FGV EBAPE

RAP
REVISTA DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA

Artigo

Sistemas de apoio à decisão na gestão da inovação de defesa em países em desenvolvimento: um estudo de caso do Exército Brasileiro

Rômullo Girardi [1] *

Juraci Ferreira Galdino [1]

Paulo César Pellanda [1]

* Autor Correspondente

[1] Instituto Militar de Engenharia / Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Defesa, Rio de Janeiro – RJ, Brasil

A gestão da inovação no setor de defesa é um processo estratégico e desafiador, sobretudo em países em desenvolvimento, onde a dependência tecnológica e deficiências estruturais impõem barreiras adicionais. Este artigo apresenta a implementação e validação de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) voltado à gestão da inovação no Exército Brasileiro (EB) – o InovaEB. Baseado na ontologia InovaDefesa, o sistema fundamenta a discussão sobre benefícios do uso de um SAD na fase inicial do processo de inovação militar em países em desenvolvimento. O estudo de caso foca na atuação do Departamento de Ciência e Tecnologia do EB, com ênfase no mapeamento tecnológico do Sistema de Artilharia de Campanha. A solução proposta é replicável em outros projetos das Forças Armadas ou de nações com contexto semelhante. Os principais resultados incluem: (i) criação de plataforma integrada para alinhar demandas tecnológicas e capacidades da Base Industrial de Defesa; (ii) adoção da avaliação de prontidão tecnológica baseada na escala TRL (*Technology Readiness Levels*), minimizando ambiguidades na definição de estágios de maturação tecnológica e promovendo melhor comunicação entre atores envolvidos; (iii) elaboração de planos de ação com base na análise combinada dos aspectos criticidade e prontidão; (iv) incorporação do aspecto dualidade tecnológica na captação de recursos extraorçamentários para Pesquisa e Desenvolvimento (P&D); e (v) roteirização tecnológica para maximizar o conteúdo nacional dos projetos ao longo do tempo. O SAD InovaEB foi validado por 225 especialistas, apresentando alto nível de concordância quanto à completude, abrangência, utilidade, consistência e compreensibilidade da ferramenta.

Palavras-chave: gestão da inovação; sistema de apoio à decisão; defesa; países em desenvolvimento; Exército Brasileiro.

ISSN: 1982-3134

DOI: https://doi.org/10.1590/0034-761220250327

Artigo submetido em 08 de agosto de 2025 e aceito para publicação em 23 de janeiro de 2026.

Editor-chefe:

Gregory Michener (Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro / RJ – Brasil)

Editora adjunta:

Gabriela Spanghero Lotta (Fundação Getulio Vargas, São Paulo / SP – Brasil)

Pareceristas:

Taciana Jerônimo (Universidade Federal de Pernambuco, Recife / PE – Brasil)

Carlos Eduardo Franco Azevedo (Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro/ RJ – Brasil)

Um dos pareceristas não autorizou a divulgação de sua identidade.

Relatório de revisão por pares:

O relatório de revisão por pares está disponível neste link
https://periodicos.fgv.br/rap/article/view/97069/90457

Sistemas de soporte a la toma de decisiones en la gestión de la innovación en defensa en países en desarrollo: un estudio de caso del Ejército brasileño

La gestión de la innovación en el sector de defensa es un proceso estratégico y complejo, especialmente en los países en desarrollo, donde la dependencia tecnológica y las deficiencias estructurales imponen barreras adicionales. Este artículo presenta la implementación y validación de un Sistema de Soporte a la Toma de Decisiones (SSTD) orientado a la gestión de la innovación en el Ejército brasileño (EB): InovaEB. Basado en la ontología InovaDefesa, el sistema respalda el análisis de los beneficios del uso de un SSTD en la fase inicial del proceso de innovación militar en países en desarrollo. El estudio de caso se centra en las actividades del Departamento de Ciencia y Tecnología (DCT) del Ejército brasileño, con énfasis en el mapeo tecnológico del Sistema de Artillería de Campaña (SAC). La solución propuesta es replicable en otros proyectos de las Fuerzas Armadas o en naciones con un contexto similar. Los principales resultados incluyen: (i) creación de una plataforma integrada para alinear las demandas tecnológicas y capacidades de la Base Industrial de Defensa (BID); (ii) adopción de la Evaluación de Madurez Tecnológica (EMT) basada en la escala TRL (Niveles de Madurez Tecnológica), minimizando las ambigüedades en la definición de las etapas de madurez tecnológica y promoviendo una mejor comunicación entre los actores involucrados; (iii) desarrollo de planes de acción basados en un análisis combinado de los aspectos de criticidad y madurez; (iv) incorporación del aspecto de dualidad tecnológica en la captación de recursos extrapresupuestarios para Investigación y Desarrollo (I+D); y (v) elaboración de hojas de ruta tecnológicas para maximizar el contenido nacional de los proyectos a lo largo del tiempo. El sistema SSTD InovaEB fue validado por 225 especialistas, quienes mostraron un alto nivel de acuerdo con respecto a la exhaustividad, amplitud, utilidad, coherencia y comprensibilidad de la herramienta.
Palabras clave: gestión de la innovación; sistema de soporte a la toma de decisiones; defensa; países en desarrollo; Ejército Brasileño.

Decision support systems in defense innovation management in developing countries: a case study of the Brazilian Army

Innovation management in the defense sector is a strategic and challenging process, especially in developing countries, where technological dependence and structural deficiencies impose additional barriers. This article presents the implementation and validation of a decision support system (DSS) aimed at innovation management in the Brazilian Army (*Exército Brasileiro* – EB) – InovaEB. Based on the "InovaDefesa" ontology, the system underpins the discussion on the benefits of using a DSS in the initial phase of the military innovation process in developing countries. The case study focuses on the activities of the Department of Science and Technology (DCT) of the Brazilian Army, with emphasis on the technological mapping of the Field Artillery System (*Sistema de Artilharia de Campanha* – SAC). The proposed solution is replicable in other projects of the Armed Forces or in nations with a similar context. The main results include: (i) the creation of an integrated platform to align technological demands and capabilities of the defense industrial base (DIB); (ii) the adoption of technology readiness assessment (TRA) based on the technology readiness levels (TRL) scale, minimizing ambiguities in defining stages of technological maturity and promoting better communication among involved actors; (iii) the development of action plans based on a combined analysis of criticality and readiness aspects; (iv) the incorporation of the technological duality aspect in attracting extra-budgetary resources for research and development; and (v) technology roadmapping to maximize the national content of projects over time. The DSS InovaEB was validated by 225 specialists, showing a high level of agreement regarding the completeness, comprehensiveness, utility, consistency, and understandability of the tool.
Keywords: innovation management; decision support system; defense; developing countries; Brazilian Army.

1. INTRODUÇÃO

A gestão da inovação é um processo complexo e estruturado, que vai da identificação de oportunidades e ideias à implementação de novos produtos e processos (Tidd & Bessant, 2020). No setor militar, a gestão da inovação exige constante adaptação e acúmulo de capacidades, dados os avanços tecnológicos e a busca por vantagem estratégica (Figueiredo, 2009; Girardi et al., 2024b). Em países em desenvolvimento, como o Brasil, a dependência de tecnologias importadas e a fragilidade do sistema setorial de inovação de defesa agravam esse contexto (Schons et al., 2022).

A identificação, priorização e incorporação de tecnologias críticas em projetos estratégicos de defesa trazem desafios complexos, especialmente em contextos que operam sob limitações organizacionais, orçamentárias e informacionais (Irfan et al., 2023). Tais fatores comprometem a capacidade de transformar necessidades operacionais em soluções tecnológicas viáveis, demandando ferramentas que auxiliem na sistematização e integração dessas dimensões no início do processo de inovação – fase que se caracteriza por alta incerteza, ambiguidade informacional e forte influência nos resultados subsequentes (Oliveira et al., 2024).

Nessa perspectiva, Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) têm se mostrado úteis para otimizar a gestão da inovação. O emprego de SAD nesse contexto permite a integração sistemática de dados fragmentados e dispersos, bem como a adoção de mecanismos robustos de identificação e priorização de demandas e ofertas tecnológicas (Havins, 2020). Esse suporte sistêmico propicia um processo de tomada de decisão mais estruturado, minimizando incertezas e orientando o equilíbrio entre Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) autóctone e importação de tecnologias disponíveis (Girardi et al., 2024a).

Em setores sensíveis como a defesa, cresce o uso de soluções *theory-driven* que combinem representação estruturada do conhecimento com apoio computacional à decisão (Guizzardi et al., 2023; Stanford University, 2025). Ontologias se destacam nesse contexto, formalizando domínios complexos e integrando múltiplas perspectivas – técnicas, operacionais, institucionais e estratégicas – em modelos de representação verificáveis e reutilizáveis (Guizzardi & Guarino, 2024; Noy & McGuinness, 2001), com crescente aplicação na fase inicial do processo de inovação (Castro & Ferreira, 2023; Pereira et al., 2020).

Apesar da crescente importância da inovação e da defesa nacional, a literatura sobre gestão da inovação de defesa em países em desenvolvimento é notavelmente limitada. Enquanto estudos abordam inovação em contextos gerais (Schilling, 2013; Tidd & Bessant, 2020; Trott, 2021) e inovação de defesa em nações desenvolvidas (Briones-Peñalver et al., 2020; Van Lamoen et al., 2024), persiste uma lacuna significativa sobre como países em desenvolvimento – por exemplo, o Brasil – podem gerenciar eficazmente a inovação de defesa, superando restrições orçamentárias, falta de articulação e dependência tecnológica. Nesse intento, a escolha de abordagens com emprego de SAD baseados em modelos ontológicos justifica-se pela sua capacidade de integrar múltiplas fontes de dados e conhecimentos fragmentados, garantindo consistência semântica e facilitando a recuperação e inferência de informações relevantes.

Inserido nesse contexto, o objetivo geral deste artigo é apresentar o processo de desenvolvimento e avaliação de um SAD baseado em ontologia para apoiar decisões sobre gestão da inovação de defesa em países em desenvolvimento. Em outras palavras, o artigo busca responder à seguinte questão de pesquisa: como um SAD baseado em modelo ontológico pode otimizar a gestão da inovação nas fases iniciais de desenvolvimento tecnológico em organizações de defesa em países em desenvolvimento?

Balizado pelo objetivo geral, a pesquisa busca alcançar os seguintes objetivos específicos: (i) apresentar as fases de implementação do SAD InovaEB, que instancia o modelo da ontologia InovaDefesa e seus métodos analíticos; (ii) aplicar o sistema a um estudo de caso real para demonstrar sua viabilidade prática; (iii) demonstrar o valor prático do SAD por meio de comparação entre recomendações do sistema e ações reais tomadas pela organização; e (iv) validar a ferramenta com uma amostra de especialistas.

A implementação do SAD objeto deste estudo, o SAD InovaEB, é fundamentada na ontologia InovaDefesa, cujo modelo foi concebido para representar a fase inicial do processo de inovação militar,

integrando conceitos e adaptando métodos para as peculiaridades de países em desenvolvimento (Girardi et al., no prelo). O InovaEB emprega esse modelo para instanciar um SAD para o Exército Brasileiro (EB), auxiliando no mapeamento, na análise e roteirização de tecnologias em projetos de obtenção de Sistemas e Materiais de Emprego Militar (SMEM).

Nesse diapasão, a pesquisa utiliza como estudo de caso a atuação do Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) do EB na obtenção de SMEM dessa Força Armada, com enfoque na fase conceitual de mapeamento de tecnologias. Particularmente, explora-se o mapa tecnológico do Sistema de Artilharia de Campanha (SAC), uma arquitetura física complexa que combina componentes de diferentes domínios tecnológicos. Ao servir de base para o esforço de investigação, o estudo de caso apresenta uma solução original que pode ser replicada em outros projetos das Forças Armadas ou de nações com contexto semelhante. Essa solução foi validada por meio de um levantamento com 225 especialistas, apresentando alto nível de concordância em termos de completude, abrangência, utilidade, consistência e compreensibilidade da ferramenta.

A continuidade do artigo está assim organizada. A seção 2 estabelece o referencial teórico, discutindo conceitos centrais da administração pública e da gestão da inovação de defesa. A seção 3 descreve os procedimentos metodológicos adotados, detalhando a instanciação da ontologia InovaDefesa no SAD InovaEB e a combinação das abordagens *Design Science Research* (DSR), estudo de caso e *survey*. A seção 4, por sua vez, apresenta e analisa os resultados do estudo de caso, demonstrando como o sistema opera, como seus resultados se comparam às práticas observadas e como sua utilidade foi validada empiricamente. A seção 5 discute esses achados à luz da literatura de administração pública, explorando suas implicações e limitações. Por fim, a seção 6 sintetiza as principais conclusões, apontando direções para pesquisas futuras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Administração pública

A gestão no setor público apresenta especificidades que a diferenciam substancialmente do contexto privado, em especial no que se refere à racionalidade decisória, aos mecanismos de coordenação organizacional, à natureza do conhecimento mobilizado e às condições institucionais para inovação. Em organizações públicas complexas – como as Forças Armadas – esses desafios são amplificados por estruturas hierárquicas rígidas, múltiplas partes interessadas e forte dependência de conhecimento tácito especializado. Nesse contexto, sistemas formais de Gestão do Conhecimento (GC), suporte à decisão e integração organizacional tornam-se elementos críticos para viabilizar processos inovadores de forma consistente e transparente.

2.1.1 Gestão do conhecimento em organizações públicas

A GC refere-se aos processos sistemáticos de criação, captura, organização, compartilhamento e aplicação do conhecimento organizacional. Em organizações públicas, a GC assume papel estratégico ao mitigar a perda de conhecimento institucional, reduzir assimetrias informacionais e apoiar a continuidade administrativa diante da rotatividade de pessoal e das mudanças políticas.

Nonaka e Takeuchi (1996) distinguem conhecimento tácito – incorporado à experiência individual – e conhecimento explícito – formalizado em documentos, modelos ou sistemas. O modelo SECI

(Socialização, Externalização, Combinação e Internalização) destaca a externalização como etapa crítica para transformar conhecimento tácito em artefatos compartilháveis (Nonaka & Takeuchi, 1996). Em organizações públicas, essa etapa enfrenta barreiras adicionais, como cultura burocrática, silos organizacionais e baixa propensão ao compartilhamento intersetorial (Lemmettylä & Kinnunen, 2025).

Davenport e Prusak (1998) reforçam que o conhecimento organizacional só gera valor quando integrado a processos decisórios e sistemas de informação que permitam sua reutilização. No setor público, isso implica a adoção de mecanismos formais capazes de capturar experiências operacionais, lições aprendidas e avaliações técnicas, transformando-as em insumos estruturados para políticas e decisões futuras (Wiig, 2002).

No contexto da defesa, grande parte do conhecimento relevante à inovação – como avaliações de maturidade tecnológica, riscos operacionais e critérios de criticidade – permanece disperso entre especialistas. A formalização desse conhecimento em modelos estruturados e sistemas de apoio à decisão constitui, portanto, uma estratégia de GC orientada à redução da dependência de indivíduos específicos e ao fortalecimento da capacidade organizacional de longo prazo (Girardi, 2024; Van Lamoen et al., 2024).

2.1.2 Suporte à decisão na administração pública

A tomada de decisão em organizações públicas ocorre sob condições de elevada complexidade, incerteza e restrições institucionais. Simon (1956) introduz o conceito de racionalidade limitada, segundo o qual decisores não dispõem de informações completas nem capacidade cognitiva plena para avaliar todas as alternativas possíveis, recorrendo a heurísticas e satisfações aceitáveis.

