Cadernos de

Prospectiva Industrial de Defesa

Segmento ARMAS E EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE TIRO

FIA BUSINESS SCHOOL
CNI Confederação Nacional da Indústria
ABDI Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS

Ficha Técnica

Presidência da Republica
LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA - ***Presidente da República Federativa do Brasil***

Ministério de Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC)
MÁRCIO FERNANDO ELIAS ROSA - ***Ministro do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços***

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI):
OLAVO NOLETO ALVES - ***Presidente***
RANDAL FARAH DE OLIVEIRA LEÃO - ***Diretor***
NEIDE APARECIDA DE SOUSA FREITAS - ***Diretora***
KAREN LEAL - ***Líder do Projeto Complexo Industrial da Defesa e Segurança Pública***

Confederação Nacional da Indústria (CNI):
ANTONIO RICARDO ALVAREZ ALBAN - ***Presidente***
MÁRIO SÉRGIO CARRARO TELLES – ***Diretor de Desenvolvimento Industrial***
MÁRCIO GUERRA AMORIM – ***Superintendente de Inteligência Econômica***
RAFAEL SILVA E SOUSA – ***Gerente do Observatório Nacional***
MARCELLO JOSÉ PIO – ***Especialista em Políticas e Indústria***
JULIANO ANTÔNIO SEBBEN – ***Especialista em Políticas e Indústria***

Fundação Instituto Administração da Universidade de São Paulo (FIA/USP):
Prof. Dr. NELSON BARRIZZELLI - ***Coordenador Geral***
Prof. Dr. LINO RODRIGUES - ***Coordenador***
General Div. R1 IVAN FERREIRA NEIVA FILHO - ***Coordenador***
Profa. Dra. SHEILA SERAFIM DA SILVA - ***Consultora***
Coronel R1 ALEXANDRE MAGNO FERNANDES RIBEIRO - ***Consultor***

Especialistas colaboradores:
Conteúdo desenvolvido com a colaboração de representantes da indústria, do governo e da academia.

Revisão e editoração:
Equipe da Unidade de Comunicação e Marketing (UCM) da ABDI

Prefácio

O Projeto de Avaliação e Monitoramento da Base Industrial de Defesa (BID), conduzido pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), constitui um esforço estruturado de produção de conhecimento estratégico sobre a capacidade produtiva, tecnológica e organizacional da indústria de defesa brasileira. Seu objetivo é ampliar a compreensão sobre os segmentos que compõem a BID, suas interdependências, desafios e potencialidades, contribuindo para a formulação de políticas públicas e estratégias de fortalecimento da soberania nacional.

A Base Industrial de Defesa brasileira caracteriza-se por sua diversidade e complexidade produtiva, reunindo desde segmentos tradicionais, como têxteis técnicos, até setores de alta intensidade tecnológica, como sistemas aeroespaciais, cibernéticos, mísseis, plataformas terrestres, navais e aéreas, sensores, comunicações e sistemas autônomos. Essa heterogeneidade exige análises segmentadas, capazes de preservar as especificidades de cada área sem perder de vista sua integração sistêmica.

É nesse contexto que se insere esta coleção de cadernos de prospectiva industrial, resultado de uma iniciativa da ABDI em parceria com o Observatório Nacional da Indústria da Confederação Nacional da Indústria (CNI) e a Fundação Instituto de Administração (FIA/USP), com base em metodologia estruturada de análise prospectiva desenvolvida pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Aplicado a oito segmentos estratégicos da BID, o trabalho identifica tecnologias emergentes, eventos futuros de impacto e transformações nos perfis ocupacionais e competências requeridas, permitindo antecipar tendências e apoiar decisões estratégicas de longo prazo.

Mais do que uma análise setorial, esta iniciativa busca fortalecer capacidades nacionais em setores críticos, reduzir vulnerabilidades externas e ampliar a competitividade da indústria nacional. Em um cenário internacional marcado por aceleração tecnológica, reconfiguração das cadeias globais de suprimento e tensões geopolíticas crescentes, a capacidade de antecipação torna-se elemento central para a resiliência industrial e a autonomia estratégica do país.

Os cadernos destinam-se a formuladores de políticas públicas, gestores industriais, instituições de ensino e pesquisa e demais atores comprometidos com o fortalecimento da Base Industrial de Defesa, servindo como instrumento de apoio à tomada de decisão e à construção de estratégias de desenvolvimento produtivo, inovação e soberania tecnológica.

1. Introdução

A rápida evolução tecnológica, associada às transformações geopolíticas e às mudanças nos fluxos do comércio internacional, impõe ao segmento de armas e equipamentos de controle de tiro novos desafios e oportunidades sem precedentes. A incorporação de tecnologias emergentes, como sistemas de controle de fogo baseados em inteligência artificial, munições programáveis, manufatura aditiva, cibersegurança embarcada e soluções *by-wire*, transformará profundamente os processos produtivos, os requisitos de qualificação da força de trabalho e a dinâmica competitiva entre empresas. Ao mesmo tempo, fatores externos — como a instabilidade de cadeias globais de suprimento, a intensificação dos controles de exportação, a pressão crescente por critérios de sustentabilidade (ESG) e as oscilações da política e dos orçamentos internos de defesa — acrescentam camadas de complexidade e incerteza ao planejamento estratégico das empresas do setor.

Neste contexto, os estudos prospectivos sobre o futuro da mão de obra assumem papel fundamental, pois permitem antecipar lacunas de competências, identificar perfis profissionais emergentes e orientar programas de formação, atualização e retenção de talentos. A construção de cenários e a análise de tendências tornam-se ferramentas essenciais não apenas para preparar empresas e instituições de apoio tecnológico para os impactos da digitização e da automação avançada, mas também para alinhar o segmento às exigências de um mercado global em constante transformação e às prioridades estratégicas nacionais de soberania e segurança.

Assim, refletir de forma estruturada sobre o futuro da qualificação da mão de obra no segmento de Armas e Equipamentos de Controle de Tiro é mais do que uma necessidade operacional: é uma condição indispensável para garantir a competitividade da Base Industrial de Defesa, fortalecer a resiliência do setor diante de eventos disruptivos e assegurar que o Brasil esteja preparado para os desafios e oportunidades que os próximos dez anos certamente trarão.

Este estudo é fruto da aplicação do Modelo de Prospectiva Industrial, desenvolvido e aplicado pelo Observatório Nacional da Indústria da CNI e está baseado em pesquisas teóricas em fontes secundárias e consulta a especialistas. O estudo objetiva discutir, sugerir e priorizar ações **estratégicas, cursos e oferta de novos profissionais**, visando contribuir para o aumento da competitividade dos segmentos por meio da melhoria da oferta de mão de obra especializada. Para tal, foram consideradas as dimensões: tecnológica, eventos futuros de impacto, evolução dos perfis profissionais, incertezas críticas (que afetam diretamente a formação de mão de obra) e desafios e incertezas.
De forma esquemática (figura 1), a aplicação do Modelo de Prospectiva seguiu o seguinte raciocínio de análise.

FIGURA 1: Esquema Geral do Modelo de Prospectiva Industrial utilizado para este estudo



Fonte: Observatório Nacional da Indústria (2025)

2. Contextos Futuros

2.1) Impactos das tecnologias emergentes no mercado de trabalho

Para fins deste estudo, consideram-se como tecnologias emergentes aquelas que estão em constante evolução e que ainda não estão totalmente disseminadas (em termos de aquisição e uso) na sociedade, mas possuem o potencial de transformar profundamente diversos setores ou segmentos econômicos, incluindo o impacto na mão de obra do setor/segmento e criação de demanda por novos profissionais. A seguir, são apresentadas as tecnologias emergentes para o segmento de *Armas e Equipamentos de Controle de Tiro*, juntamente com o possível impacto geral, no mercado de trabalho.

1 **Sistemas de tiro e Controle de Fogo com sensor de fusão e IA** - Sistemas de controle de tiro que combinam sensores (EO/IR, laser rangefinder, radares de curto alcance), balística computacional e IA para priorizar alvos, estabiliza o sistema para manutenção da mira e otimizar o engajamento. A IA pode detectar, reconhecer e priorizar os alvos

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de sistemas, de *software*/IA e eletrônicos; testadores de integração; operadores de tiro e de manutenção; gestores de produto.
- **Como o trabalho muda** - Tarefas analógicas de ajuste e calibração darão lugar à configuração de algoritmos, validação de modelos e operação assistida. Crescerá a demanda por competências em *machine learning* (ML), fusão de sensores e verificação de sistemas críticos.

2 **Munição "programável" e projéteis com eletrônica embarcada (Munição inteligente)** - Cartuchos e projéteis com microeletrônica embarcada, que permitem programação de modos (explosão no ar e proximidade) ou orientação limitada para aumentar eficácia e reduzir danos colaterais. Aplicação em armamento pesado. No Brasil não há um segmento que trabalhe em armamento leve e pesado simultaneamente. São nichos diferentes.

- **Nível de impacto** - Alto (em nichos de munição e linhas especializadas).
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros/especialistas das seguintes áreas: munição, eletrônica embarcada, optrônica, produção/linha de montagem de munição, controle de qualidade e logística de armazenamento.
- **Como o trabalho muda** - A produção passará a exigir microeletrônica, optrônica, testes eletrônicos, procedimentos de segurança e diferentes formas de estocagem.

