrotrends.net/countries/BRA/brazil/military-spending-defense-budget>. Acesso em: 8 jun. 2025.

MATOS, Patrícia de Oliveira; FERREIRA, Marcos José Barbieri. Indústria aeroespacial brasileira: especificidades e contrastes entre os setores aeronáutico e espacial. **Revista Brasileira de Estudos Estratégicos**, v. 12, n. 23, 2020. Disponível em: est.uff.br/index.php/rest/article/view/208. Acesso em: 5 jul. 2025.

MELO, Regiane de. **Indústria de defesa e desenvolvimento estratégico: estudo comparado França-Brasil**. Brasília: FUNAG, 2015. Disponível em:

https://funag.gov.br/biblioteca-nova/produto/loc_pdf/121/1/industria_de_defesa_e_desenvolvimento_estrategico%3A_estudo_comparado_franca-brasil. Acesso em: 5 jul. 2025.

MOURA, Leonardo Victor Alves. **Processos de gestão do ciclo de vida nas fases de operação e apoio: a abordagem do apoio em serviço para alcançar a efetividade operacional**. 2022. Dissertação (Curso de Estado-Maior para Oficiais Superiores) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <http://www.egn.mar.mil.br>. Acesso em: 5 jul. 2025.

OTAN. **Defence expenditures and NATO's 5% commitment**. [S.l.], 2025. Disponível em: https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_49198.htm. Acesso em: 6 jul. 2025.

SIPRI. **Military Expenditure Database (1949–2024)**. Stockholm:Stockholm International Peace Research Institute. 2024. Disponível em: <https://sipri.org/databases/milex>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SOUZA, César Oliveira de. **A Marinha do Brasil e o desenvolvimento da BID: uma análise à luz da teoria do planejamento estratégico e do modelo do Tríplice Hélice**. 2022. Dissertação (Curso de Estado-Maior para Oficiais Superiores) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <http://www.egn.mar.mil.br>. Acesso em: 5 jul. 2025.