Nesse cenário, os sistemas de apoio à decisão emergem como instrumentos fundamentais para ampliar a qualidade das decisões públicas, sem substituir o julgamento humano. Keen e Morton (1978) concebem os SAD como sistemas interativos que combinam dados, modelos analíticos e interfaces amigáveis para apoiar decisões estruturadas. Sprague e Carlson (1982) reforçam que o valor dos SAD reside na capacidade de integrar múltiplas perspectivas, tornar explícitos critérios de decisão e reduzir ambiguidades informacionais.

Na administração pública, o uso de SAD contribui para maior transparência, rastreabilidade e coerência decisória, aspectos particularmente relevantes em contextos sujeitos a controle externo e *accountability*. Além disso, SAD permitem lidar com conflitos entre objetivos estratégicos, limitações orçamentárias e riscos políticos, oferecendo suporte analítico para decisões que envolvem equilíbrios complexos (Goyal et al., 2025).

No setor de defesa, decisões relacionadas à inovação tecnológica envolvem altos custos, longos horizontes temporais e impactos estratégicos significativos (Girardi et al., 2024b). A adoção de SAD permite estruturar uma análise baseada em critérios, reduzindo a dependência de decisões descentralizadas e fortalecendo a governança da inovação (Saratikyan, 2025).

2.1.3 Integração organizacional

A integração organizacional refere-se à capacidade de coordenar atividades, fluxos de informação e decisões entre unidades diferenciadas de uma organização. Lawrence e Lorsch (1967) demonstram que ambientes complexos demandam altos níveis simultâneos de diferenciação – especialização funcional – e integração – mecanismos de coordenação entre especialidades.

Thompson (1967) complementa essa abordagem ao destacar que organizações operam sob diferentes tipos de interdependência (agrupada/comum, sequencial e recíproca), exigindo estruturas e sistemas capazes de articular essas relações de forma eficiente (Thompson, 1967). Em organizações públicas complexas, a ausência de mecanismos integradores tende a gerar redundâncias, conflitos de prioridade e perda de coerência estratégica (Pudjono et al., 2025).

No setor público, a integração é frequentemente dificultada por estruturas hierárquicas fragmentadas, marcos regulatórios rígidos e ausência de sistemas transversais de informação. Sistemas baseados em modelos conceituais compartilhados – como ontologias – podem atuar como artefatos integradores, alinhando linguagens, critérios e processos entre diferentes áreas organizacionais (Guizzardi & Guarino, 2024).

No contexto da inovação de defesa, a integração entre áreas operacionais, técnicas, industriais e estratégicas é essencial para alinhar demandas militares, capacidades tecnológicas e políticas públicas de longo prazo (Azevedo et al., 2021). Sistemas de apoio à decisão baseados em representação estruturada do conhecimento oferecem um meio formal para integrar essas múltiplas perspectivas em um mesmo ambiente decisório (Guizzardi & Guarino, 2024).

2.1.4 Inovação na administração pública

A inovação no setor público difere substancialmente da inovação no setor privado, tanto em seus objetivos quanto em seus mecanismos de incentivo. Mulgan (2014) define inovação pública como a criação e implementação de novos processos, serviços ou formas organizacionais que gerem valor público, ainda que não produzam retorno financeiro direto.

Windrum (2008) destaca que a inovação pública ocorre em ambientes institucionais densos, marcados por múltiplas partes interessadas, regras formais e pressões políticas. Osborne e Brown (2011) reforçam que a inovação em serviços públicos é frequentemente incremental, orientada à melhoria de capacidades e fortemente dependente de coordenação interorganizacional.

No setor de defesa, essas características são ainda mais pronunciadas. A inovação ocorre sob forte regulação estatal, envolve tecnologias sensíveis e apresenta elevada dependência de políticas industriais e científicas nacionais (Schons et al., 2020). A inovação de defesa está diretamente associada à construção de autonomia tecnológica, ao fortalecimento da base industrial de defesa e à superação de dependências externas (Azevedo et al., 2021).

Nesse contexto, a gestão da inovação pública demanda instrumentos capazes de lidar com incertezas tecnológicas, riscos estratégicos e horizontes temporais extensos. Sistemas de apoio à decisão, integrados a práticas de gestão do conhecimento e a mecanismos de coordenação organizacional, tornam-se essenciais para estruturar o início do processo de inovação e orientar escolhas tecnológicas coerentes com políticas públicas de longo prazo (U.S. Government Accountability Office, 2020; U.S. Joint Chiefs of Staff, 2018).

2.2 Gestão da inovação de defesa em países em desenvolvimento

A gestão da inovação é um processo organizacional que abarca desde a identificação de oportunidades e ideias até a implementação de novos produtos e processos (Tidd & Bessant, 2020). Dentre suas fases, destaca-se o *Front End* da Inovação (FEI), que compreende atividades preliminares à estruturação

formal do desenvolvimento tecnológico (Koen et al., 2002, 2011), sendo caracterizado por alta incerteza e forte influência nas etapas subsequentes (Oliveira et al., 2024).

No setor militar, o FEI torna-se ainda mais complexo por operar sob regulação estatal, orçamento público, influência geopolítica, alta concentração industrial e tecnologias sensíveis e de uso dual (Girardi et al., 2024b). Ademais, a gestão da inovação nesse setor exige a busca por equilíbrio entre P&D autóctone e importação de tecnologias disponíveis (Girardi et al., 2024a). Dessa forma, no âmbito da gestão tecnológica de defesa, destacam-se conceitos como dualidade, cerceamento, criticidade e prontidão.

A dualidade tecnológica refere-se à possibilidade de uma tecnologia possuir aplicações civis e militares simultaneamente (Amarante, 2013; Brustolin, 2014; Orlikowski, 1992), sendo frequentemente utilizada por países em desenvolvimento como estratégia para viabilizar investimentos, parcerias e acesso a financiamentos (Girardi & Galdino, 2024). O cerceamento tecnológico compreende práticas formais e informais – como controles de exportação, cláusulas contratuais restritivas e pressões diplomáticas – que limitam o acesso a tecnologias sensíveis e afetam diretamente a autonomia estratégica nacional (Moreira, 2013). Já a criticidade tecnológica expressa o grau de relevância de uma tecnologia em um contexto nacional específico, considerando critérios como alinhamento estratégico e grau de novidade e de autonomia tecnológica (Girardi et al., 2024a). Por fim, a prontidão tecnológica, usualmente mensurada com o apoio da escala TRL (*Technology Readiness Levels*), indica o nível de maturidade de uma tecnologia no contexto de um produto-alvo e constitui elemento central para a avaliação de riscos, custos e prazos em projetos tecnológicos de alta complexidade (Girardi et al., 2022a; Mankins, 1995; Phaal et al., 2004).

As abordagens nacionais de gestão da inovação de defesa são heterogêneas, com estruturas e nomenclaturas próprias (Australian Department of Defence, 2022; Exército Brasileiro, 2024a; Indian Ministry of Defence, 2020; South African Department of Defence, 2015; U.K. Ministry of Defence, 2019; U.S. Department of Defense, 2020). Iniciativas de padronização concentram-se em alianças militares, como o *NATO Architecture Framework* (NAF) (NATO, 2025), derivado do *Department of Defense Architecture Framework* (DODAF) (U.S. Department of Defense, 2010) e focado na interoperabilidade entre sistemas, sem abarcar a gestão de oportunidades tecnológicas no processo de inovação.

Apesar de heterogêneo, nas grandes potências, o desenvolvimento de capacidades tecnológicas de defesa é conduzido por meio de bases industriais consolidadas e sistemas de inovação estruturados (Caverley, 2023; Liwång et al., 2023). Já em países em desenvolvimento, persiste uma lacuna de conhecimento técnico para alcançar a fronteira tecnológica (Figueiredo et al., 2021), agravada por uma base industrial modesta e dependência de sistemas militares importados (Galdino & Schons, 2022). Essa dependência representa risco à segurança nacional diante de possíveis ações de cerceamento tecnológico (Moreira, 2013).

Nessa perspectiva, no domínio da defesa, o termo "países em desenvolvimento" ultrapassa classificações macroeconômicas tradicionais, devendo incorporar variáveis como capacidade tecnológica, autonomia industrial e robustez da base industrial de defesa. Países como China e Índia, embora historicamente classificados como em desenvolvimento (United Nations, 2022), realizaram investimentos contínuos e estratégicos em P&D militar, consolidando ecossistemas nacionais de inovação, políticas industriais ativas e mecanismos de aprendizado tecnológico de longo prazo (Barton, 2021; Indian Ministry of Defence, 2020; Liang et al., 2025). Em contraste, países como o Brasil

apresentam investimentos mais intermitentes, descontinuidades institucionais e maior dependência de fornecedores externos em setores críticos, o que limita a consolidação de trajetórias tecnológicas consistentes e sustentáveis (Azevedo et al., 2021).

Essa heterogeneidade interna entre países em desenvolvimento é central para compreender os diferentes desafios enfrentados na gestão da inovação de defesa. Nesse sentido, no contexto de Forças Armadas de países em desenvolvimento, faz-se premente o entendimento do início do processo de inovação militar, no sentido de conciliar estratégias de curto, médio e longo prazo no desenvolvimento e acúmulo de capacidades tecnológicas de defesa (Figueiredo, 2009; França & Galdino, 2022).

Por fim, cabe destacar que conflitos recentes têm evidenciado limites estruturais dos modelos tradicionais de inovação militar, baseados em ciclos longos de aquisição, planejamento centralizado e previsibilidade estratégica (U.S. Department of Defense, 2020; U.S. Joint Chiefs of Staff, 2018). A guerra na Ucrânia tem demonstrado a importância de capacidades de adaptação rápida, integração de tecnologias comerciais – como drones, sensores e comunicações – e aprendizado organizacional contínuo (Minculete, 2025). De modo semelhante, o conflito Israel-Palestina ressaltou a centralidade de sistemas integrados de inteligência, comando e controle, bem como os limites da superioridade tecnológica dissociada de coordenação organizacional (Rawat & Pandey, 2025). Já as tensões entre Índia e Paquistão evidenciam como países com diferentes níveis de maturidade industrial enfrentam desafios assimétricos relacionados à autonomia tecnológica e à gestão de riscos estratégicos (Javed & Altaf, 2024). Esses conflitos têm impulsionado uma transição para modelos de inovação militar mais sistêmicos, modulares e orientados por dados, nos quais a priorização de tecnologias críticas, a avaliação contínua de prontidão e a mitigação de vulnerabilidades tornam-se elementos centrais do processo decisório.

2.3 Sistemas de apoio à decisão baseados em ontologias

Decision Support Systems (DSS) – ou SAD, na sigla em português – são sistemas computacionais interativos concebidos para apoiar gestores em problemas semiestruturados ou não estruturados, ampliando a qualidade, consistência e transparência das decisões organizacionais (Sprague & Carlson, 1982). Diferentemente de sistemas transacionais, os SAD integram dados, modelos analíticos e conhecimento especializado, permitindo explorar cenários, reduzir incertezas e apoiar julgamentos sob racionalidade limitada (Keen & Morton, 1978; Power, 2002). Na administração pública, esses sistemas são especialmente relevantes em contextos caracterizados por múltiplos objetivos, restrições orçamentárias, elevada incerteza tecnológica e forte assimetria de informações entre atores institucionais (Arnott & Pervan, 2005).

No campo da pesquisa em SAD, diferentes tipologias têm sido propostas para classificar esses sistemas segundo sua lógica predominante de funcionamento. Power (2002) distingue, entre outros, SAD orientados a dados (*data-driven*), a modelos (*model-driven*) e ao conhecimento (*knowledge-driven*). Os SAD baseados em ontologias inserem-se majoritariamente nesta última categoria, pois utilizam representações formais de conhecimento para apoiar inferência, raciocínio automatizado e integração semântica entre informações heterogêneas (Guizzardi et al., 2023).

Essa característica os diferencia de ferramentas tradicionais de *Business Intelligence* (BI) – conjunto de métodos e ferramentas voltados à coleta, integração e visualização de dados históricos estruturados, com foco em análises descritivas e diagnósticas para apoio ao monitoramento e ao controle gerencial

nas organizações (Sharda et al., 2020) – ou *Analytics* – abordagem analítica que amplia o escopo do BI ao empregar modelos estatísticos, matemáticos e computacionais para análises preditivas e prescritivas, apoiando decisões mais complexas e orientadas ao futuro (Sharda et al., 2020) –, que se concentram na análise de dados históricos, mas não incorporam explicitamente o significado, as relações e as restrições conceituais do domínio decisório.

Uma ontologia pode ser compreendida como uma representação formal, explícita e compartilhada de um domínio de conhecimento, que define: (i) os conceitos relevantes, (ii) suas propriedades e (iii) as relações entre eles (Gruber, 1995; Noy & McGuinness, 2001). Diferentemente de um banco de dados, que armazena dados sem semântica explícita, ou de uma taxonomia, que apenas organiza conceitos de forma hierárquica, uma ontologia possibilita que sistemas computacionais realizem raciocínio automatizado sobre o domínio, inferindo relações, identificando inconsistências e apoiando decisões complexas (Guizzardi & Guarino, 2024). Essa capacidade é central em contextos organizacionais nos quais decisões dependem da articulação de múltiplos critérios, perspectivas e níveis de análise.

Do ponto de vista da gestão do conhecimento, ontologias desempenham um papel fundamental ao apoiar a externalização e a combinação do conhecimento organizacional, conforme descrito no modelo SECI (Nonaka, 1994; Nonaka & Takeuchi, 1996). Ao formalizar conceitos, relações e regras que antes estavam dispersos em documentos, práticas ou no conhecimento tácito de especialistas, ontologias contribuem para reduzir ambiguidades, preservar memória organizacional e facilitar o compartilhamento de conhecimento entre diferentes unidades e gerações de decisores (Davenport & Prusak, 1998). Em organizações públicas, essa característica é particularmente relevante diante da rotatividade de pessoal, da fragmentação institucional e da necessidade de decisões justificáveis e auditáveis.

No setor de defesa, a aplicação de SAD baseados em ontologias apresenta vantagens adicionais. A gestão da inovação militar envolve tecnologias complexas, ciclos longos de desenvolvimento, múltiplos atores e forte dependência de julgamentos especializados, frequentemente sujeitos a restrições de acesso à informação e a cerceamentos tecnológicos (Girardi et al., 2024b). Ontologias permitem integrar dados técnicos, critérios estratégicos, avaliações de risco e níveis de maturidade tecnológica em uma estrutura semântica coerente, favorecendo análises comparativas, priorização de tecnologias críticas e apoio consistente à tomada de decisão (Guizzardi & Guarino, 2024).

Apesar dessas potencialidades, aplicações de SAD baseados em ontologias no contexto militar ainda são pouco exploradas na literatura acadêmica, especialmente no contexto de países em desenvolvimento. Essa lacuna reforça a relevância de abordagens que combinem rigor conceitual, fundamentação em administração pública e aderência às especificidades do setor de defesa. Nesse sentido, a proposta de SAD baseados em ontologias busca estruturar o conhecimento necessário para decisões estratégicas, permitindo raciocínio automatizado, redução de incertezas e maior alinhamento entre decisões tecnológicas e objetivos institucionais.

3. METODOLOGIA

3.1 Abordagem metodológica da pesquisa

Esta pesquisa adota como abordagem metodológica central a DSR, apropriada para estudos cujo objetivo é projetar, desenvolver e avaliar artefatos capazes de resolver problemas organizacionais reais, combinando rigor científico e relevância prática (Gregor & Hevner, 2013; Vaishnavi et al., 2021). Diferentemente de abordagens exclusivamente explanatórias ou descritivas, a DSR parte de um problema concreto e busca gerar conhecimento por meio da construção e validação de artefatos, na forma de constructos, modelos, métodos ou instanciações (Hevner et al., 2004; March & Smith, 1995).