3 **Controle remoto/autônomo anti-VANT com armas de impacto (sistemas de torreta com visão computacional)** - Torretas automatizadas que detectam e avaliam drones por visão computacional e podem incorporar munição cinética (ou não letal) com suporte de IA.

- **Nível de impacto** - Altíssimo.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de visão computacional e de integração sistemas; operadores remotos e de suporte e manutenção eletrônica; especialistas em Rádio Frequência (RF) e sensores; engenheiro de sistemas; engenheiro mecânico e engenheiro mecatrônico.
- **Como o trabalho muda** - Demanda por operadores treinados em interfaces remotas, técnicos que combinem eletromecânica e eletrônica, e desenvolvedores de algoritmos de detecção/identificação.

4 **Fabricação aditiva (leito de pó metálico e deposição) para peças de armas** - Impressão 3D metálica para produzir componentes estruturais, gabaritos e protótipos, reduzindo tempo de P&D e oferecendo geometria otimizada. Já alcançou escala industrial, começando a difundir para diversos nichos para produção industrial. Proporciona uma versatilidade maior.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiro de materiais (mais afetado); operadores de manufatura aditiva (AM); engenheiros de processos; especialistas em pós-processamento; projetistas CAD/CAE com foco em design para manufatura aditiva; especialistas/técnicos em qualidade e metrologia.
- **Como o trabalho muda** - Redução do ciclo de prototipagem e transformação de funções de usinagem tradicional em operação de máquinas de manufatura aditiva e controle de parâmetros. Aumentará a versatilidade e haverá um maior aproveitamento do material.

5 **Ótica avançada e miras inteligentes (fusão EO e IR + estabilização + Realidade Aumentada)** - Miras com fusão de sensores, rastreamento por IA, estabilização e camadas de interface *Head-Up Display*/Realidade Aumentada (HUD/AR) para operadores.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros ópticos; desenvolvedores de *software* e *firmware* embarcado; engenheiros de integração; operadores; profissionais de suporte técnico; engenheiro eletrônico; especialista em optrônica e engenheiro de telecomunicações.
- **Como o trabalho muda** - A montagem e calibração de subsistemas ópticos exigirá precisão e conhecimento em sensores. Com isso, surge demanda por atualização de formação de operadores para interfaces digitais e Realidade Aumentada (AR).

6 **Detecção do estado da arma e IoT embarcada (monitoramento de condições, contadores de disparo, telemetria segura)** - Sensores integrados que monitoram uso, fadiga, telemetria balística e necessidades de manutenção, com registros criptografados

- **Nível de impacto** - Moderado → alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de sistemas embarcados; especialistas em telemetria; analistas de dados; equipes de manutenção preditiva; profissionais de segurança da informação; especialistas em eletrônica; especialista em sensoriamento.
- **Como o trabalho muda** - A manutenção migrará de programada para preditiva, surgindo daí rotinas de análise de dados e *dashboards*. Os técnicos de manutenção precisarão interpretar telemetria e executar ações preventivas.

7 **Materiais avançados e tratamentos superficiais (cerâmicas, ligas de alta resistência, revestimentos tribológicos e nano)** - O desenvolvimento de aços de alta resistência, ligas metálicas e poliméricas e revestimentos tem buscado aumentar a vida útil, reduzir o peso e melhorar o desempenho térmico dos equipamentos. O aço em armamento leve tem sido cada vez menos utilizado.

- **Nível de impacto** - Moderado → alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de materiais e metalúrgicos; profissionais de controle de processos; profissionais de P&D; especialistas em tratamento térmico e revestimentos; engenheiros químicos.
- **Como o trabalho muda** - os processos de fabricação exigirão, cada vez mais, novas competências em seleção de ligas, caracterização e tratamentos. Haverá necessidade de testes e qualificações mais intensos.

8 **Sistemas eletrônicos *(by-wire)* de disparo e controles definidos por *softwares*** - Substituição parcial de mecanismos mecânicos por acionadores eletrônicos, controles configuráveis e atualizações de *firmware* (com ênfase em segurança).

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de software especialista em firmware e sistemas embarcados; engenheiros eletrônicos; validadores/ testadores; especialistas em segurança funcional e cibersegurança; profissionais de manutenção.
- **Como o trabalho muda** - Aumento do desenvolvimento de *softwares* críticos, com a necessidade de práticas de engenharia de *softwares* seguros e testes rigorosos. O processo de manutenção incluirá atualizações de *firmware* e gestão de versões.

9 **Cibersegurança e cadeias de suprimento seguras (raiz de confiança de *hardware*, proteção IP e gestão de componentes)** - Práticas e tecnologias que garantem integridade de *firmware* e *hardware*, rastreabilidade de componentes e resistência a adulterações. São requisitos de segurança cibernética.

- **Nível de impacto** - Alto (transversal a todas as tecnologias).
- **Principais profissionais afetados** - Especialistas em cibersegurança; engenheiros de *firmware*; gestores de *compliance* de cadeia de suprimentos; auditores internos; analistas SOC (*Security Operations Center*); gerentes de segurança de cadeias de suprimento.
- **Como o trabalho muda** - A rotina de desenvolvimento passa a contemplar requisitos de segurança, com o estabelecimento de novos papéis de relevância para monitoramento contínuo e resposta a incidentes. Os fornecedores de 1ª/2ª linha precisarão cumprir os controles estabelecidos.

10 **Armamento de energia dirigida (AED)** - É uma família de sistemas — por exemplo *lasers* de alta energia, micro-ondas de alta potência e feixes de partículas — que atacam alvos com energia concentrada em vez de projéteis sólidos, permitindo efeitos que vão de dissuasão e neutralização de sensores até dano físico ou destruição dependendo potência e exposição.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros especialistas em óptica, laser, Radio Frequência, e micro-ondas, de potência e eletrônica de potência, térmicos e de integração de sistemas; técnicos de manutenção e teste; operadores, bem como profissionais da área jurídica, de segurança e saúde pública devido a riscos não cinéticos. Fornecedores e equipes de logística também terão que migrar de cadeias de munição para gestão de energia e refrigeração.
- **Como o trabalho muda** - O trabalho se alterará na prática com maior foco em engenharia de fontes e condicionamento de energia, gestão térmica, *software* de controlo e mira de alta precisão, regimes de manutenção e processo de certificação distintos, novos protocolos operacionais e de escalonamento de força, bem como o monitoramento médico e o estabelecimento de procedimentos éticos quando usados para controle de multidões. Isto exigirá a formação de equipes multidisciplinares e treinamentos específicos.

2.2) Outros eventos que poderão impactar o segmento

1 **Tendência global de modernização e redistribuição dos fornecedores de armas** - Mudanças no comércio internacional de armas (declínio relativo de alguns exportadores e concentração de compradores), juntamente com alterações na geopolítica da Europa Ocidental, podem alterar a concorrência e oportunidades de exportação para fabricantes brasileiros.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Profissionais de compliance comercial e de exportação; gestores de negócios; engenheiros de integração.
- **Como o trabalho muda** - Aumento da necessidade de especialistas em regulação internacional, negociação comercial e adaptação de produtos a requisitos externos.

2 **Proliferação de drones e contramedidas** - O crescente uso de Sistemas Aéreos não Tripulados (SANTs), autônomos ou remotamente pilotados, em conflitos e segurança pública impulsionará o mercado tecnológico de contramedidas (torretas, sistemas anti-VANT, sensores). Empresas que ofertem soluções integradas (mecânica + eletrônica + *software*) poderão explorar novos mercados.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de sistemas integrados; especialistas em visão computacional e IA; operadores de sistemas anti-VANT; profissionais de manutenção de sensores; especialistas em integração eletromecânica.
- **Como o trabalho muda** - Demanda por novos profissionais (desenvolvedores de algoritmos de detecção, operadores remotos), e necessidade de requalificação de técnicos mecânicos para lidar com sistemas eletrônicos e sensores.

3 **Aumento dos controles de exportação e regulamentos** - A ampla revisão de controles (EAR/ECCN, regimes internacionais como *Wassenaar*/ATT e medidas nacionais) tem marcado os últimos anos. Isso influencia a capacidade de exportação, licenciamento e cooperações tecnológicas.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Profissionais de *compliance*; profissionais do departamento jurídico; profissionais das áreas de qualidade, logística e relações governamentais.
- **Como o trabalho muda** - Maior demanda por *compliance* operacional contínuo (documentação e auditorias) e menos mobilidade para talentos em cadeias internacionais sem certificação. Como efeito adverso, há a possibilidade de transferência da tecnologia e partes de sua produção para outros países, o que impacta nos postos de trabalho e retenção de talentos.

4 **Choques e reconfiguração das cadeias de suprimento de componentes críticos** - A dependência de semicondutores, componentes baseados em terras-raras e outros insumos críticos, expõe fornecedores a rupturas e pressões de preço. Soma-se a isso as iniciativas globais para "descarbonizar" ou "desacoplar" cadeias de suprimento podem afetar oferta e os custos dos sensores.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Gerentes de cadeias de suprimentos; profissionais do setor de compras; engenheiros de componentes (*component Engineering*); planejadores de produção.
- **Como o trabalho muda** - Maior foco em gestão de risco da cadeia de suprimentos, com o fortalecimento da engenharia para *redesign* com componentes alternativos e gestão de estoques estratégicos.