No contexto deste estudo, o problema de pesquisa refere-se à gestão da inovação de defesa em países em desenvolvimento, caracterizada por elevada complexidade organizacional, conhecimento disperso, incerteza tecnológica e restrições institucionais. O objetivo da pesquisa é, portanto, desenvolver e avaliar um SAD capaz de estruturar o conhecimento associado às fases iniciais do processo de inovação militar, apoiando decisões relacionadas à priorização, maturação e roteirização tecnológica.

O delineamento geral da pesquisa articula três componentes metodológicos de forma complementar:

1. *Design science research*, como abordagem metodológica global da pesquisa para apoiar o desenvolvimento dos artefatos – modelo (ontologia InovaDefesa) e sua instanciação (SAD InovaEB).

2. Estudo de caso, para apoiar o desenvolvimento do SAD InovaEB aplicado a um contexto organizacional real.

3. *Survey*, para avaliar o SAD InovaEB junto a uma amostra de especialistas.

Essa combinação é consistente com práticas consolidadas em pesquisas DSR aplicadas à administração e aos sistemas de informação (Hevner et al., 2004; Peffers et al., 2007).

3.2 Aplicação do ciclo DSR

O desenvolvimento da ontologia InovaDefesa e de sua instanciação no SAD InovaEB seguiu um processo metodológico estruturado e iterativo, inspirado em abordagens consolidadas de engenharia ontológica e DSR, conforme ilustrado na Figura 1. A estratégia adotada foi similar à utilizada em ontologias integrativas do FEI, buscando assegurar coerência conceitual, aderência ao domínio de defesa e aplicabilidade prática (Noy & McGuinness, 2001; Pereira et al., 2020; Suárez-Figueroa et al., 2009).

Inicialmente, foi conduzido um estudo de viabilidade, fundamentado em uma revisão da literatura, que evidenciou a relevância de uma representação comum do conhecimento associado à fase inicial do processo inovativo militar, especialmente considerando as peculiaridades de países em desenvolvimento. Essa etapa permitiu identificar modelos seminais do FEI, ontologias existentes, referências do setor de defesa e lacunas conceituais que orientaram a definição do escopo da ontologia (Girardi et al., 2024b; Girardi et al., no prelo).

Na sequência, ocorreu a construção da ontologia InovaDefesa, precedida pela elaboração da Especificação de Requisitos Ontológicos (*Ontology Requirements Specification* – ORS), contemplando propósito, escopo, usuários, usos pretendidos e requisitos funcionais e não funcionais (Suárez-Figueroa et al., 2009). A ontologia foi desenvolvida com base na Metodologia 101, resultando em um modelo integrativo de representação do conhecimento associado ao FEI no setor de defesa de países em desenvolvimento (Noy & McGuinness, 2001).

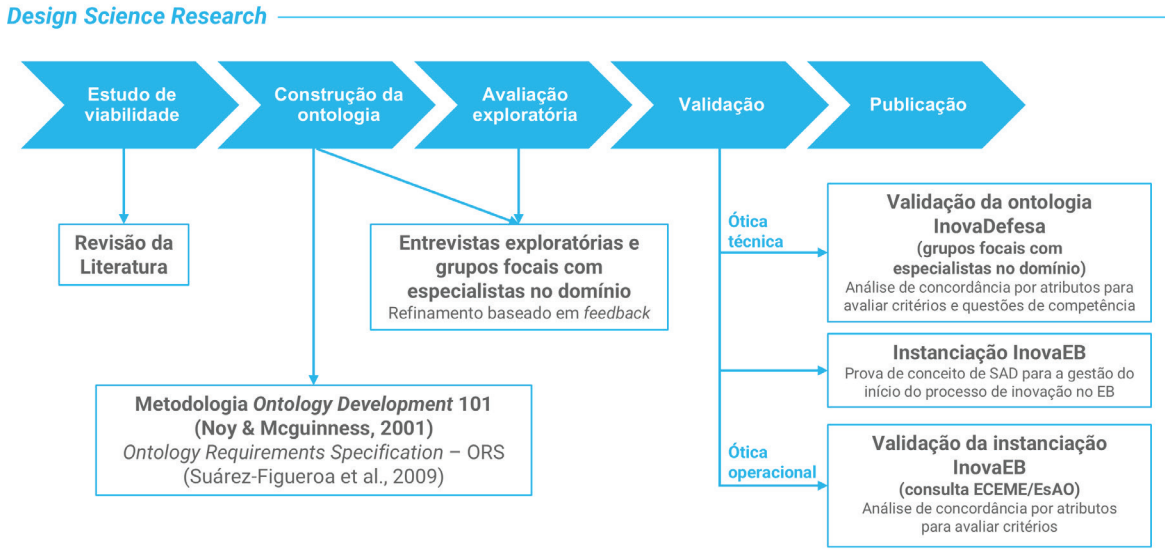
A estrutura do modelo organiza-se em três macroníveis inspirados no modelo *New Concept Development* (NCD) (Koen et al., 2002) – fatores de influência, motor do FEI e atividades controláveis – conectando conceitos por meio de relações, com métodos embutidos de análise de criticidade tecnológica e mapeamento criticidade vs. prontidão (Girardi et al., no prelo). A modelagem foi realizada com o apoio da *Unified Modeling Language* (UML) – linguagem padronizada de modelagem utilizada para especificar, visualizar e documentar a estrutura e o comportamento de sistemas, permitindo representar de forma objetiva conceitos, relações e processos em projetos de software e modelagem organizacional –, assegurando objetividade conceitual, consistência semântica e base estruturante para a instanciação do sistema de apoio à decisão (Object Management Group, 2015).

Após a construção inicial, realizou-se uma avaliação exploratória, por meio de entrevistas e grupos focais com especialistas acadêmicos e profissionais do setor de defesa, com o objetivo de depurar conceitos, relações e a estrutura do modelo. Esse processo possibilitou o refinamento da ontologia com base em perspectivas complementares, acadêmicas e práticas, reforçando sua validade semântica e utilidade organizacional (Girardi et al., no prelo).

A etapa de validação compreendeu três frentes complementares: (i) validação técnica da ontologia InovaDefesa, baseada em consultas estruturadas a especialistas; (ii) instanciação do modelo da ontologia no SAD InovaEB, uma prova de conceito de sistema aplicada a projetos reais do Exército Brasileiro; e (iii) validação operacional da ferramenta, realizada por meio de um levantamento com 225 participantes.

Por fim, a etapa de comunicação consolidou o ciclo DSR por meio da disseminação dos resultados e artefatos desenvolvidos (Gregor & Hevner, 2013). Ressalta-se, contudo, que o foco do presente artigo está no desenvolvimento, na aplicação e avaliação do SAD InovaEB, enquanto o processo de desenvolvimento e validação do modelo ontológico InovaDefesa, que constitui a base estrutural do sistema, é detalhado em artigo específico (Girardi et al., no prelo), ao qual o presente trabalho se conecta de forma complementar.

FIGURA 1 METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DA ONTOLOGIA INOVADEFESA E SUA INSTANCIAÇÃO INOVAEB



Fonte: Girardi et al. (no prelo).

3.3 Instanciação da ontologia InovaDefesa no SAD InovaEB

O objetivo da pesquisa é desenvolver e avaliar um SAD capaz de estruturar o início do processo de inovação militar, apoiando decisões relacionadas à priorização, maturação e roteirização tecnológica. Para tal, utilizou-se como estudo de caso a realização desse processo no âmbito do DCT/EB, mais especificamente na fase conceitual de mapeamento de tecnologias do SAC.

Um estudo de caso consiste na descrição e análise de um fenômeno particular, como uma instituição, um indivíduo, processo, programa ou uma unidade social (Merriam, 1998). Sendo uma metodologia qualitativa, o estudo de caso segue um processo de acordo com as etapas de planejamento, projeto, coleta e análise de dados, com o objetivo de investigar um fenômeno contemporâneo em seu contexto real (Cauchick-Miguel et al., 2018; Yin, 2017).

É importante ressaltar que se trata de um estudo de caso relevante e representativo, uma vez que:

- Se enquadra no processo de gestão da inovação do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército (SCTIEx), uma rede que abrange uma vasta gama de produtos de interesse e envolve uma diversidade de atores, como universidades, empresas de diversos tamanhos, agências de fomento, institutos de pesquisa e os próprios usuários dos produtos desenvolvidos no âmbito da rede (França & Galdino, 2019).
- O projeto do SAC é uma iniciativa do EB para a reestruturação de sua Artilharia de Campanha, inserida inicialmente no programa estratégico Obtenção da Capacidade Operacional Plena (OCOP). Dessa forma, o SAC promove uma integração complexa entre SMEM de diversos

subsistemas, como linha de fogo, observação, topografia, busca de alvos, meteorologia, logística, comunicações, direção de tiro e coordenação de fogos (Alves et al., 2018).

- O SAC foi o primeiro projeto do EB a seguir as fases especificadas na 1ª edição das Instruções Gerais para a Gestão do Ciclo de Vida dos SMEM (EB10-IG-01.018) (Exército Brasileiro, 2016). Por esse motivo, a elaboração de seus requisitos e do mapa de tecnologias (MAPATEC) contou com a colaboração de diversos especialistas operacionais e técnicos (Alves et al., 2018). O MAPATEC é um documento elaborado pela Agência de Gestão e Inovação Tecnológica (AGITEC) do EB que indica as tecnologias necessárias para obtenção de um SMEM, bem como identifica empresas, universidades e institutos de pesquisa em âmbito nacional e internacional que podem ser capazes de fornecer as tecnologias levantadas (Exército Brasileiro, 2016).

A Figura 2 detalha a implementação do sistema InovaEB. Com base em dados secundários – planilhas do MAPATEC do SAC fornecidas pela AGITEC –, foi realizado um processo de *Extract, Transform and Load* (ETL) em uma base de dados estruturados com a utilização da biblioteca pandas da linguagem Python. O processo de ETL é responsável pela extração de dados de diferentes fontes; sua transformação, para garantir consistência, qualidade e padronização; e o carregamento em bases estruturadas para posterior análise em sistemas de apoio à decisão (Sharda et al., 2020).

Destaca-se que a estrutura da base de dados foi fundamentada no modelo da ontologia InovaDefesa. Após o processo de ETL, uma aplicação web foi implementada com o suporte da biblioteca *Streamlit*, também da linguagem Python. A aplicação lê a base de dados e apresenta as informações, métricas e os gráficos necessários para apoiar decisores no início do processo de inovação do EB.

FIGURA 2 PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA INOVAEB



Fonte: Elaborada pelos autores.

Como o MAPATEC é um documento de acesso restrito no âmbito do Exército, o estudo de caso apresenta os dados do SAC sem o detalhamento de informações não ostensivas. Em complemento aos dados do MAPATEC, a pesquisa coletou outros dados secundários – literatura acadêmica, relatórios técnicos, documentos governamentais e registros de notícias – para construir uma análise comparativa entre o cenário possível (caso houvesse uma ferramenta de apoio à decisão na gestão tecnológica do SAC) e o cenário real observado. Dessa forma, apesar da restrição de divulgação de dados do MAPATEC, foi possível analisar e discutir a implementação e os benefícios potenciais da utilização de um SAD no início do processo de inovação de defesa no EB.

Por fim, realizou-se uma etapa de validação do sistema InovaEB. Essa fase de validação ocorreu de 13 de março a 4 de abril de 2025, por meio de um *survey* realizado com 225 alunos da Linha de Ensino Militar Bélico (LEMB) dos cursos da Escola de Comando e Estado-Maior do Exército (ECEME) e da Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais (EsAO). A escolha do público-alvo foi baseada na amostragem intencional (Krueger & Casey, 2014), por se tratar de universo que reúne futuros decisores em processos de obtenção de SMEM do EB.

As interações com os participantes ocorreram de forma assíncrona (Stewart & Shamdasani, 2014), com o envio de um documento de apresentação do sistema e o preenchimento de um formulário de avaliação. A amostra final de 225 avaliações forneceu os resultados que foram processados com base na análise quantitativa de concordância por atributos (Likert, 1932; Pereira et al., 2020) para avaliar o SAD InovaEB quanto aos critérios de completude, abrangência, utilidade, consistência e compreensibilidade (Holsapple & Joshi, 2002).

4. RESULTADOS

4.1 Análise do SAC no sistema InovaEB

Além da página de apresentação do sistema, o SAD InovaEB traz duas páginas: o painel global e o painel por projeto. O painel global apresenta dados consolidados dos programas/projetos cadastrados, enquanto o painel por projeto detalha cada projeto nas seguintes seções: documentos balizadores, métricas, mapeamento de tecnologias componentes, análise de criticidade tecnológica, mapeamento criticidade vs. prontidão, plano de ação e roteirização tecnológica.

4.1.1 Documentos balizadores

Como ilustrado na Figura 3, esta seção centraliza o acesso a três conjuntos de documentos que balizam o projeto de obtenção de um SMEM:

- Conceito operacional: descrição formal do que se espera do SMEM no contexto operacional (Exército Brasileiro, 2016, 2024a).
- Requisitos operacionais: documento com as características funcionais do SMEM, confeccionado com base em aspectos doutrinários, que identifica suas características ou restrições funcionais de forma inequívoca, consistente, individualizada e verificável, consideradas adequadas pelo demandante para a sua aceitação (Exército Brasileiro, 2016, 2024a).

- Requisitos técnicos: especificação objetiva e verificável com a fixação das características técnicas, logísticas e industriais que o SMEM deverá ter para cumprir os requisitos operacionais estabelecidos (Exército Brasileiro, 2016, 2024a).

Dessa forma, a centralização dos documentos balizadores no InovaEB contribui para reduzir ambiguidades e inconsistências recorrentes nas fases iniciais da inovação de defesa, ao alinhar conceito operacional, requisitos operacionais e requisitos técnicos em um mesmo ambiente decisório. Essa integração favorece maior coerência entre objetivos estratégicos e escolhas tecnológicas, reduzindo riscos de desalinhamento e retrabalho. Do ponto de vista gerencial, os documentos deixam de cumprir apenas função normativa e passam a atuar como insumos estruturados para acesso e apoio à decisão.

FIGURA 3 SEÇÃO DE DOCUMENTOS BALIZADORES



Fonte: Elaborada pelos autores.

4.1.2 Métricas

A seção de métricas traz indicadores globais relacionados ao projeto. Como visto na Figura 4, o MAPATEC concebeu uma arquitetura inicial do SAC composta por 3 sistemas, 8 subsistemas, 28 montagens e 154 tecnologias componentes. Além disso, 44 empresas da Base Industrial de Defesa (BID) foram identificadas como possíveis fornecedoras das tecnologias levantadas, sendo que apenas 67 desses 154 componentes tecnológicos (aproximadamente 43,51%) estariam disponíveis nacionalmente em nível de demonstração, ou seja, com nível TRL igual ou superior a 6. Um demonstrador de tecnologia pode ser visto como uma evolução de um modelo de engenharia, sendo utilizado para demonstrar sua viabilidade técnica em ambiente relevante (subconjunto mínimo do ambiente operacional para avaliação das funções críticas), incluídos parâmetros de desempenho, dimensões e peso. A validação de um demonstrador de tecnologia formaliza o atingimento do nível TRL 6 (Girardi et al., 2022a).

Dessa forma, as métricas consolidadas pelo sistema permitem uma leitura sintética da complexidade tecnológica e da dependência externa do projeto, evidenciando limitações da BID quanto à maturidade nacional das tecnologias componentes do SMEM. A constatação de baixa prontidão nacional para parcela relevante das tecnologias – quase 60% – reforça a necessidade de priorização seletiva e planejamento tecnológico de médio e longo prazo.

FIGURA 4 SEÇÃO DE MÉTRICAS



Fonte: Elaborada pelos autores.

4.1.3 Mapeamento de tecnologias componentes

Essa seção apresenta uma tabela dinâmica com todas as tecnologias componentes do SAC acompanhadas pelos seguintes dados associados: sistema, subsistema e montagem enquadrantes; tema tecnológico; TRL nacional; e fornecedores nacionais. Define-se TRL nacional como o maior nível de prontidão identificado entre os fornecedores nacionais da tecnologia sob análise (Girardi et al., 2024a). Como apresentado na Figura 5, a tabela pode ser filtrada pelos campos sistema, subsistema, montagem, tema tecnológico, fornecedor nacional e nome da tecnologia, além de permitir a visualização apenas de componentes com potencial dual.

Dessa forma, o mapeamento das tecnologias componentes transforma um inventário técnico em um instrumento analítico de apoio à decisão, ao explicitar relações entre sistemas, temas tecnológicos, fornecedores e níveis de prontidão. Essa funcionalidade reduz assimetrias de informação entre atores técnicos e decisores, facilitando a identificação de gargalos e dependências críticas. Para a gestão da inovação, o mapeamento contribui para decisões mais transparentes e menos dependentes de julgamentos individuais não estruturados.

FIGURA 5 SEÇÃO DE MAPEAMENTO DE TECNOLOGIAS COMPONENTES

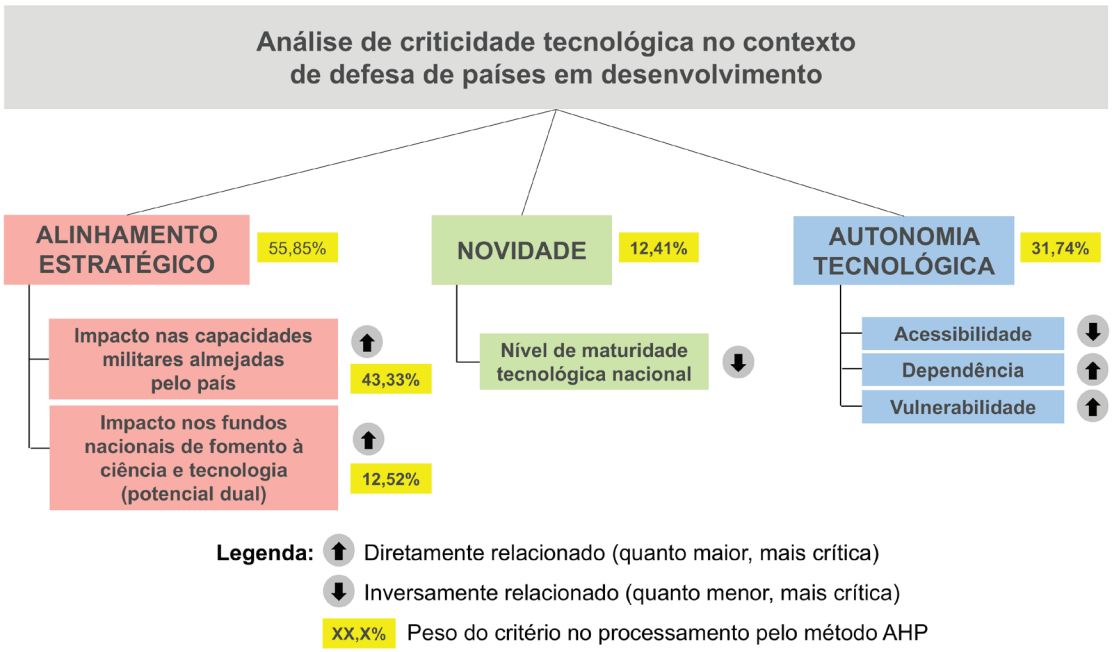


Fonte: Elaborada pelos autores.

4.1.4 Análise de criticidade tecnológica

Com base na estrutura da ontologia InovaDefesa, a Figura 6 apresenta o método empregado na instanciação do sistema InovaEB para a análise de criticidade tecnológica no contexto do Exército Brasileiro.

FIGURA 6 MÉTODO DE ANÁLISE DE CRITICIDADE TECNOLÓGICA DA ONTOLOGIA INOVADEFESA



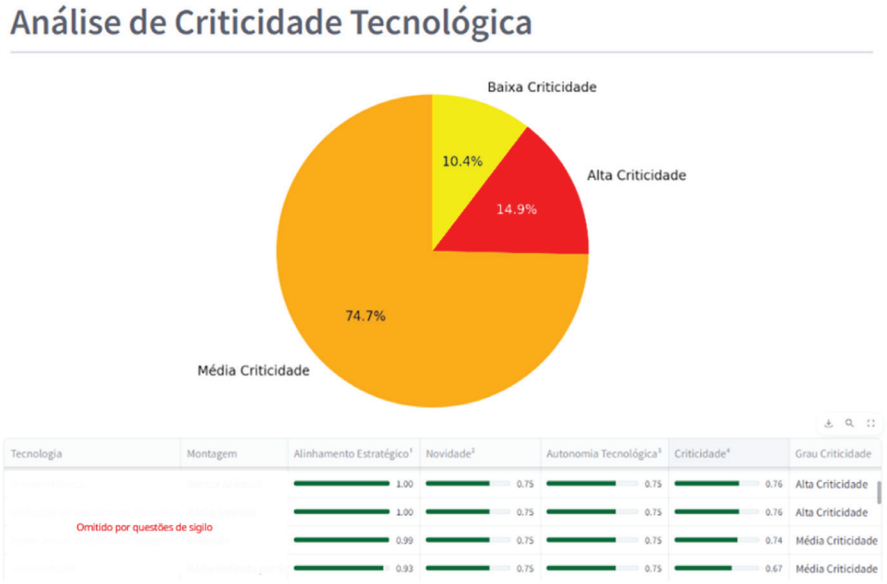
Fonte: Adaptada de Girardi et al. (2024a).

A Figura 6 apresenta os pesos dos critérios e subcritérios definidos pela aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 1980), abordagem multicritério escolhida com base em um estudo bibliométrico que constatou que, no contexto da gestão de ciclo de vida de sistemas de defesa, o AHP se destaca como o método mais amplamente empregado (Girardi et al., 2022b). A ponderação dos critérios foi obtida por comparações paritárias com especialistas dos grupos focais que validaram a ontologia InovaDefesa (Girardi et al., no prelo). No critério autonomia tecnológica, os subcritérios acessibilidade, dependência e vulnerabilidade possuem interdependência modelada por fluxograma (Girardi et al., 2024a).

Com base nesse modelo, a análise de criticidade tecnológica do SAC (Figura 7) mostra a distribuição das tecnologias entre baixa (10,4%), média (74,7%) e alta criticidade (14,9%). A seção também inclui uma tabela com todas as tecnologias priorizadas, em ordem decrescente de criticidade, acompanhadas dos valores normalizados (entre 0 e 1) nos critérios de alinhamento estratégico, novidade e autonomia tecnológica, conforme aplicação do método AHP.

Dessa forma, a análise de criticidade tecnológica introduz uma abordagem multicritério estruturada para priorização, combinando alinhamento estratégico, novidade e autonomia tecnológica. A predominância de tecnologias de criticidade média indica que decisões de priorização em domínios complexos são tênues e podem gerar impactos sistêmicos relevantes, exigindo critérios explícitos e comparáveis. Nesse sentido, o método contribui para tornar as decisões mais rastreáveis e consistentes, reduzindo arbitrariedades no processo decisório.

FIGURA 7 SEÇÃO DE ANÁLISE DE CRITICIDADE TECNOLÓGICA

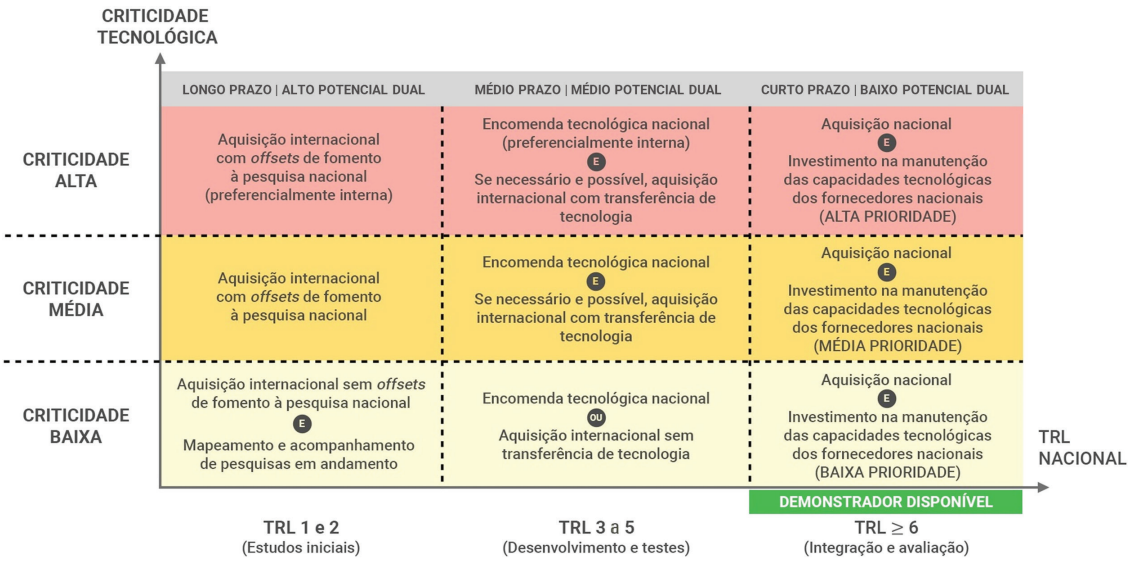


Fonte: Elaborada pelos autores.

4.1.5 Mapeamento criticidade vs. prontidão

A ontologia InovaDefesa propõe o método de mapeamento criticidade vs. prontidão apresentado na Figura 8, que busca delinear estratégias para obtenção de demonstradores tecnológicos equilibrando P&D autóctone e importação de tecnologias disponíveis.

FIGURA 8 MAPEAMENTO CRITICIDADE VS. PRONTIDÃO



Fonte: Girardi et al. (2026).

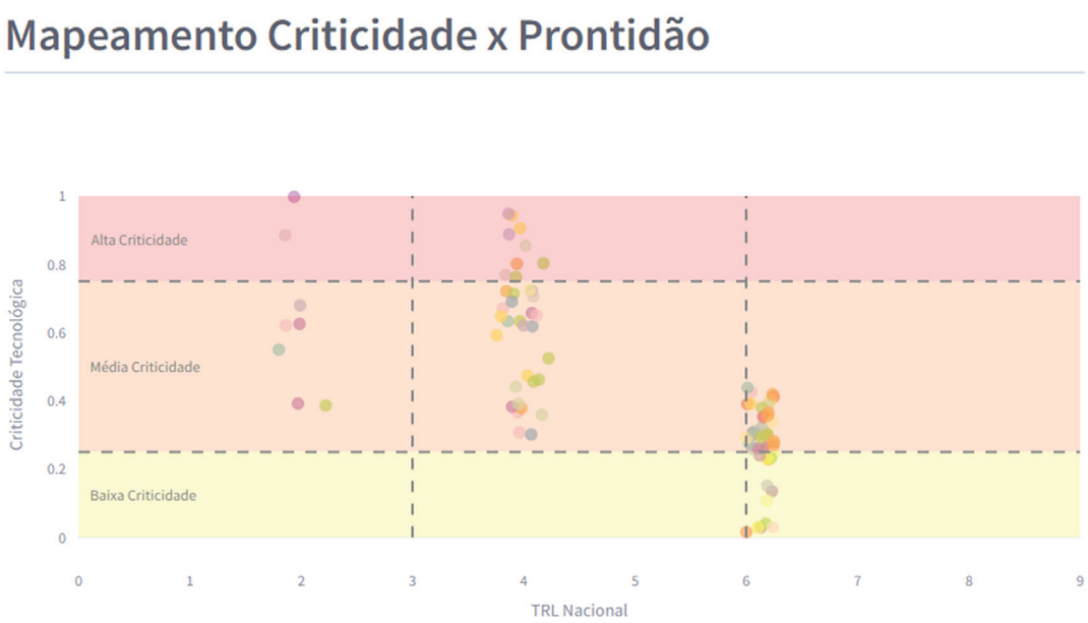
Nesse mapeamento, o eixo vertical representa o nível de criticidade da tecnologia de interesse. As gradações do eixo se baseiam nos valores normalizados da análise de criticidade tecnológica apresentada na seção 4.1.4. O eixo horizontal representa o TRL nacional. Nessa perspectiva, as regiões no gráfico estabelecem estratégias para a obtenção de demonstradores tecnológicos.

- Demonstrador disponível (TRL nacional ≥ 6): sugere-se a *aquisição nacional*, pois há pelo menos uma opção validada da tecnologia na BID. É essencial investir na manutenção das capacidades tecnológicas dos fornecedores nacionais para evitar riscos como falência ou absorção externa, priorizando tecnologias mais críticas (Girardi & Galdino, 2024). O potencial dual é baixo, dado o escopo já consolidado dessas tecnologias.
- Prontidão intermediária (3 ≤ TRL nacional < 6): sugere-se a *encomenda tecnológica nacional*, pois há opções na BID com nível intermediário de maturidade. Para tecnologias críticas, recomenda-se priorizar o desenvolvimento com participação direta de atores das Forças Armadas. Paralelamente, pode-se recorrer à aquisição internacional com *transferência de tecnologia*, que pode acelerar a maturação da encomenda nacional (Wilhelm et al., 2020). O potencial dual é médio, dado que os requisitos ainda são flexíveis, favorecendo parcerias e acesso a financiamento por agências de fomento.
- Prontidão baixa (TRL nacional < 3): sugere-se a *aquisição internacional*. Para tecnologias críticas, é recomendada a inclusão de cláusulas de *offset* nos contratos, visando fomentar pesquisas acadêmicas nacionais (Brustolin et al., 2016). É crucial formar doutores em centros de excelência no exterior, dado que essas tecnologias se encontram na fronteira tecnológica nacional. Considerando o longo prazo para a nacionalização, práticas de gestão do conhecimento são fundamentais para preservar e explicitar o conhecimento tácito envolvido (Nonaka, 1994). O potencial dual é alto, com destaque para parcerias interinstitucionais e compartilhamento de expertise em desafios complexos.

Com base nesse método da ontologia InovaDefesa, a seção de mapeamento criticidade vs. prontidão plota todas as tecnologias componentes do SAC nas regiões do gráfico (Figura 9). Vale ressaltar que, para melhorar a visualização, o mapeamento omite redundâncias do MAPATEC, ou seja, tecnologias que aparecem mais de uma vez no mapa tecnológico.

Dessa forma, o mapeamento criticidade vs. prontidão integra duas dimensões centrais da decisão tecnológica, permitindo associar níveis de risco estratégico a estratégias diferenciadas de obtenção. Ao explicitar *trade-offs* entre nacionalização, importação e desenvolvimento incremental, o método oferece suporte analítico para escolhas compatíveis com restrições institucionais e orçamentárias. Para países em desenvolvimento, essa abordagem favorece decisões graduais e fundamentadas que apoiem o processo de aprendizagem tecnológica de forma realista e sustentável.