5 **Fortalecimento dos requisitos de cibersegurança e proteção de *firmware/hardware*** - Com armas e acessórios cada vez mais digitais (sistemas de controle de tiro - FCS, miras, sensores e mecanismos *by-wire*), governos e clientes exigirão controles de segurança, raiz de confiança e auditorias. Falhas de cibersegurança podem comprometer contratos e imagem institucional.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de *firmware* e de sistemas embarcado; especialistas em cibersegurança (*hardware* & *software*); testadores de segurança; arquitetos de sistemas.
- **Como o trabalho muda** - Novas exigências de *security by design*. Os testes de penetração e auditoria tornam-se rotina. Aumenta a necessidade de certificações (ex. segurança funcional).

6 **Pressões por controle e redução da proliferação de armas pequenas** - Relatórios sobre proliferação de armas pequenas e munições elevam a pressão por regimes de rastreabilidade e controles (ex. acordos e relatórios do *Small Arms Survey*). Para fabricantes, isso implica exigências de rastreio, conformidade e reputação.

- **Nível de impacto** - Moderado.
- **Principais profissionais afetados** - Profissionais de *compliance* regulatório; especialistas em rastreabilidade (TI/gestão de dados); profissionais de relações públicas; profissionais de comunicação.
- **Como o trabalho muda** - Mais recursos alocados a rastreabilidade e documentação. Foco da área de relações institucionais em mitigar riscos reputacionais.

7 **Aumento da difusão das tecnologias da indústria 4.0** - Avanços em IA, sensores EO/IR, visão computacional, manufatura aditiva e materiais permitirão o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado e melhorias nos níveis de produtividade.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Cientistas de dados; engenheiros de *Machine Learning* (ML); especialistas em sensores; especialistas em manufatura aditiva; projetistas CAD/CAE; especialistas em (novos) materiais.
- **Como o trabalho muda** - Substituição parcial de tarefas repetitivas por processos automatizados. Surgimento de funções híbridas (ex. engenheiro mecânico + dados). Aumento da demanda por P&D e prototipagem rápida.

8 **Crescimento do mercado de ciberdefesa e proteção de sistemas integrados** - A expansão do mercado de segurança digital para defesa cria demandas por serviços e produtos especializados (ex. *hardening*, detecção e resposta). Fornecedores tradicionais de armas talvez precisem incorporar ou subcontratar capacidades digitais.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Analistas de segurança operacional; engenheiros de integração; consultores de *hardening*; equipes de SOC (*security operations*).
- **Como o trabalho muda** - Expansão de serviços pós-venda (monitoramento e atualização) com necessidade de equipes dedicadas a suporte contínuo e resposta a incidentes.

9 **Mudanças geopolíticas regionais (América Latina) e alianças externas** - A evolução das relações entre Brasil, EUA, China e parceiros regionais influenciará o acesso a tecnologias, transferência de *know-how* e acordos de defesa. Cooperações mais estreitas com parceiros poderão abrir mercados, mas também impor novos condicionantes.

- **Nível de impacto** - Moderado.
- **Principais profissionais afetados** - Profissionais de relações internacionais; gestores de contratos internacionais; profissionais para o estabelecimento de processos colaborativos de P&D; profissionais de inteligência de mercado.
- **Como o trabalho muda** - A possibilidade de maior colaboração internacional irá requerer profissionais capazes de gerir cooperações técnico-científicas e programas com parceiros estrangeiros.

10 **Pressões ESG e requisitos ambientais em fornecedores e processos** - Cadeias globais e compradores (incluindo bancos/seguradoras) estão cada vez mais atentos a práticas ambientais e sociais. Isso poderá afetar linhas de financiamento, seguros e acesso a mercados de exportação.

- **Nível de impacto** - Moderado.
- **Principais profissionais afetados** - Gerentes de sustentabilidade/ESG; engenheiros de processos; profissionais de HSE (*Heath*, *Safety* & *Environment*); gerentes de relações com investidores.
- **Como o trabalho muda** - Aumento do foco na otimização de processos para redução de resíduos e consumo energético com impacto sobre contratação de fornecedores. Maior número de profissionais dedicados a relatórios ESG.

11 **Aumento de ameaças assimétricas e do crime organizado** - Expansão do uso por atores não-estatais (crime organizado e milícias dentre outros) e maior demanda por armamento e sistemas de controle local podem criar mercados domésticos (legais) e, simultaneamente, maior escrutínio público e regulatório. Os fabricantes nacionais podem receber maior pressão pública e regulatória.

- **Nível de impacto** - Moderado → alto (dependendo do contexto local).
- **Principais profissionais afetados** - Profissionais de suporte logístico e manutenção; especialistas em segurança corporativa; profissionais de compliance; profissionais de relações com clientes governamentais.
- **Como o trabalho muda** - Possível aumento na demanda por manutenção e serviços. O aumento do escrutínio público exigirá equipes de compliance e comunicação proativas.

3. Competências[1] que ganharão importância para o segmento

A difusão mais intensa das tecnologias emergentes possui um considerável potencial para transformar não somente os processos produtivos, mas também na lógica de funcionamento das empresas. Essas inovações tecnológicas podem impulsionar a implementação de novos modelos de negócio baseados em dados, hiperpersonalização, serviços integrados a produtos (servitização), produção sob demanda e cadeias digitais de valor. Em paralelo, surgem novas ferramentas gerenciais como plataformas de gestão em tempo real, sistemas baseados em inteligência artificial para apoio à decisão, metodologias ágeis aplicadas à engenharia de processos e práticas de governança baseadas em ESG e rastreabilidade digital.

Esse novo cenário impõe uma mudança substancial no perfil dos profissionais demandados pelas empresas da Base Industrial de Defesa. A tecnologia, por si só, não transforma a indústria; ela exige um novo conjunto de habilidades (*skills*), capacidades (*abilities*) e conhecimentos explícitos que permita aos trabalhadores operarem sistemas

[1] O conceito de competência utilizado neste estudo refere-se à **mobilização de conhecimentos, habilidades e capacidades (aptidões)** necessárias ao desempenho de funções típicas do trabalho, realizada segundo padrões de **qualidade e produtividade** esperados pela natureza do trabalho incluindo a questão da empregabilidade. Os elementos que compõem uma competência podem assim ser definidos:
Habilidades (*Skills*) - O conceito de habilidade está relacionado à forma como as atividades são realizadas, à aplicação do conhecimento e à forma de agir e pensar. É desenvolvida por meio de treinamento (prática) ou experiência.
Capacidade (*abilities*) - O conceito de capacidade (*ability*) está relacionado às características das pessoas, ou seja, seu comportamento ao agir ou reagir a um produto, organização, pessoa, evento ou situação. A capacidade nem sempre é modificada ao longo do tempo. É a qualidade de ser capaz de fazer alguma coisa.
Conhecimentos - Considera-se o conhecimento como aquele explícito, que é definido por Nonaka e Takeuchi como sendo "o conhecimento transmitido por vias formais e sistemáticas, facilmente codificado por fórmulas, símbolos, normas e especificações. São facilmente difundidos pelos sistemas atuais de comunicação".

complexos, interagirem com máquinas inteligentes, extraírem valor dos dados e colaborarem em ambientes híbridos e digitalizados. Não se trata apenas de operar máquinas, mas de compreender os sistemas que as conectam, de analisar os dados que elas produzem e de tomar decisões baseadas em evidências. Isso exige uma formação sólida, constantemente atualizada e conectada às práticas do mundo do trabalho.

Portanto, há uma relação direta e intensa de impacto entre a difusão de novas tecnologias e novos modelos organizacionais, e a necessidade de reconfiguração das formações profissionais. À medida que as empresas do segmento se transformam, surgem novas funções, novos fluxos de trabalho e novas interações entre homem e máquina, exigindo dos profissionais um conjunto ampliado de competências que integram habilidades operacionais, capacidades cognitivas refinadas e conhecimentos técnicos atualizados.

Baseado no contexto apresentado anteriormente, são apresentadas, a seguir, as principais habilidades, capacidades e conhecimentos que ganharão importância ao longo dos próximos 10 anos.

3.1) Habilidades (*Skills*)[2] que ganharão importância

Pensamento Crítico

Categoria: Habilidades básicas → pensamento crítico.

Descrição: Analisar argumentos e dados, identificar pressupostos, pesar alternativas técnicas e operacionais e escolher opções com justificativa lógica.

Por que é importante: Com os sistemas de controle de tiro (FCS) baseados em IA, telemetria, manufatura aditiva e problemas de cadeia de suprimentos, decisões técnicas passam a requerer avaliação crítica dos *trade-offs* (ex. *custo* vs. *risco* vs. *desempenho*).

Como capacitar: Estudos de caso reais, exercícios de análise crítica (*post-mortem* de projetos), debates técnico-guiados e *role-plays* de tomada de decisão sob incerteza.

Aprendizagem ativa / Aprendizagem estratégica

Categoria: Habilidades Básicas → aprendizagem ativa/aprendizagem estratégica.

Descrição: Identificar lacunas de conhecimentos, procurar novas fontes, experimentar rapidamente e incorporar aprendizados no trabalho.

[2] A tipologia utilizada para a identificação das habilidades foi baseada naquelas definidas e utilizadas pela ESCO (European Skills, Competences, Qualifications and Occupations) e pelo Sistema O*NET (USA).

Por que é importante: O ritmo de inovação (ex. IA, manufatura aditiva e materiais avançados) exige atualização contínua. Os profissionais devem reaprender processos e ferramentas com rapidez.

Como capacitar: Ciclos curtos de POC (prova de conceito), *job rotation*, micro cursos práticos e avaliações pós-projeto.