FIGURA 9 SEÇÃO DE MAPEAMENTO CRITICIDADE VS. PRONTIDÃO

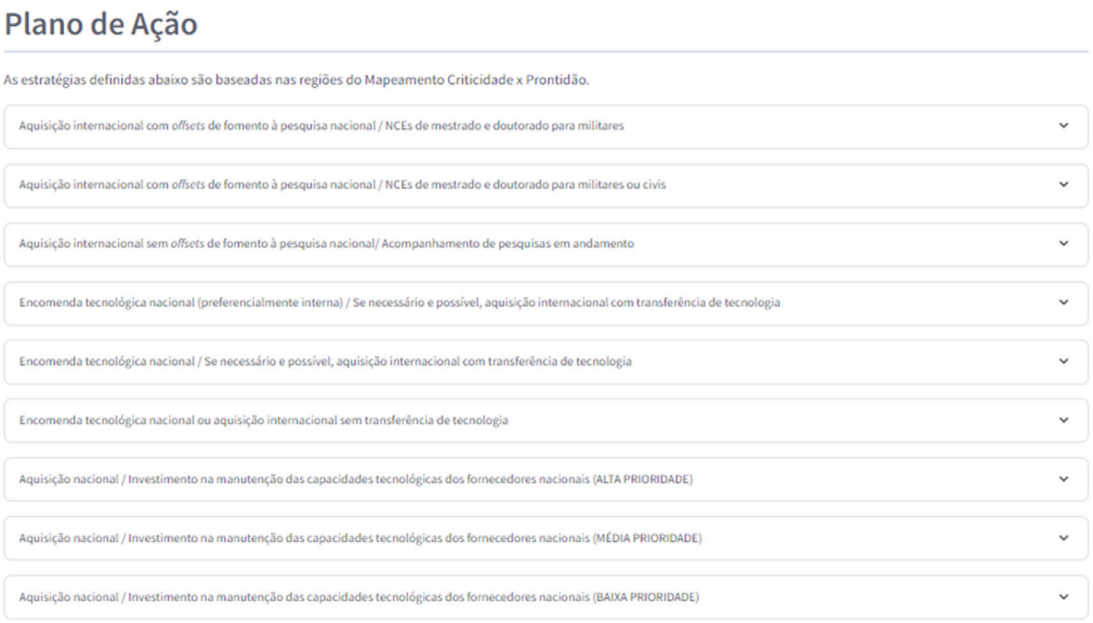


Fonte: Elaborada pelos autores.

4.1.6 Plano de ação

Como antecipado na seção anterior, cada região do referido mapeamento da ontologia InovaDefesa traz uma estratégia associada. A Figura 10 mostra a seção do plano de ação, no qual as tecnologias componentes do SAC são distribuídas em subseções com as respectivas estratégias de suas regiões de mapeamento.

FIGURA 10 SEÇÃO DE PLANO DE AÇÃO



Fonte: Elaborada pelos autores.

Como as duas primeiras estratégias do plano de ação focam na aquisição internacional com iniciativas de fomento à pesquisa e ao avanço da fronteira tecnológica nacional, cada tecnologia enquadrada nessas estratégias vem acompanhada pelos seguintes dados de apoio:

- Três Instituições de Ensino Superior (IES) nacionais com maior produção científica associada nos últimos cinco anos (base Scopus): indicação das melhores universidades brasileiras a serem incluídas em Necessidades de Conhecimentos Específicos (NCEs) do projeto (Exército Brasileiro, 2012).
- Três IES internacionais com maior produção científica associada nos últimos cinco anos (base Scopus): indicação das melhores universidades estrangeiras a serem incluídas em NCEs do projeto (Exército Brasileiro, 2012).
- Possíveis fundos setoriais de fomento: indicação de fundos setoriais do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) com potencial dual para obtenção de verba de fomento. Os 14 fundos setoriais considerados foram: Agronegócio, Aeronáutico Civil, Amazônia, Aquaviário, Biotecnologia, Energia, Espacial, Hídrico, Infraestrutura Laboratorial, Mineral, Petróleo, Saúde, Tecnologia da Informação e Transporte (Exército Brasileiro, 2024b).
- Possíveis empresas nacionais de destino: indicação de organizações da BID com capacidade para dar prosseguimento ao processo de maturação da tecnologia na próxima faixa TRL, mitigando os riscos do "vale da morte" (Belz et al., 2021).

As estratégias ligadas à faixa de TRL médio focam na encomenda tecnológica nacional e na exploração do potencial dual por meio de parcerias e verbas extraorçamentárias de fomento. Dessa forma, cada tecnologia enquadrada nessas estratégias vem acompanhada pelos seguintes dados de apoio:

- Possíveis fundos setoriais de fomento: indicação de fundos FNDCT com potencial dual para obtenção de verba de fomento.
- Possíveis fornecedores: indicação dos fornecedores nacionais capazes de receber a encomenda tecnológica.

Por fim, como as estratégias ligadas à faixa de TRL alto focam na aquisição nacional, cada tecnologia enquadrada nessas estratégias vem acompanhada pela indicação dos fornecedores da BID levantados.

Dessa forma, o plano de ação traduz os resultados analíticos do sistema em direcionamentos operacionais, conectando tecnologias críticas a instrumentos de fomento, atores acadêmicos e empresas da BID. Essa estrutura reduz a distância entre diagnóstico e implementação, favorecendo maior coordenação entre políticas de inovação e decisões de obtenção. Do ponto de vista gerencial, o plano de ação reforça o papel do SAD como instrumento de apoio à execução, e não apenas à análise.

4.1.7 Roteirização tecnológica

A roteirização tecnológica implementada no InovaEB visa oferecer ao decisor diferentes trajetórias temporais para a incorporação de tecnologias críticas no desenvolvimento de produtos de defesa. A funcionalidade permite estimar a evolução da maturidade tecnológica ao longo do tempo, com base na escala TRL, e orientar a transição progressiva de versões com maior conteúdo nacional. Segundo Weck (2022), roteiros tecnológicos são instrumentos estratégicos para estruturar cronogramas de desenvolvimento e decisões de investimento.

Dada a inexistência de dados históricos estruturados sobre a evolução TRL de tecnologias em projetos do EB, adotou-se como referência inicial o estudo de Terrile et al. (2015), que analisou janelas temporais de maturação em 14 projetos da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). A escolha desse modelo, embora limitada pelo contexto distinto, foi justificada pela ausência de alternativas mais próximas e pela robustez metodológica do estudo, que permitiu extrair relações de proporcionalidade entre os estágios de evolução TRL em empreendimentos complexos.

A Tabela 1 apresenta a adaptação das janelas TRL da NASA ao contexto do EB. Ressalta-se que a janela do TRL 8 para o TRL 9 é indefinida no estudo original, pois o TRL 9 depende da realização bem-sucedida de uma missão espacial com o produto final, evento condicionado a fatores externos, como restrições orbitais (Terrile et al., 2015).

TABELA 1 ADAPTAÇÃO DE JANELAS TRL DA NASA AO CONTEXTO DO EXÉRCITO BRASILEIRO

Janelas TRL	NASA (meses)	Proporção (%)	Adaptação ao EB (anos)	Intervalos ajustados (anos)	Justificativas
1–2	3	3,80%	1	1	Consideração de que um doutorado de 4 anos seria capaz de avançar de princípios científicos básicos (TRL 1) até a validação de uma prova de conceito em ambiente laboratorial (TRL 4).
2–3	3	3,80%	1	1	
3–4	6	7,59%	2	2	
4–5	8	10,13%	2,67	3	Arredondamento do cálculo proporcional das janelas com base nos dados de referência da NASA.
5–6	8	10,13%	2,67	3	
6–7	25	31,65%	8,33	4	Atenuação da proporcionalidade para enquadrar a integração e avaliação de protótipo (TRL 6 a 9) no horizonte temporal de 10 anos.
7–8	26	32,91%	8,67	5	
8–9	Indefinido	Indefinido	-------	1	Consideração de 1 ano para a avaliação de protótipo por órgão competente (TRL 9).
	79	100%	26,34	20	

20 | 4

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com base nas janelas TRL ajustadas da Tabela 1, o InovaEB organiza os roteiros tecnológicos em três linhas de ação, que representam estratégias complementares e sucessivas para a evolução tecnológica de um mesmo produto ao longo de diferentes versões. Cada linha considera distintos níveis de conteúdo nacional e horizontes temporais:

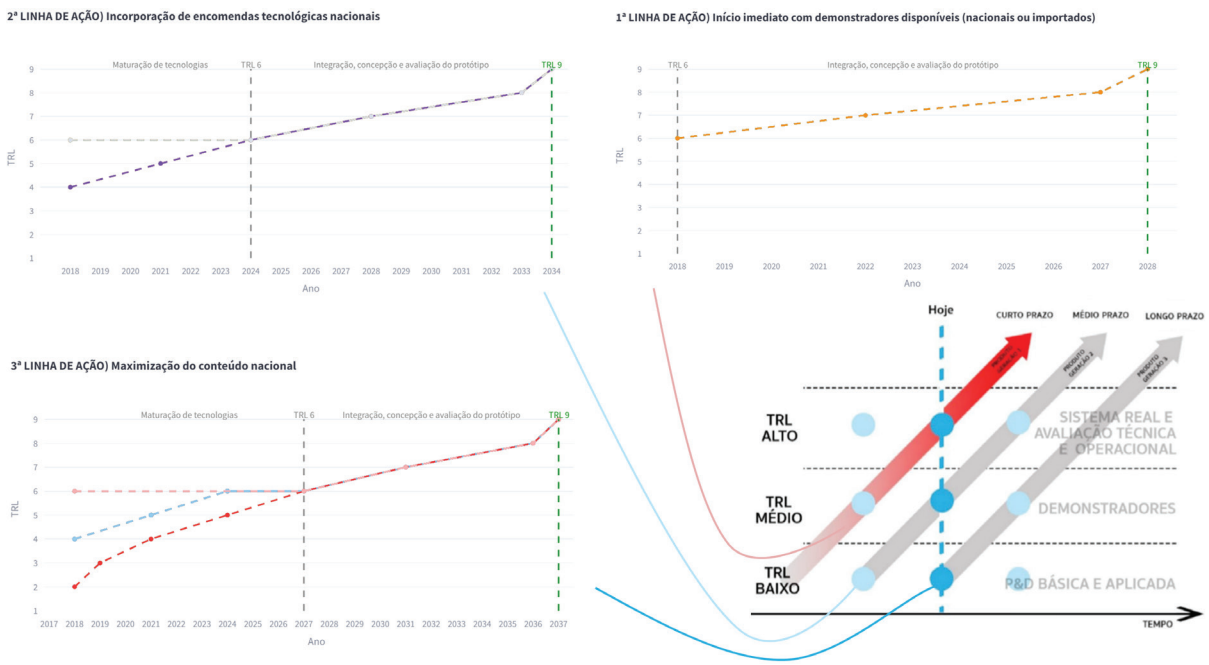
- *Linha de ação 1*: busca a obtenção da primeira versão do produto com a integração imediata de componentes disponíveis (nacionais ou importados). Destaca-se a importância da existência de demonstradores validados para todas as tecnologias críticas. Para o SAC, adotou-se 2018 como ponto de partida, considerando a concepção integrada realizada em 2017. A janela estimada para integração e avaliação do protótipo vai de 2018 a 2028 (Figura 11).
- *Linha de ação 2*: prevê a incorporação de encomendas tecnológicas nacionais em uma versão subsequente. A maturação das encomendas do SAC está estimada para 2024, com integração e avaliação de 2024 a 2034 (Figura 11). Como antecipado na seção 4.1.5, transferências de tecnologia associadas a aquisições internacionais da primeira linha de ação podem acelerar o processo de maturação tecnológica das encomendas nacionais (Wilhelm et al., 2020). Para ilustrar essa abordagem com um exemplo explorado na seção 4.2, a infraestrutura de comunicações inicial do SAC, baseada em rádios americanos Harris, pode vir a ser substituída em médio prazo pela encomenda de rádios Mallet da Indústria de Material Bélico do Brasil (Imbel) (Exército Brasileiro, 2024c).
- *Linha de ação 3*: visa maximizar o conteúdo nacional, por meio da incorporação de tecnologias que vieram sendo amadurecidas desde a primeira faixa TRL (TRL < 3). A faixa de maturação

tecnológica está prevista até 2027, com integração e avaliação de 2027 a 2037 (Figura 11). Como antecipado na seção 4.1.5, destaca-se que verbas de *offset* (Brustolin et al., 2016) associadas a aquisições da 1ª linha de ação podem fomentar a realização de intercâmbios internacionais e acelerar a maturação das tecnologias ainda em nível de pesquisa. Para ilustrar essa abordagem com um exemplo explorado na seção 4.2, sensores para Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear (DQBRN) de subsistemas do SAC podem vir a incorporar, no longo prazo, produtos amadurecidos a partir de iniciativas de pesquisa em andamento no Instituto Militar de Engenharia (IME) (Girardi & Galdino, 2024).

Como ilustrado na Figura 11, as 3 linhas de ação não configuram produtos distintos, mas versões sucessivas de um mesmo SMEM, permitindo nacionalização progressiva das tecnologias componentes, com flexibilidade para priorizar aquelas de alta criticidade (seção 4.1.4).

Dessa forma, a roteirização tecnológica incorpora a dimensão temporal às decisões de inovação, permitindo avaliar trajetórias progressivas de maturação e nacionalização tecnológica. A combinação de múltiplas linhas de ação evidencia a necessidade de conciliar soluções de curto prazo com o processo de aprendizagem tecnológica e desenvolvimento/acúmulo de capacidades nacionais.

FIGURA 11 COMBINAÇÃO DAS TRÊS LINHAS DE AÇÃO PARA FASEAR AS VERSÕES DO PRODUTO-ALVO, INCREMENTANDO O SEU CONTEÚDO NACIONAL AO LONGO DO TEMPO



Fonte: Adaptada de França e Galdino (2022).

4.2 Comparativo possível vs. observado

A análise com o SAD InovaEB permitiu projetar cenários possíveis de desenvolvimento tecnológico para o SAC após sua concepção integrada em 2017. Esta seção compara esse cenário ideal com o observado, segmentando os achados conforme faixas TRL: baixa (1-3), média (3-6) e alta (≥ 6).

4.2.1 TRL baixo

Com relação ao cenário possível, o InovaEB identificou oito tecnologias nessa faixa (duas de alta e seis de média criticidade), sugerindo a abertura de NCEs alinhadas às demandas do SAC – com indicação de IES, fundos de fomento e parcerias na BID – e buscando mitigar riscos do "vale da morte" (Belz et al., 2021).

Quanto ao cenário observado, a análise das NCEs publicadas pelo DCT entre 2017 e 2025, bem como de outros documentos relacionados, identificou os seguintes aspectos positivos e oportunidades de melhoria.

- **Aspectos positivos:**
    - Todas as oito tecnologias foram abordadas em NCEs.
    - Indicação de IES nas NCEs para realização de cursos de pós-graduação.
    - Destaque para o IME, que em 2022 obteve recursos do FNDCT para áreas estratégicas como Inteligência Artificial (IA), cibernética e DQBRN (Girardi & Galdino, 2024).
- **Oportunidades de melhoria:**
    - Apenas três tecnologias foram contempladas em NCEs logo após o MAPATEC. As demais tiveram 2-3 anos de atraso.
    - Ausência de vinculação formal entre NCEs e projetos do EB.
    - Baixa exploração de *offsets* em aquisições internacionais. Por exemplo, a abordagem indiana utiliza o fator percentual *Indigenous Content* (IC) em seus contratos de aquisição. A verba do fator IC é obrigatoriamente revertida para iniciativas de P&D na BID indiana (Indian Ministry of Defence, 2020).

4.2.2 TRL médio

Com relação ao cenário possível, o InovaEB identificou 36 tecnologias (11 de alta e 25 de média criticidade), sugerindo encomendas tecnológicas nacionais com base nos requisitos do SAC, bem como possíveis fundos de fomento e empresas da BID candidatas a receber a encomenda.

Quanto ao cenário observado, de acordo com a análise de registros de notícias e documentos relacionados publicados entre 2017 e 2025, foi possível destacar os seguintes exemplos positivos e oportunidades de melhoria.

- **Exemplos positivos:**
  - Encomenda do sistema Gênesis adaptado ao obuseiro M109A5+BR (Alves et al., 2018).
  - Encomenda de rádios digitais Mallet da Imbel para possível substituição de equipamentos da empresa americana Harris (Exército Brasileiro, 2024c).
  - Possível encomenda de versão da viatura Guarani com morteiro 120 mm (Associação Brasileira das Indústrias de Materiais de Defesa e Segurança, 2017).
- **Oportunidades de melhoria:**
  - Mais encomendas para nacionalizar itens de plataforma e munições do M109A5+BR.
  - Maior uso do potencial dual para captar recursos via fundos de fomento, como o FNDCT.