Comunicação Técnica (oral/escrita) e Tradução para público não-técnico

Categoria: Habilidades básicas → redação/comunicação; habilidades sociais → comunicação com colegas e clientes.

Descrição: Sintetizar resultados técnicos (ex. ensaios, testes e vulnerabilidades) em relatórios claros e planos acionáveis para diretores, clientes ou órgãos reguladores.

Por que é importante: Com as exigências de *compliance*, auditorias e comunicação a *stakeholders* (ex. Forças armadas, governo, bancos, público), a capacidade de traduzir contextos técnicos para um público não técnico é crítica.

Como capacitar: Exercícios de redação de relatórios, apresentações simuladas para "cliente" e revisão por pares.

Monitoramento, inspeção e testes (*Field & Lab testing*)

Categoria: Habilidades técnicas → monitoramento, inspeção e testes.

Descrição: Projetar e realizar ensaios, coletar dados em campo e laboratório e avaliar conformidade de desempenho.

Por que é importante: Tecnologias como munição programável, FCS baseado em IA e armas eletrônicas exigem verificação e validação rígidas. Deve-se ressaltar que os processos de manutenção preditiva dependem de medições confiáveis.

Como capacitar: Campanhas de ensaio com *checklists*, certificação interna em métodos de teste, rotação entre bancada e campo.

Diagnóstico rápido e manutenção

Categoria: Habilidades técnicas → manutenção de equipamentos; reparos.

Descrição: Identificar falhas rapidamente (inclusive por telemetria), executar reparos corretivos e aplicar rotinas de manutenção preditiva.

Por que é importante: Sistemas com IoT embarcada e de monitoramento de condições possibilitam a mudança de uma manutenção de reativa para preditiva, obrigando que os técnicos interpretem alertas e ajam de acordo.

Como capacitar: Simulações com falhas injetadas, leitura de telemetria real, rotas de manutenção documentadas.

Integração de Sistemas / Análise de Interfaces

Categoria: Habilidades sistêmicas → análise de sistemas.

Descrição: Identificar, testar e alinhar interfaces entre mecânica, eletrônica, *firmware* e operador (Integração HW–SW).

Por que é importante: Soluções anti-VANT, sistemas de controle de tiro e armas eletrônicas são sistemas heterogêneos, com as falhas ocorrendo nas interfaces.

Como capacitar: Laboratórios de integração, exercícios de *fault-finding* multidisciplinar, *job-rotation* entre equipes.

Fluência Digital / Uso prático de ferramentas digitais

Categoria: Habilidades técnicas → fluência digital.

Descrição: Usar sistemas de gestão, plataformas de análise (*dashboards*), ferramentas CAD/CAM, e *software* de controle e diagnóstico.

Por que é importante: O uso de telemetria, *digital twins*, design para manufatura aditiva (DfAM) e gestão documental exige proficiência operacional em ferramentas digitais.

Como capacitar: Treinamentos *hands-on* em ferramentas digitais e projetos com entrega digital (documentação, modelos, dashboards).

Design for Additive Manufacturing — aplicação prática

Categoria: Habilidades técnicas → projetos tecnológicos de sistemas e produtos/peração e controle/instalação.

Descrição: Adaptar projetos ao processo de manufatura aditiva, preparar peças para impressão, gerir pós-processamento e qualificação.

Por que é importante: A manufatura aditiva metálica muda os modos de produção e demanda novos procedimentos operacionais e de inspeção.

Como capacitar: Oficinas de DfAM, operação de impressoras em laboratório e projetos com entregas validadas.

Gestão da Informação e rastreabilidade operacional

Categoria: Habilidades de gestão → gestão da informação.

Descrição: Organizar, armazenar e recuperar dados de produção/teste, manter trilha de auditoria (serialização e rastreabilidade).

Por que é importante: O aumento dos controles de exportações e pressões por rastreabilidade exigem registros confiáveis.

Como capacitar: Exercícios de preenchimento de *logs*, simulações de auditoria e uso de sistemas de gestão documental.

Negociação e Gestão de Contratos e de Fornecedores

Categoria: Habilidades técnicas → fluência digital.

Descrição: Usar sistemas de gestão, plataformas de análise (*dashboards*), ferramentas CAD/CAM, e *software* de controle e diagnóstico.

Por que é importante: O uso de telemetria, *digital twins*, design para manufatura aditiva (DfAM) e gestão documental exige proficiência operacional em ferramentas digitais.

Como capacitar: Treinamentos *hands-on* em ferramentas digitais e projetos com entrega digital (documentação, modelos, dashboards).

Design for Additive Manufacturing — aplicação prática

Categoria: Habilidades sociais → negociação/negociação e gestão de contratos e acordos.

Descrição: Negociar prazos, termos técnicos e cláusulas de *compliance* com clientes e fornecedores, além de gerenciar as relações contratuais.

Por que é importante: Choques em cadeias de suprimento e controles de exportação tornam a gestão contratual uma *skill* estratégica.

Como capacitar: Estudos de caso de terceirização, simulações de negociação, *shadowing* com compradores seniores.

Julgamento e tomada de decisões (prática aplicada)

Categoria: Habilidades sistêmicas → julgamento e tomada de decisões.

Descrição: Pesar custos, benefícios e riscos operacionais para escolher ações operacionais e estratégicas (ex. suspender um lote, aplicar patch de *firmware*).

Por que é importante: Secisões sobre atualizações de *firmware*, *recall*, *trade-offs* de produção e testes exigem julgamento informado.

Como capacitar: Exercícios de decisão com impactos simulados, *role-plays* com múltiplos *stakeholders*.

Ética profissional/Responsabilidade e conformidade

Categoria: Tipologia distribuída em *Habilidades Sociais* e *Habilidades Sistêmicas*.

Descrição: Aplicar princípios éticos ao desenvolvimento e comercialização, reconhecer dilemas (ex. autonomia letal e munição guiada) e agir conforme as normas e legislações vigentes.

Por que é importante: Tecnologias sensíveis (ex. *smart bullets* e tecnologias de automação) trazem riscos éticos e reputacionais e requerem julgamentos responsáveis.

Como capacitar: *Workshops* de ética aplicada, estudos de caso e comissões internas de revisão.

Tabela de Priorização das Habilidades Requeridas

Habilidade	Importância 5 anos	Importância 10 anos
Pensamento Crítico	Alta	Alta
Aprendizagem Ativa / Estratégica	Alta	Alta
Comunicação Técnica (oral/escrita)	Alta	Alta
Monitoramento, Inspeção e Testes	Alta	Média
Diagnóstico Rápido & Manutenção Preditiva	Alta	Alta
Integração de Sistemas e Interfaces	Alta	Alta
Fluência Digital	Alta	Alta
DfAM (Design para AM) prático	Média	Alta
Gestão da Informação / Rastreabilidade	Alta	Alta
Negociação & Gestão de Contratos	Média	Alta
Julgamento & Tomada de Decisões	Média	Alta
Ética Profissional & Responsabilidade	Média	Alta

3.2) Capacidade (*abilities*)[3] que ganharão importância

Atenção seletiva

Categoria: Capacidade cognitiva.

Descrição: Capacidade de se concentrar em uma tarefa durante um período, sem distração. Foco em detalhes críticos em ambientes complexos.

Por que é importante: Tecnologias como FCS com fusão de sensores, telemetria e testes de munições programáveis exigem operadores e técnicos que detectem sinais e erros relevantes em meio a muitos dados e ruídos operacionais. Em ambientes de produção, os processos de inspeção e ensaio são essenciais para separar sinais úteis de ruídos.

Como desenvolver: Treinos de atenção focalizada (ex. exercícios de inspeção com distrações graduais), simulações de bancada com dados realistas, rotinas de revisão em pares e *mindfulness* aplicado ao trabalho.

Percepção de problemas

Categoria: Capacidade cognitiva.

Descrição: Capacidade de perceber quando algo está errado ou pode falhar. Reconhecer existência de problema.

Por que é importante: Com aumento de sensores embarcados (ex. IoT e telemetria) e amostragem contínua, detectar anomalias precocemente evita falhas críticas e *recall*. A capacidade é vital para manutenção preditiva e garantia de qualidade.

Como desenvolver: Treinamentos com cenários com falhas sutis, análise de *logs* reais, exercícios de *troubleshooting* e *checklists* de inspeção que forçam a identificação precoce de desvios.

Velocidade de organização e resposta

Categoria: Capacidade cognitiva.

Descrição: Capacidade de rapidamente dar sentido, combinar e organizar informações em padrões significativos.

Por que é importante: Operações de integração HW–SW (ex. armas eletrônicas e FCS) e inspeção de lotes exigem resposta rápida aos eventos (ex. falhas, *firmware patch* e *recall*). A rapidez reduz o tempo de parada e aumenta o tempo de disponibilidade.

[3] A tipologia utilizada para a identificação das habilidades foi baseada naquelas definidas e utilizadas pela ESCO (*European Skills, Competences, Qualifications* and *Occupations*) e pelo Sistema O*NET (USA).

Como desenvolver: Treinamentos de resposta a incidentes, simulações cronometradas, exercícios de priorização e *playbooks* operacionais.

Reação a estímulos

Categoria: Capacidades psicomotoras.

Descrição: Capacidade de responder rapidamente (mão e dedo) a um sinal (som, luz, figura) no momento em que ele é mostrado.

Por que é importante: Em testes de bancada, calibração de sistemas ópticos e ajustes finos de atuadores/mecanismos, reações rápidas melhoram a eficiência e a segurança. Também é útil em operações remotas (torretas, anti-UAV).

Como desenvolver: Treinos práticos com sinais visuais e sonoros, simuladores de bancada com estímulos aleatórios e exercícios de coordenação *olho-mão*.

Destreza de mãos e dedos

Categoria: Capacidades psicomotoras.

Descrição: Movimentos precisos dos dedos e mãos para montar, manusear ou ajustar peças com rapidez e precisão.

Por que é importante: Montagem de componentes ópticos, eletrônicos e munição necessita de alta destreza. O pós-processo da manufatura aditiva e montagem fina demandam habilidade manual para tolerâncias reduzidas.

Como desenvolver: Oficinas práticas de montagem fina, estações de trabalho com peças reais e protótipos, exercícios de motricidade fina e certificação prática.

Orientação espacial

Categoria: Capacidade cognitiva.

Descrição: Saber a posição e relacionamento espacial de objetos no sentido tridimensional e de proporção.

Por que é importante: Projetos para manufatura aditiva (DfAM), integração de conjuntos mecânicos e ópticos e verificação balística exigem boa leitura espacial para montagem e diagnóstico.

Como desenvolver: Exercícios CAD e CAE *hands-on*, montagem e desmontagem de conjuntos, treinamentos com modelos 3D e realidade aumentada para visualização espacial.

Compreensão escrita

Categoria: Capacidades cognitiva.

Descrição: Ler e compreender documentos técnicos, manuais, normas e procedimentos.

Por que é importante: Normas de segurança, requisitos de compliance (exportação, rastreabilidade) e procedimentos de teste e qualificação exigem leitura técnica precisa, bem como as interfaces de *firmware* e *changelogs*.

Como desenvolver: Cursos de leitura técnica, exercícios de interpretação de especificações, estudos de caso práticos com documentação real e avaliações de compreensão.

Compreensão e Expressão oral, e Clareza de expressão

Categoria: Capacidade cognitiva (componente comunicação).

Descrição: Ouvir e entender instruções verbais complexas; comunicar-se verbalmente com clareza.

Por que é importante: As funções de coordenação entre equipes multidisciplinares (ex. mecânica, eletrônica, *software* e qualidade), *briefings* operacionais e comunicação com clientes e forças armadas exigem instrução verbal precisa, especialmente em suporte pós-venda e integração.

Como desenvolver: *Role-plays*, simulacros de reunião técnica, *briefings* cronometrados, *feedback* de comunicação e cursos de apresentação técnica.

Expressão escrita (documentação técnica)

Categoria: Capacidade cognitiva (componente comunicação).

Descrição: Ouvir e entender instruções verbais complexas; comunicar-se verbalmente com clareza.

Por que é importante: As funções de coordenação entre equipes multidisciplinares (ex. mecânica, eletrônica, *software* e qualidade), *briefings* operacionais e comunicação com clientes e forças armadas exigem instrução verbal precisa, especialmente em suporte pós-venda e integração.

Como desenvolver: *Role-plays, simulacros de reunião técnica, briefings cronometrados, feedback de comunicação e cursos de apresentação técnica.*

Sensibilidade de contraste visual e Visão de detalhes

Categoria: Capacidades sensoriais.

Descrição: Identificar diferenças visuais entre objetos sob brilho ou luz intensa; perceber pequenos defeitos.

Por que é importante: A inspeção visual de acabamentos, a calibração óptica, a garantia de alinhamento (*ensuring alignment*) em sistemas eletro-ópticos e infravermelhos (EO/IR) e os controles físicos de qualidade exigem precisão visual sensorial.

Como desenvolver: Testes de acuidade e contraste, treinamento de inspeção com níveis graduais de defeito, iluminação controlada e equipamentos de auxílio visual (loupe, microscópio).

Multitarefa

Categoria: Capacidade cognitiva (componente comunicação).

Descrição: Executar várias tarefas ou trocar rapidamente de tarefa sem perder a qualidade.

Por que é importante: Em linhas de produção mistas (mecânica + eletrônica + testes), profissionais frequentemente precisam gerenciar várias etapas ou reagir a alarmes enquanto continuam atividades críticas. Tecnologias que aumentam a complexidade operacional tornam esta capacidade valiosa.

Como desenvolver: *Desk-simulators* com múltiplas tarefas simultâneas, rotação de funções, jogos de operações industriais e avaliações de desempenho sob carga cognitiva.

Memorização operativa (Memorização)

Categoria: Capacidade cognitiva.

Descrição: Retenção de procedimentos, passos operacionais e sequências de montagem e teste.

Por que é importante: Para ações de emergência, procedimentos de manutenção rápida e sequências de teste, esta capacidade otimiza tempo e reduz erros. Além disso, é útil em operações com restrição de documentação imediata.

Como desenvolver: Treinos repetitivos, *checklists* memorizáveis, simulações e exames práticos periódicos.

Tabela de Priorização das Capacidades Requeridas

Habilidade	Importância 5 anos	Importância 10 anos
Atenção seletiva	Alta	Alta
Percepção de problemas	Alta	Alta
Velocidade de organização e resposta	Alta	Alta
Reação a estímulos (psicomotora)	Alta	Média
Destreza de mão e dedos	Alta	Média
Orientação espacial	Alta	Alta
Compreensão escrita	Alta	Alta
Compreensão e expressão oral	Alta	Alta
Expressão escrita (documentação técnica)	Alta	Alta
Sensibilidade de contraste visual e visão de detalhes	Alta	Média
Multitarefa	Média-Alta	Média
Memorização operativa	Média	Baixa

3.3) Conhecimentos que ganharão importância (comuns às ocupações)

Balística interna, externa e terminal

Descrição: Fórmulas, modelos e normas que descrevem comportamento de projéteis no cano, trajetórias (*drag*, vento) e efeitos no alvo.

Justificativa: Conhecimentos básicos para projeto e validação de armas e munições (incluindo munição programável e projéteis guiados). Fundamenta ensaios balísticos, cálculo de parâmetros balísticos usados por FCS e por *software* de desempenho.

Projeto mecânico e mecanismos de armas (engenharia de máquinas)

Descrição: Dimensionamento, tolerâncias, união de peças, mecanismos de gatilho e acionamento, análise de fadiga e vida útil.

Justificativa: Conhecimentos necessários para desenho seguro e confiável de partes móveis. Essenciais para migração às soluções *by-wire* e peças otimizadas por DfAM, além de garantir compatibilidade com processos de fabricação.

Materiais e metalurgia aplicada (incluindo tratamentos térmicos e revestimentos)

Descrição: Propriedades de aços e ligas, processos térmicos, tratamentos superficiais, ensaios mecânicos e controle microestrutural.

Justificativa: Conhecimentos necessários para melhoria da resistência ao desgaste e vida útil (peças sujeitas a altas pressões e temperatura). Relevantes para desenvolvimento de ligas e revestimentos que permitem maior desempenho e para qualificação de peças produzidas por manufatura aditiva.

Processos de fabricação (usinagem, estampagem, soldagem) e controle de produção

Descrição: Procedimentos padronizados de usinagem, *jig* e *fixture*, tolerâncias geométricas, controles de processo e indicadores de qualidade

Justificativa: Base para produções confiáveis em série; mesmo com a manufatura aditiva, muitos componentes continuam sendo usinados e acabados e precisam atender normas de qualidade e repetibilidade.

Manufatura aditiva (impressão, parâmetros de processo e pós-processamento)

Descrição: *Know-how* de fusão em leito de pó (PBF) , parâmetros térmicos, retirada de suportes, tratamentos pós-impressão, inspeção de porosidade e certificação de peças.

Justificativa: Aumento da participação da manufatura aditiva nos processos de P&D e produção de peças com geometria otimizada. Conhecimentos necessários para qualificação, repetibilidade e certificação industrial.

Eletrônica embarcada e engenharia de sistemas eletrônicos

Descrição: Esquemática eletrônica, Placa de Circuito Impresso (PCB), componentes passivos/ativos, sensores, comunicação serial, proteção EMC (Compatibilidade Eletromagnética) e interferência eletromagnética (EMI) e testes funcionais.

Justificativa: Munições programáveis, FCS baseado em IA, sensores e sistemas *by-wire* exigem integração eletrônica confiável. São conhecimentos codificáveis em normas e procedimentos de montagem/teste.

Sistemas embarcados, firmware e métodos de verificação (V&V)

Descrição: Desenvolvimento em C/C++ embarcado, protocolos de atualização, testes unitários e integração, certificação de *software* crítico.

Justificativa: Armas e acessórios com *firmware* exigem processos formais de engenharia de *software* (*DevSecOps*, verificação e validação) para garantir segurança e conformidade com requisitos militares.

Óptica e sensores eletro-ópticos (EO/IR), instrumentação e calibração

Descrição: Princípios de óptica, detectores, filtros, calibração radiométrica, alinhamento e testes de estabilização.

Justificativa: Miras inteligentes, FCS e sistemas de aquisição dependem de componentes ópticos e de procedimentos formais de calibração para garantir desempenho em campo.

Processamento de sinais, fusão de sensores e algoritmos básicos de visão

Descrição: Transformadas, filtragem, calibração de sensores, fusão de múltiplas fontes (EO, IR, lidar e radar) e critérios de decisão.