4.2.3 TRL alto

Com relação ao cenário possível, o InovaEB apontou 49 tecnologias nessa faixa (42 de média e 7 de baixa criticidade), sugerindo aquisições nacionais com base nos requisitos do SAC, bem como possíveis fornecedores da BID.

Quanto ao cenário observado, com base na análise de registros de notícias e documentos relacionados publicados entre 2017 e 2025, foi possível destacar os seguintes exemplos positivos e oportunidades de melhoria.

- **Exemplos positivos:**
  - Aquisição de equipamentos *Atlas Gun Laying System* (AGLS) da AEL Sistemas (Alves et al., 2018).
  - Aquisição de granadas de artilharia da Imbel e da Empresa Gerencial de Projetos Navais (Emgepron) (Fan, 2022).
  - Aquisição do sistema Gênesis da Imbel (Fan, 2023).
- **Oportunidades de melhoria:**
  - Investimentos na manutenção das capacidades tecnológicas de fornecedores da BID, como no caso da Avibras, em recuperação judicial desde 2022 e alvo de propostas estrangeiras (Girardi & Galdino, 2024).

4.3 Resultados da validação do sistema InovaEB

Seguindo como referência os critérios completude, abrangência, utilidade, consistência e compreensibilidade da metodologia de validação da ontologia InovaDefesa (Holsapple & Joshi, 2002; Pereira et al., 2020), o sistema InovaEB foi avaliado com base nas seguintes questões: "É completo?",

"É abrangente?", "É útil?", "É consistente?" e "É compreensível?". A avaliação dos critérios seguiu a análise de concordância por atributos, em que os participantes pontuaram cada questão respondendo a uma escala de cinco níveis seguindo o método Likert de concordância (Likert, 1932); por sua vez, a escala Likert foi transformada em uma escala binária por meio da seguinte regra:

- "Concordo totalmente" = 1;
- "Concordo" = 1;
- "Nem concordo nem discordo" = 0;
- "Discordo" = 0;
- "Discordo totalmente" = 0.

Na avaliação dos critérios, considerou-se como parâmetro de validação a obtenção de todas as médias de avaliação com percentual de concordância igual ou superior a 70% (Pereira et al., 2020). A Tabela 2 mostra as médias consolidadas, todas superiores ao parâmetro de referência (70%).

TABELA 2 MÉDIAS CONSOLIDADAS NA AVALIAÇÃO DE CRITÉRIOS DO SAD INOVAEB

Completude	Abrangência	Utilidade	Consistência	Compreensibilidade	Global
82,96%	87,00%	88,34%	86,55%	84,30%	85,83%

Fonte: Elaborada pelos autores.

O formulário também incluía um campo opcional para justificativas ou observações dos especialistas. Com base nas respostas fornecidas, foi possível agrupá-las em três categorias:

1. *Respostas desconsideráveis*: dois especialistas declararam não ter conhecimento ou tempo para avaliar adequadamente. Suas respostas foram excluídas da amostra final de 223 avaliações utilizadas na Tabela 2.
2. *Respostas esclarecedoras*: em casos de discordância, especialmente nos critérios de completude e compreensibilidade, alguns avaliadores atribuíram sua hesitação à pouca familiaridade com temas de gestão de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I). Esse ponto revelou uma oportunidade de melhoria na formação de decisores no Exército Brasileiro, questão discutida com maior profundidade na seção 4.4.
3. *Respostas enriquecedoras*: diversos especialistas reconheceram o valor da ferramenta e ofereceram sugestões relevantes de aprimoramento, as quais fundamentaram a formulação de sugestões para trabalhos futuros na seção 6.

4.4 Síntese integradora dos resultados

A análise integrada dos resultados das seções 4.1, 4.2 e 4.3 permite avaliar, de forma articulada, o que o SAD InovaEB faz, como seus resultados se comparam às práticas atualmente adotadas e como sua utilidade foi empiricamente validada.

No que se refere à funcionalidade do sistema (seção 4.1), os resultados demonstram que o InovaEB estrutura, em uma plataforma única, informações tradicionalmente dispersas ao longo do início do processo de inovação de defesa, integrando documentos balizadores, métricas globais, mapeamento de tecnologias, análise de criticidade, estratégias de obtenção, plano de ação e roteirização tecnológica. Essa integração transforma dados heterogêneos em informação analítica orientada à decisão, reduzindo assimetrias informacionais, aumentando a rastreabilidade das escolhas tecnológicas e oferecendo critérios explícitos para priorização e planejamento – aspectos críticos em projetos públicos complexos e de longo prazo.

Ao comparar os resultados produzidos pelo sistema com as práticas observadas na gestão real do processo de obtenção do SAC (seção 4.2), evidencia-se que o sistema InovaEB introduz ganhos relevantes de coerência e sistematização. A análise comparativa aponta, em particular, atrasos na abertura de NCEs para tecnologias em baixa prontidão, ausência de vinculação formal entre NCEs e projetos específicos, uso limitado de mecanismos de *offset* em aquisições internacionais, subexploração do potencial dual e de fundos de fomento para tecnologias com prontidão baixa ou intermediária, e fragilidade na manutenção das capacidades tecnológicas de fornecedores nacionais em tecnologias já maduras. Esses achados indicam que, embora existam iniciativas pontuais bem-sucedidas, o processo observado carece de uma visão integrada que conecte criticidade, prontidão e estratégias de obtenção ao longo do tempo.

A validação operacional do sistema (seção 4.3), realizada com 225 participantes, reforça essa interpretação ao indicar elevados níveis de concordância quanto à completude, abrangência, utilidade, consistência e compreensibilidade da ferramenta. Ainda que a amostra seja composta por futuros decisores, os resultados sugerem que o sistema é percebido como um instrumento capaz de apoiar decisões em contextos caracterizados por incerteza tecnológica, múltiplos atores e restrições institucionais.

De forma integrada, os achados indicam que o sistema InovaEB contribui para a melhoria da gestão da inovação de defesa ao promover maior articulação entre estratégia, tecnologia e implementação, sem prescrever decisões ou eliminar o papel do decisor público. O valor do sistema reside menos na automação da decisão e mais na qualificação do processo decisório, ao estruturar o conhecimento, explicitar critérios e ampliar a capacidade analítica dos gestores. Em síntese, verificou-se que o emprego de um SAD em apoio à gestão da fase inicial do processo de inovação de defesa pode trazer os seguintes benefícios potenciais:

- Mapeamento estruturado entre demandas tecnológicas de projetos e as capacidades da BID.
- Adoção da Avaliação de Prontidão Tecnológica (APT) baseada na escala TRL, minimizando ambiguidades na definição de estágios de maturação tecnológica e promovendo melhor comunicação entre atores envolvidos.

- Análise conjugada dos aspectos criticidade e prontidão para estabelecer um plano de ação com estratégias realistas que orientem o equilíbrio entre P&D autóctone e importação de tecnologias disponíveis.
- Incorporação do aspecto dualidade para a busca de verbas extraorçamentárias de fomento a iniciativas de P&D em projetos de defesa, principalmente nas faixas de TRL baixo ou médio.
- Roteirização tecnológica com linhas de ação combinadas que permitem o faseamento das versões dos SMEM, incrementando o seu conteúdo nacional ao longo do tempo.

Do ponto de vista da gestão da inovação de defesa no Exército Brasileiro, a análise dos resultados do SAD InovaEB revelou três principais oportunidades de melhoria: aprimoramento das NCEs, mapeamento entre projetos e a BID, e formação dos futuros decisores.

Primeiramente, destaca-se a necessidade de reformular o processo de elaboração das NCEs. A publicação de NCEs genéricas, desvinculadas de demandas reais, compromete a efetividade da inovação no EB. É essencial alinhar as NCEs a desafios operacionais e tecnológicos concretos de projetos em curso, envolvendo a BID nas fases subsequentes de maturação tecnológica, fortalecendo a tríplice hélice de defesa (Etzkowitz & Zhou, 2017), fomentando a inovação aberta (Chesbrough, 2003) e mitigando o "vale da morte" (Belz et al., 2021).

Em segundo lugar, observou-se a ausência de um mapeamento sistemático entre projetos de defesa e capacidades da BID, dificultando a articulação entre demanda e oferta tecnológica (Schons et al., 2022). Vínculos mais sólidos com fornecedores nacionais são cruciais para fortalecer a autonomia tecnológica e garantir maior estabilidade orçamentária e sustentabilidade da BID (Barbosa, 2018; U.S. Department of Defense, 2017).

Por fim, o processo de validação do SAD InovaEB identificou uma lacuna na formação de futuros decisores em temas de gestão de CT&I de defesa. Inserir conteúdos sobre inovação, gestão tecnológica e engenharia de sistemas nos cursos da LEMB, da EsAO e ECEME, como já havia sido apontado por Castro et al. (2022), pode ampliar a capacidade dos decisores de atuar em processos de obtenção complexos, com múltiplos domínios e relações institucionais diversas.

5. DISCUSSÃO

5.1 Discussão dos resultados à luz de conceitos centrais da literatura de administração pública

Os resultados obtidos com o desenvolvimento, a aplicação e validação do SAD InovaEB permitem discutir suas contribuições à luz de conceitos centrais da literatura de administração pública, em especial no que se refere à gestão do conhecimento, ao suporte à decisão sob racionalidade limitada e à integração organizacional em contextos complexos – tópicos explorados no referencial teórico do artigo (seção 2).

No âmbito da gestão do conhecimento, a ontologia InovaDefesa atua como um mecanismo formal de externalização e estruturação de conhecimento tácito associado à inovação de defesa. Avaliações de criticidade; julgamentos sobre maturidade tecnológica; relações entre tecnologias, projetos e atores institucionais – tradicionalmente dispersos entre especialistas e documentos heterogêneos – são codificados em um modelo conceitual compartilhado. Esse processo é coerente com o modelo SECI de Nonaka e Takeuchi (1996), ao transformar conhecimento tácito individual em conhecimento

explícito organizacional, passível de combinação, reutilização e internalização por diferentes decisores. Ao ser instanciada no SAD InovaEB, essa base de conhecimento deixa de ser apenas descritiva e passa a integrar diretamente o processo decisório, reduzindo a dependência de indivíduos específicos e fortalecendo a memória organizacional – aspecto particularmente relevante em organizações públicas sujeitas à rotatividade e à fragmentação institucional.

Sob a perspectiva de suporte à decisão, o sistema InovaEB contribui para mitigar os efeitos da racionalidade limitada descrita por Simon (1956). As decisões relativas à inovação de defesa envolvem múltiplos critérios, horizontes temporais longos e elevada incerteza tecnológica, tornando inviável uma avaliação puramente intuitiva ou informal. Ao integrar dados, modelos analíticos – como AHP e TRL – e representação estruturada do conhecimento, o sistema amplia a capacidade analítica dos decisores sem substituir seu julgamento. Nesse sentido, a ferramenta InovaEB se alinha à concepção clássica de sistemas de apoio à decisão como instrumentos que reduzem ambiguidade, tornam critérios explícitos e permitem explorar alternativas de forma sistemática, aumentando a coerência, transparência e rastreabilidade das escolhas no setor público (Keen & Morton, 1978; Sprague & Carlson, 1982).

No que se refere à integração organizacional, os achados indicam que o modelo da ontologia InovaDefesa e sua instanciação com o SAD InovaEB funcionam como um elo integrador entre áreas tradicionalmente fragmentadas – operacional, técnica, industrial e estratégica. Conforme argumentado por Lawrence e Lorsch (1967), ambientes complexos exigem simultaneamente especialização e mecanismos eficazes de integração. O sistema InovaEB contribui para esse equilíbrio ao oferecer uma linguagem comum e critérios compartilhados para atores com formações e interesses distintos, reduzindo silos organizacionais e facilitando a coordenação entre projetos, políticas de inovação e capacidades da BID. A comparação entre o cenário possível e o observado (seção 4.2) reforça esse ponto ao evidenciar que muitas das lacunas identificadas decorrem menos da ausência de iniciativas e mais da falta de mecanismos integradores que conectem análises de criticidade, prontidão e estratégias de obtenção ao longo do tempo.

De forma integrada, os resultados sugerem que o valor do SAD InovaEB para a administração pública reside menos na automação da decisão e mais na qualificação do processo decisório. Ao estruturar o conhecimento, explicitar *trade-offs* e integrar múltiplas perspectivas organizacionais, o sistema contribui para decisões mais informadas, coerentes e alinhadas a estratégias de longo prazo de desenvolvimento tecnológico. Essa contribuição dialoga diretamente com a literatura de administração ao demonstrar como artefatos baseados em ontologias e SAD podem apoiar a gestão da inovação em contextos públicos complexos, sensíveis e fortemente condicionados por restrições institucionais, como o setor de defesa.

5.2 Implicações para a administração pública

Os resultados indicam que o SAD InovaEB pode ser utilizado por gestores públicos como um instrumento de apoio à gestão da inovação de defesa, ao estruturar informações dispersas, explicitar critérios de priorização e reduzir incertezas na fase inicial do processo inovativo. Espera-se que seu uso contribua para decisões mais coerentes e rastreáveis, com impacto positivo na alocação de recursos de P&D e na definição de estratégias graduais de nacionalização tecnológica, sem substituir o julgamento dos decisores.

No plano da formulação de políticas, os achados sugerem que o sistema pode apoiar maior alinhamento entre projetos estratégicos, instrumentos de fomento, capacidades da BID e objetivos de políticas de inovação de defesa. Ao evidenciar lacunas entre demandas tecnológicas reais e os instrumentos existentes, o sistema InovaEB oferece subsídios analíticos para políticas menos fragmentadas e mais orientadas ao longo prazo, em consonância com diretrizes da Política e da Estratégia Nacional de Defesa.

Embora aplicado ao setor de defesa, o estudo apresenta implicações transferíveis para outros contextos da administração pública caracterizados por elevada complexidade e incerteza, como saúde, infraestrutura e energia. A abordagem baseada em ontologias e SAD pode ser adaptada para estruturar conhecimento, integrar múltiplas perspectivas organizacionais e qualificar decisões estratégicas em diferentes domínios de políticas públicas intensivas em tecnologia.

Do ponto de vista da implementação, o SAD InovaEB foi desenvolvido como uma prova de conceito de baixo custo, com tecnologias abertas e tempo de implementação compatível com ciclos incrementais. Os principais desafios para a adoção organizacional concentram-se em aspectos técnicos – evolução do software e carregamento de dados de outros programas/projetos – e fatores institucionais – como capacitação de usuários, integração aos processos existentes e apoio da alta gestão, elementos críticos para a incorporação efetiva de ferramentas analíticas no setor público.

5.3 Limitações

Uma primeira limitação do trabalho refere-se à impossibilidade de divulgação de dados sensíveis, uma vez que o MAPATEC é um documento de acesso restrito no âmbito do Exército Brasileiro. Essa restrição implicou a apresentação do estudo de caso do SAC sem o detalhamento de informações não ostensivas, o que limita a reprodutibilidade externa do estudo e a análise minuciosa de determinadas decisões tecnológicas. No entanto, essa limitação não compromete a lógica analítica do sistema nem a validade do método proposto, pois a estrutura decisória, os critérios utilizados e as funcionalidades do SAD puderam ser plenamente apresentados. Como aprimoramento futuro, a aplicação da abordagem em contextos com maior possibilidade de transparência – inclusive em outros setores da administração pública – pode permitir análises comparativas mais detalhadas e maior abertura dos dados utilizados.

Uma segunda limitação está associada à adaptação das janelas temporais de TRL, que se baseou em uma única referência empírica da literatura, oriunda de um estudo da NASA com dados de 14 projetos (Terrile et al., 2015). Embora essa escolha tenha sido justificada pela robustez metodológica do estudo e pela ausência de alternativas mais próximas ao contexto em análise, ela restringe a generalização dos valores estimados, especialmente considerando as diferenças institucionais, orçamentárias e operacionais entre o setor espacial norte-americano e o setor de defesa brasileiro. Essa limitação afeta principalmente a precisão temporal da roteirização tecnológica, sem invalidar sua utilidade como instrumento comparativo e exploratório. Pesquisas futuras podem mitigar essa limitação por meio da incorporação de séries históricas nacionais ou internacionais mais amplas, bem como pela calibração progressiva das janelas TRL a partir de dados empíricos de projetos conduzidos no próprio país.

A terceira limitação decorre do perfil da amostra utilizada na validação operacional do sistema, composta por futuros decisores – alunos da LEMB da ECEME e EsAO – e não por decisores atualmente responsáveis por projetos de obtenção. Essa característica direciona a validação para aspectos como compreensibilidade, utilidade percebida e potencial de aplicação, em detrimento de uma avaliação

baseada em decisões reais e resultados organizacionais concretos. Ainda assim, a escolha da amostra é coerente com o objetivo exploratório da pesquisa e com a natureza do sistema como ferramenta de apoio à decisão, cuja adoção futura depende, em grande medida, da formação e capacitação desses mesmos atores. Como avanço natural, estudos futuros podem ampliar a validação para gestores em exercício, permitindo avaliar impactos diretos do uso do SAD InovaEB sobre decisões efetivamente tomadas.

Por fim, destaca-se como limitação o fato de o InovaEB encontrar-se em estágio de prova de conceito, o que implica que o sistema ainda não está integrado aos fluxos institucionais formais de gestão da inovação do Exército Brasileiro. Essa condição restringe a avaliação de impactos sobre desempenho organizacional, eficiência de P&D ou redução efetiva de dependência tecnológica. Por outro lado, a prova de conceito cumpriu adequadamente seu papel ao demonstrar viabilidade técnica, coerência conceitual e utilidade decisória do sistema. A evolução para versões operacionais, com integração a bases de dados institucionais e uso continuado em projetos reais, constitui um desdobramento natural da pesquisa e será retomada como agenda futura.

Malgrado essas limitações, os resultados apresentados permitem discutir de forma consistente os benefícios potenciais do uso de um SAD baseado em ontologia no início do processo de inovação de defesa, ao mesmo tempo que delimita com objetividade o escopo e as condições de validade das conclusões alcançadas.

6. CONCLUSÃO

Este artigo teve como objetivo desenvolver e avaliar um SAD baseado em modelo ontológico para apoiar a gestão da inovação de defesa em países em desenvolvimento, tomando como estudo de caso o Exército Brasileiro. A pesquisa partiu do reconhecimento de que decisões na fase inicial da inovação de defesa são marcadas por elevada complexidade, conhecimento disperso, incerteza tecnológica e restrições institucionais, o que dificulta a coordenação entre projetos, atores e instrumentos de política pública.

Do ponto de vista dos principais achados, verificou-se que os benefícios potenciais do emprego de um SAD nesse contexto incluem: (i) criação de plataforma integrada para alinhar demandas tecnológicas e capacidades da BID; (ii) adoção da APT/TRL para minimizar ambiguidades sobre maturação tecnológica e aprimorar a comunicação entre atores envolvidos; (iii) elaboração de planos de ação com base na análise combinada dos aspectos criticidade e prontidão; (iv) incorporação do aspecto dualidade tecnológica na captação de recursos extraorçamentários para P&D; e (v) roteirização tecnológica para maximizar o conteúdo nacional dos projetos ao longo do tempo. O sistema foi validado com 225 especialistas, apresentando alto nível de concordância em termos de completude, abrangência, utilidade, consistência e compreensibilidade da ferramenta. Dessa forma, pode-se dizer que o objetivo geral da pesquisa foi alcançado, tendo em vista que o SAD InovaEB foi concebido, aplicado em um contexto real e validado empiricamente.

No que se refere às implicações do estudo, os resultados indicam que essa concepção sistêmica pode ser utilizada por gestores públicos como um instrumento para qualificar decisões estratégicas sobre inovação de defesa, tornando explícitos critérios, alternativas e consequências associadas a diferentes escolhas tecnológicas. Espera-se que sua evolução e seu uso contribuam para decisões mais coerentes, transparentes e alinhadas a estratégias de longo prazo, com impactos positivos na

alocação de recursos de P&D e na definição de trajetórias graduais de nacionalização tecnológica. Para formuladores de políticas, a solução oferece subsídios analíticos para o alinhamento entre projetos estratégicos, instrumentos de fomento, capacidades da BID e diretrizes da Política e da Estratégia Nacional de Defesa – reduzindo a fragmentação de iniciativas. Além disso, embora desenvolvido no contexto da defesa, o estudo demonstra um potencial de transferência da abordagem para outros domínios da administração pública intensivos em tecnologia e inovação, como saúde, infraestrutura e energia.

Em síntese, a principal contribuição do artigo reside em demonstrar que um SAD baseado em modelo ontológico pode ir além da organização de dados, atuando como mecanismo integrador que estrutura conhecimento, reduz incertezas e qualifica o processo decisório em contextos públicos complexos. Ao articular fundamentos teóricos da administração pública com uma aplicação empírica no setor de defesa, o estudo amplia o diálogo entre gestão da inovação, sistemas de informação e políticas públicas, oferecendo tanto contribuições científicas quanto subsídios práticos para gestores e formuladores de políticas.

As limitações do estudo incluem a impossibilidade de divulgação de dados sensíveis, a construção das janelas TRL com base em uma única referência da literatura, a natureza da amostra de especialistas e o caráter ainda experimental da solução.

Para trabalhos futuros, sugere-se a ampliação do sistema para outros projetos do EB; a integração de tecnologias de IA; a inserção de métodos adicionais de apoio à decisão; o registro contínuo dos níveis TRL para calibrar roteiros e aprimorar a gestão orientada por dados; e a replicação ou adaptação da solução para as Forças coirmãs, outros setores públicos nacionais ou países com contextos semelhantes.

REFERÊNCIAS

Alves, Â. de O., Ferreira, F. G., & Dias, M. de S. (2018). A reestruturação do Sistema de Artilharia de Campanha (SAC): implantação das VBCOAP M109 A5 e M109 A5+ BR. *Revista do Exército Brasileiro*, *154*(3), 17-28.

Amarante, J. C. A. (2013). *Processos de obtenção de tecnologia militar* (Texto para Discussão nº 1877). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/2032

Arnott, D., & Pervan, G. (2005). A critical analysis of decision support systems research. *Journal of Information Technology*, *20*(2), 67-87. https://doi.org/10.1057/palgrave.jit.2000035

Associação Brasileira das Indústrias de Materiais de Defesa e Segurança. (2017). *Exército vai abrir processo para compra de Morteiro 120 mm para viatura Guarani*. https://abimde.org.br/pt-br/noticias/exercito-vai-abrir-processo-para-compra-de-morteiro-120-mm-para-viatura-guarani/

Australian Department of Defence. (2022). *Defence capability manual*. https://www.defence.gov.au/about/publications/defence-capability-manual

Azevedo, C. E. F., Borba, G. A. de, & Araújo, L. E. (2021). Desafios para a política de inovação no setor de defesa brasileiro: óbices e barreiras culturais e estruturais. *Revista da Escola de Guerra Naval*, *27*(1), 121-160. https://doi.org/10.21544/1809-3791.v27n1.p121-160

Barbosa, M. S. M. (2018). *Os principais óbices da relação defesa, indústria e academia que impactam no desenvolvimento da base industrial de defesa* [Monografia, Escola Superior de Guerra]. Repositório Institucional da Escola Superior de Guerra. https://repositorio.esg.br/handle/123456789/913

Barton, J. (2021). *China's PLA Modernization through the DOTMLPF-P Lens*. Mad Scientist Laboratory. https://madsciblog.tradoc.army.mil/330-chinas-pla-modernization-through-the-dotmlpf-p-lens/

Belz, A., Terrile, R. J., Zapatero, F., Kawas, M., & Giga, A. (2021). Mapping the "Valley of Death": managing selection and technology advancement in NASA's small business innovation research program. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *68*(5), 1476-1485. https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2904441

Briones-Peñalver, A. J., Bernal-Conesa, J. A., & Nieves Nieto, C. (2020). Knowledge and innovation management model: its influence on technology transfer and performance in Spanish Defence industry. *International Entrepreneurship and Management Journal*, *16*(2), 595-615. https://doi.org/10.1007/s11365-019-00577-6

Brustolin, V. M. (2014). *Inovação e desenvolvimento via Defesa Nacional nos EUA e no Brasil* [Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. Instituto de Economia da UFRJ. https://www.ie.ufrj.br/images/IE/PPED/Teses/2014/VITELIO%20MARCOS%20BRUSTOLIN.pdf

Brustolin, V. M., Oliveira, C. A. de, & Senna, C. J. D. (2016). Análise das práticas de offset nos contratos de defesa no Brasil. *Revista da Escola de Guerra Naval*, *22*(1), 169-196. https://doi.org/10.21544/1809-3191/regn.v22n1p169-196

Castro, L. A. S., Jr., Ferreira, R. T., Passos, A. C., & Bandeira, A. de P. F. (2022). Reflexões preliminares sobre a capacitação do oficial de estado-maior, da linha bélica, em Gestão da Inovação Tecnológica. In B. C. Marinho, E. de A. Cadorin, & J. A. França Junior (Eds.), *Coletânea de trabalhos do Curso Executivo de Gestão da Inovação da AGITEC* (pp. 78-103). BIBLIEx.

Castro, R. N., & Ferreira, J. J. P. (2023). The front-end of R&D at non-profit research centers: how does research produce impact? *International Journal of Innovation and Technology Management*, *20*(3), 1-22. https://doi.org/10.1142/S0219877023500141

Cauchick-Miguel, P. A., Fleury, A., Mello, C. H. P., Nakano, D. N., Lima, E. P., Turrioni, J. B., Ho, L. L., Morabito, R., Costa, S. E. G., Martins, R. A., Sousa, R., & Pureza, V. (2018). *Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações* (3rd ed.). LTC.

Caverley, J. D. (2023). Horses, nails, and messages: three defense industries of the Ukraine war. *Contemporary Security Policy*, *44*(4), 606-623. https://doi.org/10.1080/13523260.2023.2257965

Chesbrough, H. W. (2003). *Open innovation: the new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business School Press.

Davenport, T. H., & Prusak, L. (1998). *Working knowledge: how organizations manage what they know*. Harvard Business Press.

Etzkowitz, H., & Zhou, C. (2017). Hélice tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo. *Estudos Avançados*, *31*(90), 23-48. https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.3190003

Exército Brasileiro. (2012). *Portaria n.º 058-DCT, de 19 de dezembro de 2012*. https://www.sgex.eb.mil.br/sg8/002_instrucoes_gerais_reguladoras/02_reguladoras/08_departamento_de_ciencia_e_tecnologia/port_n_058_dct_19dez2012.html

Exército Brasileiro. (2016). *Instruções gerais para a gestão do ciclo de vida dos sistemas e materiais de emprego militar* (EB10-IG-01.018). https://www.eme.eb.mil.br/acesso-a-informacao/eb10-ig-01-018

Exército Brasileiro. (2024a). *Instruções gerais para a gestão do ciclo de vida dos sistemas e materiais de emprego militar* (EB10-IG-01.018). https://www.eme.eb.mil.br/acesso-a-informacao/eb10-ig-01-018

Exército Brasileiro. (2024b). *Metodologia de Avaliação e Análise Tecnológica - Avantec V2*. https://avantec.eb.mil.br/

Exército Brasileiro. (2024c). *Programa Estratégico do Exército avança na aquisição de viaturas blindadas*. https://www.eb.mil.br/web/noticias/w/exercito-assina-contrato-para-aquisicao-de-viaturas-blindadas

Fan, R. (2022). *IMBEL entrega munição de artilharia 100% nacional ao exército*. Defesanet. https://www.defesanet.com.br/terrestre/imbel-entrega-municao-de-artilharia-100-nacional-ao-exercito/

Fan, R. (2023). *IMBEL entrega Sistema Gênesis de Coordenação de Fogos de Artilharia ao exército brasileiro*. Defesanet. https://www.defesanet.com.br/terrestre/imbel-entrega-sistema-genesis-de-coordenacao-de-fogos-de-artilharia-ao-exercito-brasileiro/

Figueiredo, P. N. (2009). Aprendizagem tecnológica e inovação industrial em economias emergentes: uma breve contribuição para o desenho e implementação de estudos empíricos e estratégias no Brasil. *Revista Brasileira de Inovação*, *3*(2), 323-361. https://doi.org/10.20396/rbi.v3i2.8648901

Figueiredo, P. N., Cabral, B. P., & Silva, F. Q. (2021). Intricacies of firm-level innovation performance: an empirical analysis of latecomer process industries. *Technovation*, *105*, 102302. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102302

França, J. A., Jr., & Galdino, J. F. (2019). Gestão de sistemas de material de emprego militar: o papel dos níveis de prontidão tecnológica. *Coleção Meira Mattos*, *13*(47), 155-176. https://decex.nucleoead.net/ebrevistas/RMM/article/view/1910

França, J. A., Jr., & Galdino, J. F. (2022). Aquisição de sistemas e produtos de defesa: conciliando objetivos de curto e longo prazo. In C. E. F. Azevedo & C. E. D. F. Ramos (Eds.), *Estudos de defesa: inovação, estratégia e desenvolvimento industrial* (pp. 42-71). Fundação Getulio Vargas.