Justificativa: Conhecimentos básicos para FCS com *sensor fusion* e para sistemas anti-VANT que combinam múltiplos sensores — conhecimento que pode ser formalizado em normas de teste e validação de algoritmos.

Cibersegurança aplicada a sistemas militares

Descrição: Mecanismos de *root-of-trust*, criptografia de *firmware*, gestão de chaves, testes de penetração e controles de cadeia de fornecimento.

Justificativa: Com os processos de digitização (*by-wire*, telemetria, IoT embarcado) a segurança do *firmware* e *hardware* é requisito contratual e normativo; conhecimento explícito em políticas e técnicas é necessário para o compliance.

Ensaios, calibração, metrologia e normas de Controle e Garantia da Qualidade

Descrição: Métodos de medição, incerteza, rastreabilidade metrológica, planos de ensaio, controle estatístico de processo (CEP) e certificações (ISO, MIL-STD quando aplicável).

Justificativa: Estes conhecimentos garantem que peças e sistemas atendam especificações; essencial para exportação, certificação militar e repetibilidade de produção (inclui ensaios de munição e armas).

Regulamentação, controles de exportação e *compliance* (direito comparado de defesa)

Descrição: Regimes de controle nacional e internacional (ex. acordos de transferência e conferências de controle), procedimentos de licenciamento, documentação e normas para comércio de defesa.

Justificativa: Conhecimentos necessários para operar legalmente em mercados internacionais e para manter a conformidade com requisitos da BID e regulações externas.

Projetos CAD e CAE, análise estrutural e simulação (FEM, CFD se aplicável)

Descrição: Uso de ferramentas formais de projeto, modelagem por elementos finitos, análise modal, simulação térmica e verificação por simulação.

Justificativa: Os conhecimentos permitem acelerar os processos de P&D, qualificar os projetos antes do ensaio físico e a redução dos custos de prototipagem. São críticos quando se combina manufatura aditiva e novos materiais.

Gestão de qualidade da cadeia de suprimentos e logística de materiais críticos

Descrição: Normas e métodos para qualificação de fornecedores, gestão de inventários estratégicos (componentes críticos), contratos de fornecimento e rastreabilidade de lotes.

Justificativa: Choques nas cadeias de suprimento de semicondutores e terras-raras e a necessidade de rastreabilidade, tornam esses conhecimentos operacionalmente críticos para manter produção e atender requisitos contratuais.

Tabela de Priorização das Capacidades Requeridas

Habilidade	Importância 5 anos	Importância 10 anos
Balística (interna, externa e terminal)	Média	Alta
Projeto mecânico e mecanismos de armas	Alta	Alta
Materiais & metalurgia aplicada	Alta	Alta
Processos de fabricação tradicionais (usinagem, solda, estampagem)	Alta	Alta
Manufatura aditiva (parâmetros, pós-processo e qualificação)	Alta	Alta
Eletrônica embarcada e integração de sensores	Alta	Alta
Sistemas embarcados, firmware e V&V	Alta	Alta
Óptica / EO-IR e calibração	Alta	Alta
Processamento de sinais e fusão de sensores	Alta	Alta
Cibersegurança aplicada a sistemas militares	Alta	Alta
Ensaios, calibração, metrologia e QA/QC	Alta	Alta
Regulamentação e controles de exportação (compliance)	Alta	Alta
Projeto / simulação CAD-CAE (FEM, análise estrutural)	Alta	Alta
Gestão de qualidade da cadeia de suprimentos / logística de materiais críticos	Alta	Alta

4. Profissionais que Ganharão Relevância

A possível difusão das novas tecnologias e os impactos dos eventos, descritos anteriormente, poderão estabelecer um contexto futuro que demandará, por parte das empresas do segmento, profissionais que visam apoiar o setor na implementação e uso das novas tecnologias e desenvolvimento de produtos. A seguir, são apresentados os novos profissionais, nos níveis técnico e superior, que poderão ser demandados *vis a vis* o estabelecimento do contexto futuro considerado.

4.1) Nível Superior

Engenheiro de *Software* com especialidade *Firmware* de Segurança – Atua no desenvolvimento e validação de *firmware* para sistemas embarcados de controle de tiro e miras e mecanismos eletrônicos em armamento. Responsável por implementar criptografia, *boots* seguros e protocolos de atualização confiáveis, em conformidade com padrões militares.

Engenheiro especializado em Controle e Sensoriamento – Responsável por projetar e integrar arquiteturas de controle de tiro, combinando dados de sensores (ópticos, radar e inerciais). Atua no desenvolvimento de algoritmos de fusão de dados para aumentar a precisão e reduzir erros de disparo.

Especialista em Munições Programáveis – Desenvolve e valida munições inteligentes com capacidade de programação antes do disparo. Atua na integração entre eletrônica, *software* e balística, além de ensaios de campo e análises de segurança.

Engenheiro de Manufatura Aditiva – Especializado em design para manufatura aditiva (DfAM). Responsável por definir parâmetros de impressão, qualificação de peças e certificações para uso em sistemas de defesa.

Engenheiro de Materiais – Caracterização de ligas e metamateriais, qualificação de peças e certificações para uso em sistemas de defesa.

Engenheiro Eletrônico ou de Materiais com especialidade em Ótica e Sensores EO/IR (Optrônica) – Projeta e valida miras inteligentes, sistemas de visão noturna e sensores infravermelhos. Atua na calibração avançada, integração com FCS e no desenvolvimento de algoritmos de processamento óptico.

Engenheiro de Inteligência Artificial Aplicada a Defesa - Atua no desenvolvimento de aplicações de IA e ML para aplicações de defesa e segurança.

Engenheiro de IOT – Atua no monitoramento de condições, contadores de disparo e telemetria segura.

Engenheiro de Cibersegurança para Sistemas Embarcados – Responsável por avaliar vulnerabilidades, realizar testes de penetração e propor soluções de *hardening* em sistemas de armas e munições conectados e com eletrônica embarcada. Atua em normas de segurança cibernética para defesa e requisitos de certificação.

Engenheiro de Sistemas Autônomos e remotamente pilotados e Antidrone - Desenvolve plataformas remotas e sistemas de contramedida a drones, integrando sensores e atuadores. Atua na programação de rotinas autônomas e em testes de neutralização.

Especialista em *Supply Chain* de Defesa e Compliance - Atua na gestão estratégica da cadeia de suprimentos, identificando riscos de dependência crítica (ex. semicondutores e terras-raras). Responsável pelo compliance em exportações, rastreabilidade e certificações internacionais.

Especialista de Testes e Avaliações - Responsável por testar, avaliar e certificar equipamentos de defesa e segurança por meio de testes e ensaios normatizados.

Especialista em Normas Técnicas – Responsável pela identificação de normas já existentes, proposição de aplicação das normas e elaboração/revisão de normas técnicas.

Engenheiro de Simulação e Ensaios Digitais – Utiliza CAD/CAE, simulações balísticas e gêmeos digitais para prever o desempenho de armas e munições antes de ensaios físicos. Atua na redução de custos e aceleração dos processos de P&D, além de apoiar as certificações.

Especialista em Sustentabilidade – Atua no desenvolvimento e uso de materiais sustentáveis, reciclagem de ligas e redução da pegada de carbono na produção de armas e munições. Atua em relatórios de conformidade ambiental e requisitos ESG aplicados ao setor.

Engenheiro Eletrônico especializado em Integração de Sistemas *By-Wire* – Projeta e integra atuadores elétricos, sensores, mecanismos eletrônicos, e controladores em armas de pequeno, médio e grande porte. Atua na validação de redundância, confiabilidade e resposta dinâmica dos sistemas *by-wire*.

Especialista em Coleta e análise de dados – Responsável por organizar e analisar grandes volumes de dados de ensaios, telemetria. Atua no desenvolvimento de pipelines de dados e integração com plataformas de BI.

Especialista em Rastreabilidade Digital e *Blockchain* – Implementa sistemas de rastreabilidade digital e *blockchain* para monitorar ciclo de vida de componentes críticos.

Analista de Comércio Exterior – Atua garantindo conformidade com normas internacionais de exportação e contratos de defesa.

Engenheiro especializado em sistemas de armas – Responsável pela arquitetura, projeto e integração dos subsistemas (sensor, efeito, controle, energia e *software*), transformando requisitos operacionais em soluções técnicas robustas; conduz modelagem e simulação de desempenho, especificação de interfaces, análises de confiabilidade e segurança (incluindo EMI/EMC e proteção térmica), e supervisiona testes de bancada e de teste de aceitação em campo.

Engenheiro de Processos – Desenha e otimiza processos de fabricação para sistemas de armamento (fluxos de montagem, integração de módulos de energia e gestão térmica). Define especificações de processo, qualificação de fornecedores, PFMEA, instruções de trabalho e projetos de automação para escalabilidade e conformidade.

Engenheiro especializado em Eletromagnetismo – Desenvolve e aplica tecnologias para controle, detecção e interferência em drones e equipamentos eletrônicos. Também atua na área de radares, comunicações e navegação por GPS.

Engenheiro de Telecomunicações –Atua no projeto, integração e validação das sub-redes de comunicações e enlaces de dados críticos (*data links* táticos, *satcom*, rádios V/UHF/SHF, *enlaces* ópticos) que ligam sensores, unidades de comando e efetores. Realiza o dimensionamento de *enlace* (*link budget*), desenho de antenas, seleção de modulação, codec e engenharia de protocolos para garantir latência, robustez e segurança em ambiente contestado.