Galdino, J. F., & Schons, D. L. (2022). Maquiavel e a importância do poder militar nacional. *Coleção Meira Mattos*, *16*(56), 369-384. https://decex.nucleoead.net/ebrevistas/RMM/article/view/10070

Girardi, R. (2024). Innovation management in the defense sector: a systematic literature review focusing on developing countries. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, *8*(11), 1-22. https://doi.org/10.24294/jipd.v8i11.6065

Girardi, R., & Galdino, J. F. (2024). A "dualidade" da dualidade tecnológica: implicações para países em desenvolvimento. *Coleção Meira Mattos*, *18*(62), 189-216. https://doi.org/10.52781/cmm.a130

Girardi, R., França, J. A., Jr., & Galdino, J. F. (2022a). A customização de processos de avaliação de prontidão tecnológica baseados na escala TRL: desenvolvimento de uma metodologia para o Exército Brasileiro. *Coleção Meira Mattos*, *16*(57), 491-527. https://doi.org/10.52781/cmm.a084

Girardi, R., Galdino, J. F., Pellanda, P. C., França, J. A., Jr., & Santos, M. (2022b). Bibliometric study on multi-criteria decision-making methods applied to life cycle management of defense systems. *Procedia Computer Science*, *214*, 236-247. https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.171

Girardi, R., França, J. A., Jr., & Galdino, J. F. (2024a). Criticidade tecnológica na área de defesa em países em desenvolvimento: conceitos e critérios. *Revista de Gestão e Secretariado*, *15*(4), e3618. https://doi.org/10.7769/gesec.v15i4.3618

Girardi, R., Galdino, J. F., & Pellanda, P. C. (2024b). The front end of innovation in defense: a comprehensive literature review. In S. Burt (Ed.), *National security in the digital and information age* (pp. 37-61). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.1005191

Girardi, R., França, J. A., Jr., & Galdino, J. F. (2026). Gestão da inovação de defesa no Brasil: Estudo de caso do Exército Brasileiro. *Revista Brasileira de Inovação*, 25.

https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi

Girardi, R., Galdino, J. F., Pellanda, P. C., & Ferreira, J. J. P. (no prelo). A knowledge representation for the front end of innovation in the defense sector of developing countries. *International Journal of Innovation Management*. https://www.worldscientific.com/worldscinet/ijim

Goyal, R., Deshmukh, S. G., & Bolia, N. B. (2025). Impact of decision support systems on public administration: a systematic literature review and future research agenda. *Journal of Advances in Management Research*. https://doi.org/10.1108/JAMR-01-2025-0040

Gregor, S., & Hevner, A. R. (2013). Positioning and presenting design science research for maximum impact. *MIS Quarterly*, *37*(2), 337-355. https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.01

Gruber, T. R. (1995). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? *International Journal of Human-Computer Studies*, *43*(5), 907-928. https://doi.org/https://doi.org/10.1006/ijhc.1995.1081

Guizzardi, G., & Guarino, N. (2024). Explanation, semantics, and ontology. *Data & Knowledge Engineering*, *153*, 102325. https://doi.org/10.1016/j.datak.2024.102325

Guizzardi, G., Pastor, O., & Storey, V. C. (2023). Thinking fast and slow in software engineering. *IEEE Software*, *40*(6), 139-142. https://doi.org/10.1109/MS.2023.3306132

Havins, S. R. (2020). Decision support systems for managing innovation through project selection in public sector R&D Environments. *IEEE Engineering Management Review*, *48*(4), 28-31. https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3007748

Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, *28*(1), 75-106. https://doi.org/10.2307/25148625

Holsapple, C. W., & Joshi, K. D. (2002). A collaborative approach to ontology design. *Communications of the ACM*, *45*(2), 42-47. https://doi.org/10.1145/503124.503147

Indian Ministry of Defence. (2020). *Defence acquisition procedure 2020*. https://www.mod.gov.in/sites/default/files/DAP2020.pdf

Irfan, M., Rahman, S., Azis, Y., & Widianto, S. (2023). Defense industry business performance model in developing countries. *Problems and Perspectives in Management*, *21*(2), 172-186. https://doi.org/10.21511/ppm.21(2).2023.20

Javed, N., & Altaf, Z. (2024). India-Pakistan development of drones: implications for strategic stability. *Strategic Studies*, *44*(2), 44-66. https://www.jstor.org/stable/48829157

Keen, P. G. W., & Morton, M. S. S. (1978). *Decision support systems: an organizational perspective*. Addison-Wesley.

Koen, P., Ajamian, G., Boyce, S., Clamen, A., Fisher, E., Fountoulakis, S., Johnson, A., Puri, P., & Seibert, R. (2002). Fuzzy front end: effective methods, tools, and techniques. In S. Somermeyer, A. Griffin & P. Belliveau (Eds.), *The PDMA ToolBook for New Product Development* (pp. 5-36). Wiley.

Koen, P., Bertels, H. M. J., & Elsum, I. R. (2011). The three faces of business model innovation: challenges for established firms. *Research-Technology Management*, *54*(3), 52-59. https://doi.org/10.5437/08953608X5403009

Krueger, R. A., & Casey, M. A. (2014). *Focus groups: a practical guide for applied research* (5th ed.). Sage.

Lawrence, P. R., & Lorsch, J. W. (1967). Differentiation and integration in complex organizations. *Administrative Science Quarterly*, *12*(1), 1-47. https://doi.org/10.2307/2391211

Lemmettylä, A., & Kinnunen, U.-M. (2025). Driving and restraining forces in the implementation of information systems in the public sector: scoping review. *JMIR Human Factors*, *12*, e71575. https://doi.org/10.2196/71575

Liang, X., Tian, N., Silva, D. L., Scarazzato, L., Karim, Z. A., & Ricard, J. G. (2025). *Trends in world military expenditure 2024*. Stockholm International Peace Research Institute. https://doi.org/10.55163/AVEC8366

Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, *22*(140), 5-55. https://legacy.voteview.com/pdf/Likert_1932.pdf

Liwång, H., Andersson, K. E., Bang, M., Malmio, I., & Tärnholm, T. (2023). How can systemic perspectives on defence capability development be strengthened? *Defence Studies*, *23*(3), 399-420. https://doi.org/10.1080/14702436.2023.2239722

Mankins, J. C. (1995). *Technology readiness levels: A white paper*. NASA, Office of Space Access and Technology, Advanced Concepts Office. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf

March, S. T., & Smith, G. F. (1995). Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems*, *15*(4), 251-266. https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2

Merriam, S. B. (1998). *Qualitative research and case study applications in education* (2nd ed.). Jossey-Bass.

Minculete, G. (2025). Enhancing operational logistics in response to ukraine war impacts: a relational analysis. *Journal of Defense Resources Management*, *16*(1), 209-254. https://doi.org/10.64404/JoDRM.2025.1.11

Moreira, W. S. (2013). *Ciência e poder: O cerceamento tecnológico e as implicações para a Defesa Nacional* [Tese de doutorado, Universidade Federal Fluminense]. Repositório Institucional da UFF. https://app.uff.br/riuff/handle/1/4130

Mulgan, G. (2014). *Innovation in the public sector: How can public organisations better create, improve and adapt?* Nesta. https://media.nesta.org.uk/documents/innovation_in_the_public_sector-_how_can_public_organisations_better_create_improve_and_adapt_0.pdf

Nonaka, I. (1994). A dynamic theory knowledge of organizational creation. *Organization Science*, *5*(1), 14-37. https://doi.org/10.1287/orsc.5.1.14

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1996). The knowledge-creating company: how japanese companies create the dynamics of innovation. *Long Range Planning*, *29*(4), 592. https://doi.org/10.1016/0024-6301(96)81509-3

North Atlantic Treaty Organization. (2025). *NATO architecture framework version 4*. https://www.nato.int/en/about-us/organization/nato-structure/digital-policy-committee-dpc/nato-architecture-framework-version-4

Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2001). Ontology development 101: a guide to creating your first ontology. *Stanford Knowledge Systems Laboratory*. https://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdf

Object Management Group. (2015). *Unified Modeling Language (UML)* (Version 2.5). https://www.omg.org/spec/UML/2.5/

Oliveira, M. G. de, Mendes, G. H. de S., & Serrano, K. M. (2024). Front-end of innovation: a systematic review and lifecycle analysis. *European Journal of Innovation Management*, *27*(2), 474-500. https://doi.org/10.1108/EJIM-01-2022-0047

Orlikowski, W. J. (1992). The duality of technology: rethinking the concept of technology in organizations. *Organization Science*, *3*(3), 398-427. https://doi.org/10.1287/orsc.3.3.398

Osborne, S. P., & Brown, L. (2011). Innovation, public policy and public services delivery in the UK. The word that would be king? *Public Administration*, *89*(4), 1335-1350. https://doi.org/10.1111/j.1467-9299.2011.01932.x

Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, *24*(3), 45-77. https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302

Pereira, A. R., Ferreira, J. J. P., & Lopes, A. (2020). A knowledge representation of the beginning of the innovation process: The Front End of Innovation Integrative Ontology (FEI2O). *Data and Knowledge Engineering*, *125*, 101760. https://doi.org/10.1016/j.datak.2019.101760

Phaal, R., Farrukh, C. J. P., & Probert, D. R. (2004). Technology roadmapping – A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, *71*(1/2), 5-26. https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6

Power, D. J. (2002). Categorizing decision support systems: a multidimensional approach. In G. Forgionne, M. Mora & J. N. D. Gupta (Eds.), *Decision making support systems: achievements, trends and challenges for* (pp. 20-27). IGI Global.

Pudjono, A. N. S., Wibisono, D., & Fatima, I. (2025). Enhancing public sector performance management in Indonesia: the role of soft systems methodology in addressing local government challenges. *Systems Research and Behavioral Science*. https://doi.org/10.1002/sres.3166

Rawat, U., & Pandey, A. (2025). Israel-Palestine border: historical conflicts, geopolitical tensions, and security implications. *International Journal For Multidisciplinary Research*, *7*(2), 1-14. https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i02.39958

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.

Saratikyan, N. (2025). Governance of regional innovation systems through key performance indicators. *Economics, Finance and Accounting*, *1*(15), 154. https://doi.org/10.59503/29538009-2025.1.15-154

Schilling, M. A. (2013). *Strategic management of technological innovation* (4th ed.). McGraw-Hill.

Schons, D. L., Prado, H. V., Filho, & Galdino, J. F. (2020). Política Nacional de Inovação: uma questão de crescimento econômico, desenvolvimento e soberania nacional. *Coleção Meira Mattos*, *14*(49), 27-50. https://doi.org/10.22491/cmm.a021

Schons, D. L., Prado, H. V., Filho, & Galdino, J. F. (2022). Estudo comparado de sistemas setoriais de inovação: petróleo e gás, agronegócio e do exército. In C. E. F. Azevedo & C. E. de F. Ramos (Eds.), *Estudos de defesa: inovação, estratégia e desenvolvimento industrial* (pp. 210-239). Fundação Getulio Vargas.

Sharda, R., Delen, D., & Turban, E. (2020). *Analytics, data science, & artificial intelligence: systems for decision support* (11th ed.). Pearson.

Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. *Psychological Review*, *63*(2), 129-138. https://doi.org/10.1037/h0042769

South African Department of Defence. (2015). *South African defence review*. https://static.pmg.org.za/191016defencereview.pdf

Sprague, R. H., & Carlson, E. D., Jr. (1982). *Building effective decision support systems*. Prentice Hall.

Stanford University. (2025). *Artificial Intelligence Index Report 2025*. https://hai.stanford.edu/assets/files/hai_ai_index_report_2025.pdf

Stewart, D. W., & Shamdasani, P. N. (2014). *Focus groups: theory and practice* (3rd ed.). Sage.

Suárez-Figueroa, M. C., Gómez-Pérez, A., & Villazón-Terrazas, B. (2009). How to write and use the ontology requirements specification document. In R. Meersman, T. Dillon, & P. Herrero (Eds.), *On the move to meaningful internet systems: OTM 2009* (pp. 966-982). Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-642-05151-7_16

Terrile, R. J., Doumani, F. G., Ho, G. Y., & Jackson, B. L. (2015). Calibrating the Technology Readiness Level (TRL) scale using NASA mission data. *Proceedings of the IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, USA. https://doi.org/10.1109/AERO.2015.7119313

Thompson, J. D. (1967). *Organizations in action: social science bases of administrative theory*. Transaction.

Tidd, J., & Bessant, J. (2020). *Managing innovation: integrating technological, market and organizational change* (7th ed.). Wiley.

Trott, P. (2021). *Innovation management and new product development* (7th ed.). Pearson.

U.K. Ministry of Defence. (2019). *Knowledge in defence* (KiD). https://www.gov.uk/guidance/knowledge-in-defence-kid

United Nations. (2022). *Methodology: standard country or area codes for statistical use* (M49). https://unstats.un.org/unsd/methodology/m49

U.S. Department of Defense. (2010). *DoDAF Architecture Framework Version 2.02*. https://dodcio.defense.gov/Library/DoD-Architecture-Framework/dodaf20_logical_1_1/

U.S. Department of Defense. (2017). *The Planning, Programming, Budgeting, and Execution (PPBE) process* (DoDD 7045.14). https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodd/704514p.pdf

U.S. Department of Defense. (2020). *Major capability acquisition* (DoDI 5000.85). https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodi/500085p.pdf

U.S. Government Accountability Office. (2020). *Technology readiness assessment guide: Best practices for evaluating the readiness of technology for use in acquisition programs and projects* (GAO-20-48G). https://www.gao.gov/products/gao-20-48g

U.S. Joint Chiefs of Staff. (2018). *Charter of the Joint Requirements Oversight Council (JROC) and implementation of the Joint Capabilities Integration and Development System (JCIDS)* (CJCSI 5123.01H). https://acqnotes.com/wp-content/uploads/2018/11/CJCSI-5123.01H-Charter-of-the-Joint-Requirements-Oversight-Council-JROC-and-Implementation-of-the-JCIDS-31-Aug-2018.pdf

Vaishnavi, V., Kuechler, B., & Stacey, P. (2021). *Design science research in information systems*. DESRIST. https://desrist.org/design-research-in-information-systems

Van Lamoen, M. A. S., Cloodt, M., & Alblas, A. A. (2024). Collaborative innovation in a military organization: the importance of transactive memory, knowledge sharing, and learning from failure. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *71*, 11965-11988. https://doi.org/10.1109/TEM.2023.3269851

Weck, O. L. (2022). *Technology roadmapping and development: a quantitative approach to the management of technology*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88346-1

Wiig, K. M. (2002). Knowledge management in public administration. *Journal of Knowledge Management*, *6*(3), 224-239. https://doi.org/10.1108/13673270210434331

Wilhelm, C., Thompson, E., Giammarco, K., & Whitcomb, C. (2020). System architecture practices to facilitate Department of Defense technology transfer. *Journal of Technology Transfer*, *45*, 705-717. https://doi.org/10.1007/s10961-019-09722-3

Windrum, P. (2008). Innovation and entrepreneurship in public services. In P. Windrum & P. Koch (Eds.), *Innovation in Public Sector Services* (pp. 3-20). Edward Elgar.

Yin, R. K. (2017). *Case study research and applications: design and methods* (6th ed.). Sage.

Rômullo Girardi

Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Defesa do Instituto Militar de Engenharia (IME); Mestre em Sistemas e Computação pelo Instituto Militar de Engenharia (IME).
E-mail: romullogirardi@ime.eb.br

Juraci Ferreira Galdino

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); Comandante e Reitor do Instituto Militar de Engenharia (IME). E-mail: galdino.juraci@eb.mil.br

Paulo César Pellanda

Doutor em Controle Automático pelo *Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace* (ISAE-SUPAERO); Pró-Reitor de Pós-Graduação do Instituto Militar de Engenharia (IME). E-mail: pellanda@ime.eb.br

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Rômullo Girardi: Conceituação (Liderança); Curadoria de dados (Liderança); Investigação (Liderança); Metodologia (Liderança); Software (Liderança); Validação (Liderança); Visualização (Liderança); Escrita - rascunho original (Liderança); Escrita - revisão e edição (Liderança).

Juraci Ferreira Galdino: Conceituação (Suporte); Curadoria de dados (Suporte); Investigação (Suporte); Metodologia (Suporte); Software (Suporte); Supervisão (Liderança); Validação (Suporte); Visualização (Suporte); Escrita - rascunho original (Suporte); Escrita - revisão e edição (Suporte).

Paulo César Pellanda: Conceituação (Suporte); Curadoria de dados (Suporte); Investigação (Suporte); Metodologia (Suporte); Software (Suporte); Supervisão (Liderança); Validação (Suporte); Visualização (Suporte); Escrita - rascunho original (Suporte); Escrita - revisão e edição (Suporte).

DISPONIBILIDADE DE DADOS

O conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo não está disponível publicamente, uma vez que são de acesso restrito no âmbito do Exército Brasileiro.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores não têm conflito de interesse.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Professor João José Pinto Ferreira, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), por sua valiosa contribuição no delineamento metodológico para o desenvolvimento da ontologia InovaDefesa, modelo que fundamentou o desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão InovaEB. Agradecem, ainda, ao Coronel José Adalberto França Junior, da Agência de Gestão e Inovação Tecnológica (AGITEC), por sua imensa contribuição no trabalho, decorrente de seu robusto conhecimento em gestão da inovação de defesa, bem como por sua atuação como ponto focal junto à Agência. Registram também seu agradecimento ao Major Bruno Salerno Chaves, por ter atuado como um valioso ponto de contato junto ao Escritório de Projetos do Exército (EPEx). Por fim, os autores agradecem aos Comandantes da Escola de Comando e Estado-Maior do Exército (ECEME), General de Brigada Mario Eduardo Moura Sassone, e da Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais (EsAO), General de Brigada Marcello Yoshida, por viabilizarem o processo de avaliação e validação da ferramenta junto à amostra de 225 futuros decisores do Exército Brasileiro.