4.2) Nível Técnico

Técnico Eletrônico de Montagem e Controle - Responsável pela montagem, soldagem e testes de placas eletrônicas e sensores, garantindo que módulos críticos funcionem antes da integração em sistemas de armas e miras. Faz inspeções visuais e ensaios elétricos de rotina.

Técnico Eletrônico de Montagem e Controle - Responsável pela montagem, soldagem e testes de placas eletrônicas e sensores, garantindo que módulos críticos funcionem antes da integração em sistemas de armas e miras. Faz inspeções visuais e ensaios elétricos de rotina.

Operador/Técnico de Manufatura Aditiva (MA) - Opera impressoras de manufatura aditiva metálica, realiza a preparação de pó, o monitoramento do processo, a retirada de peças, além da execução de pós-processamento inicial. Apoia a documentação de parâmetros e qualidade das peças produzidas.

Técnico de Pós-processamento e Acabamento - Especializado em tratamentos térmicos, usinagem de ajuste, polimento e revestimentos superficiais. Atua garantindo que as peças (tradicionais ou AM) alcancem os padrões dimensionais e de resistência exigidos.

Técnico de Metrologia e da Garantia da Qualidade - Executa medições dimensionais, ensaios e calibrações em peças e sistemas, usando CMMs e instrumentos de precisão. Apoia a rastreabilidade e certificação metrológica exigida em contratos de defesa.

Técnico de Ensaios Balísticos e Bancada - Auxilia em campanhas de teste e qualificação, preparando bancadas, instalando sensores, coletando dados e monitorando a segurança em campo de provas. Registra e organiza dados técnicos para engenheiros de análise.

Técnico em Óptica e Calibração - Realiza ajustes e calibrações periódicas em miras, sensores EO/IR e sistemas ópticos. Garante que os equipamentos atendam aos parâmetros de precisão e realiza a manutenção preventiva de conjuntos ópticos.

Técnico de Redes e Telemetria e Dados - Configura e mantém redes de comunicação e sistemas de telemetria em testes e operações de campo. Responsável pela aquisição, armazenamento e transmissão de dados técnicos, apoiando análises posteriores.

Técnico de Cibersegurança Operacional - Monitora logs e indicadores de segurança em sistemas embarcados e redes industriais, aplica procedimentos de contenção em incidentes básicos e apoia engenheiros de cibersegurança na manutenção de ambientes protegidos.

Técnico de Manutenção Eletromecânica (*By-Wire* e Atuadores) - Executa manutenção preventiva e corretiva em sistemas eletromecânicos, como servomotores e atuadores.

Armeiro - Responsável pela ajustagem, preparação e manutenção de armamentos em geral.

Técnico de Qualificação de Fornecedores e Inspeção de Recebimento - Realiza inspeções em lotes de componentes recebidos, verifica a conformidade com especificações, preenche relatórios de aceitação e apoia engenheiros de qualidade na qualificação de fornecedores.

Técnico de Segurança de Materiais e Testes Não Destrutivos (TND) - Aplica ensaios não destrutivos (ultrassom, líquidos penetrantes, radiografia industrial) em peças metálicas, soldas e componentes. Atua detectando falhas internas ou superficiais que possam comprometer a segurança.

Operador/Técnico de Sistemas Anti-VANT e Treinador Operacional - Opera sistemas remotos de detecção e neutralização de drones e auxilia no treinamento técnico de operadores finais (clientes militares ou policiais). Atua como elo entre fabricante e usuário na fase de entrega e suporte inicial.

Técnico em Logística de Materiais Críticos e Estoques Estratégicos - Gerencia estoques de semicondutores, pós metálicos, ligas especiais e outros insumos estratégicos. Responsável pelo controle de validade, rastreabilidade e segurança no armazenamento de materiais sensíveis.

Técnico de Documentação e Rastreabilidade - Organiza e atualiza registros técnicos, certificados de conformidade e documentos de exportação. Atua na gestão documental digital, garantindo rastreabilidade exigida por clientes e órgãos reguladores.

Técnico de Processo - Implementa e ajusta instruções de trabalho, *setups* e gabaritos; realiza *first-article inspections* e controle estatístico de processo (SPC). Executa calibrações, testes funcionais e alinhamentos (ópticos/RF), documenta não conformidades e apoia análises de causa raiz.

Operador de Máquina - Opera células e máquinas (montagem, torques, alinhamento óptico, ensaios funcionais) seguindo *checklists* e padrões de qualidade. Realiza inspeções visuais e medições básicas, troca de peças, executa testes e reporta anomalias ao técnico/engenharia.

4.3) Priorização dos profissionais que ganharão importância

Escalas

1 - A demanda pelo profissional, por parte das empresas do segmento, será muito baixa (até 10%).
2 - A demanda pelo profissional, por parte das empresas do segmento, será baixa (até 20%).
3 - A demanda pelo profissional, por parte das empresas do segmento, será moderada (de 31 a 50%).
4 - A demanda pelo profissional, por parte das empresas do segmento, será alta (de 51 a 70%).

Nível Superior

Profissional	Demanda para os próximos 2 anos	Demanda para os próximos 5 anos	Demanda para os próximos 10 anos
Engenheiro de Materiais	4	4	4
Engenheiro Eletrônico ou de Materiais com especialidade em Ótica e Sensores EO/IR (Optrônica)	4	4	4
Engenheiro de Inteligência Artificial Aplicada a Defesa	4	4	4
Engenheiro de Sistemas Autônomos e remotamente pilotados e Antidrone	4	4	4
Especialista em *Supply Chain* de Defesa e Compliance	4	4	4
Especialista de Testes e Avaliações	4	4	4
Especialista em Normas Técnicas	4	4	4
Engenheiro de Simulação e Ensaios Digitais	4	4	4
Especialista em Coleta e análise de dados	4	4	4
Analista de Comércio Exterior	4	4	4
Profissional	**Demanda para os próximos 2 anos**	**Demanda para os próximos 5 anos**	**Demanda para os próximos 10 anos**
Engenheiro especializado em sistemas de armas	4	4	4
Engenheiro de Processos	4	4	4
Engenheiro especializado em Eletromagnetismo	4	4	4
Engenheiro de Telecomunicações	4	4	4
Engenheiro de *Software* com especialidade Firmware de Segurança	3	4	4
Engenheiro de Cibersegurança para Sistemas Embarcados	3	4	4
Especialista em Rastreabilidade Digital e *Blockchain*	3	4	4
Engenheiro de IOT	3	3	4

Engenheiro Eletrônico especializado em Integração de Sistemas *By-Wire*	3	3	4
Engenheiro especializado em Controle e Sensoriamento	2	3	4
Engenheiro especialista em Munições Programáveis	2	3	4
Engenheiro de Manufatura Aditiva	2	3	4
Especialista em Sustentabilidade	2	3	4

Nível Técnico

Profissional	Demanda para os próximos 2 anos	Demanda para os próximos 5 anos	Demanda para os próximos 10 anos
Técnico Eletrônico de Montagem e Controle	4	4	4
Técnico de Pós-processamento e Acabamento	4	4	4
Técnico de Metrologia e da Garantia da Qualidade	4	4	4
Técnico de Ensaios Balísticos e Bancada	4	4	4
Técnico de Redes e Telemetria e Dados	4	4	4
Técnico de Cibersegurança Operacional	4	4	4
Técnico de Manutenção Eletromecânica (*By-Wire* e Atuadores)	4	4	4
Armeiro	4	4	4
Técnico de Qualificação de Fornecedores e Inspeção de Recebimento	4	4	4
Técnico de Segurança de Materiais e Testes Não Destrutivos (TND)	4	4	4
Operador/Técnico de Sistemas Anti-VANT e Treinador Operacional	4	4	4
Técnico em Logística de Materiais Críticos e Estoques Estratégicos	4	4	4
Técnico de Documentação e Rastreabilidade	4	4	4
Técnico em processos	4	4	4
Operador de máquinas	4	4	4
Técnico de *Firmware* e de Teste de Sistemas Embarcados	3	4	4
Técnico em Óptica e Calibração	3	4	4
Operador/Técnico de Fabricação Aditiva (AM)	2	3	4

5. Cursos que poderão ser demandados pelas empresas do segmento

Cibersegurança para Sistemas Embarcados — Básico

Público: Engenheiros de *firmware*, técnicos de teste e gerentes de TI.
Conteúdo central: Oferecer as bases práticas de *security by design* sem instruções operacionais sensíveis.
Objetivo: oferecer as bases práticas de *security by design* sem instruções operacionais sensíveis.

Especialização em *Firmware* e Verificação & Validação (aplicado)

Público: Engenheiros de *firmware* e engenheiros de teste.
Conteúdo central: Arquitetura de *firmware* seguro (conceitos); ciclo *DevSecOps*, testes unitários e de integração; gestão de versões; estratégias de atualização segura OTA (arquitetura/gestão); planos de validação e documentação para certificação.
Objetivo: Elevar a capacidade de desenvolver, testar e documentar *firmware* conforme exigências de contratos de defesa.

Especialização em Processamento de Sinais, Visão Computacional e Fusão de Sensores (aplicado)

Público: Cientistas de dados, engenheiros de sinais, integradores de sistemas.
Conteúdo central: Fundamentos de processamento de sinais; pré-processamento de sensores EO/IR/radar; arquitetura básica de redes para detecção; métricas de performance e robustez; validação em cenários ruidosos e técnicas de fusão multisensor (conceitual).
Objetivo: Preparar equipes para desenvolvimento e avaliação de algoritmos de apoio (detecção, rastreio) sem detalhar o emprego operacional.

Manufatura Aditiva Metálica — operação e qualificação

Público: Operadores de produção, engenheiros de processos e técnicos de pós-processo.
Conteúdo central: Princípios de tecnologias *Powder Bed Fusion* e *Direct Energy Deposition* (visão geral); preparação de arquivos e parametrização; manuseio seguro de *powders*; monitoramento de processo; pós-processamento comum; testes não destrutivos aplicados à manufatura aditiva; validade de peças e documentação de qualificação.
Objetivo: Viabilizar a reprodutibilidade produtiva e qualificação documental de peças produzidas por manufatura aditiva.

Design para Manufatura Aditiva (DfAM) — prático

Público: Projetistas CAD e engenheiros de produto.
Conteúdo central: Princípios de DfAM (orientação, minimização de suportes, otimização topológica em alto nível); *Trade-offs* de projeto vs. pós-processo; validação virtual e requisitos de certificação.
Objetivo: Permitir o projeto de peças que reduzam o retrabalho e facilitem qualificação.

Metrologia Aplicada e Gestão de Ensaios (Controle e Garantia da Qualidade para defesa)

Público: Técnicos de controle de qualidade e engenheiros da qualidade.
Conteúdo central: Conceitos de incerteza de medição; máquinas de medição por coordenadas e instrumentos; planos de ensaio; rastreabilidade metrológica; CEP básico; preparação para auditorias; documentação para certificação.
Objetivo: Garantir a conformidade e rastreabilidade em produção e ensaios.

Testes e Avaliação (T&A) de Sistemas Complexos — práticas para indústria de defesa

Público: Engenheiros de teste e gerentes de projeto.
Conteúdo central: Elaboração de planos de ensaio; protocolos de campos de prova (segurança e registro); análise estatística de resultados; testes ambientais; documentação para homologação.
Objetivo: Elevar a capacidade de conceber e executar campanhas de validação robustas.

Óptica aplicada a Sensores EO, IR e Calibração

Público: Técnicos ópticos e engenheiros de sensores.
Conteúdo central: Princípios ópticos; detectores básicos; calibração radiométrica e geométrica de alto nível; procedimentos de rotina para alinhamento e verificação de desempenho (sem detalhes operacionais sensíveis).
Objetivo: Formar profissionais capazes de manter padrões de medição e apoiar integração de sistemas de visão.

Operação e Treinamento de Sistemas Remotos (HMI e Operador Remoto)

Público: Operadores, Instrutores e Pessoal de campo.
Conteúdo central: HMI/UX para sistemas remotos; gestão de alarmes; protocolos de operação segura; exercícios em simulador; comunicação com equipes de campo.
Objetivo: Formar operadores aptos a usar interfaces complexas com segurança e eficiência.

Especialização em Análise de Dados industriais e Telemetria (DataOps para defesa)

Público: Analistas, engenheiros de manutenção e gestores de ativos.
Conteúdo central: Arquitetura de *pipelines* de dados; ETL e curadoria; análise de séries temporais para manutenção preditiva; *dashboards* e KPIs; governança de dados e requisitos de compliance.
Objetivo: Capacitar equipes para transformar telemetria em decisões de manutenção e P&D.

Especialização em Cadeias de Suprimentos Resilientes

Público: Gestores de compras, planejadores e gestores de compliance.
Conteúdo central: Identificação de riscos (componentes críticos); estratégias de diversificação e estoques estratégicos; ferramentas para qualificação de fornecedores; contratos e cláusulas de segurança; ferramentas de mitigação de riscos.
Objetivo: Reduzir vulnerabilidade das cadeias globais de suprimento a choques.

Especialização em Compliance, Controles de Exportação e Rastreabilidade

Público: Profissionais do setor jurídico, comercial, compliance e logística.
Conteúdo central: Regimes de controle internacional (visão geral); procedimentos de licenciamento nacional; documentação de rastreabilidade; gestão de auditorias e due diligence de clientes e fornecedores.
Objetivo: Reduzir os riscos legais e possibilitar o acesso a mercados internacionais.

END — Ensaios Não Destrutivos (nível técnico)

Público: Técnicos de TND e operadores de controle de qualidade.
Conteúdo central: Métodos (ultrassom, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, radiografia); procedimentos de segurança; interpretação de resultados e registro para certificação.
Objetivo: Oferecer as competências necessárias para garantir integridade de peças, especialmente as produzidas por manufatura aditiva e soldas.

Manutenção Eletromecânica Avançada (servos, atuadores e sensores)

Público: Técnicos em mecatrônica e eletromecânica.
Conteúdo central: Diagnóstico de sistemas eletromecânicos; manutenção preventiva; calibragem de atuadores; integração com sistemas de controle; procedimentos de segurança.
Objetivo: Reduzir o *downtime* de sistemas *by-wire* e torres remotas.

Manutenção Eletromecânica Avançada (servos, atuadores e sensores)

Público: Técnicos em mecatrônica e eletromecânica.
Conteúdo central: Diagnóstico de sistemas eletromecânicos; manutenção preventiva; calibragem de atuadores; integração com sistemas de controle; procedimentos de segurança.
Objetivo: Reduzir o *downtime* de sistemas *by-wire* e torres remotas.

Centros de Operações de Segurança e Monitoramento de Produtos em Campo (nível técnico e gerencial)

Público: Técnicos de SOC (*Centros de Operações de Segurança*) e engenheiros de segurança.
Conteúdo central: Arquitetura de SOC; monitoramento de telemetria e logs de dispositivo; *playbooks* de resposta; integração com equipes de engenharia; requisitos de privacidade e compliance.
Objetivo: Permitir a oferta de serviços pós-venda e resposta a incidentes.

Simulação Digital e Gêmeos Digitais (aplicado à P&D)

Público: Engenheiros de projeto e analistas de CAE.
Conteúdo central: Conceitos de gêmeos digitais; integração CAD/CAE com dados de campo; uso para predição de performance; redução de ciclos experimentais; validação cruzada com ensaios físicos.
Objetivo: Acelerar os processos de P&D reduzindo os custos de ensaios.

Sustentabilidade Industrial e Gestão do Ciclo de Vida

Público: Gestores de produção, sustentabilidade e compras.
Conteúdo central: Avaliação de ciclo de vida; gestão de resíduos (incluindo materiais metálicos); critérios ESG aplicáveis ao setor de defesa; técnicas de comunicação e confecção de relatórios.
Objetivo: Reduzir os riscos ambientais e melhorar o acesso a capital e mercados.

Comunicação Técnica e Relatórios para Auditoria

Público: Engenheiros, profissionais da Garantia da Qualidade (QA) e *compliance*.
Conteúdo central: fundamentos de redação técnica; estrutura de relatórios de ensaio; documentação para auditoria e adequações de termos técnicos para públicos não técnicos.
Objetivo: Elevar a qualidade documental exigida pelos contratos militares e auditorias.

Formação de Instrutores e Programas de Treinamento Operacional

Público: Profissionais sêniores que treinarão operadores e clientes.
Conteúdo central: Metodologias pedagógicas para adultos; design de cursos com simuladores; avaliação de competências; certificações.
Objetivo: Estruturar programas de capacitação internos e oferta de treinamento a clientes.

Balística Aplicada — Básico

Público: Engenheiros de projeto e sistemas, engenheiros de teste, técnicos de bancada, analistas forenses, gerentes de P&D e qualidade, pessoal de certificação e *compliance*.
Conteúdo central: Conceitos fundamentais de balística (visão conceitual da balística interior, exterior e terminal — sem instruções operacionais sensíveis); princípios físicos relevantes (cinemática, resistência do ar, variáveis ambientais e sua influência em trajetória); medição e instrumentação.
Objetivo: Fornecer bases técnicas e práticas para entender, projetar, testar e avaliar comportamento balístico de sistemas de armas e de controle de tiro com ênfase em segurança, conformidade e qualidade, sem instruções sensíveis que possam facilitar uso indevido.

Sistemas de Armas de Fogo — Básico

Público: Engenheiros de projeto e sistemas, engenheiros de materiais, engenheiros de produção e qualidade, técnicos de bancada e testes, gestores de P&D e certificação, pessoal de manutenção e compliance.
Conteúdo central: Visão geral das subclasses e arquiteturas de armas de fogo sem detalhes operacionais sensíveis; materiais e tratamentos térmicos, tolerâncias dimensionais, usinagem e processos de fabricação relevantes para desempenho e durabilidade.
Objetivo: Fornecer bases técnicas e práticas para projetar, avaliar, qualificar e manter sistemas de armas de fogo em ambiente industrial e institucional, enfatizando segurança, conformidade regulatória e qualidade.

5.1) Priorização de curso que poderão ser demandados pelas empresas do segmento

Escalas

1 - A demanda pelo profissional, por parte das empresas do segmento, será muito baixa (até 10%).

2 - A demanda pelo profissional, por parte das empresas do segmento, será baixa (até 20%).

3 - A demanda pelo profissional, por parte das empresas do segmento, será moderada (de 31 a 50%).

4 - A demanda pelo profissional, por parte das empresas do segmento, será alta (de 51 a 70%).

Profissional	Demanda para os próximos 2 anos	Demanda para os próximos 5 anos	Demanda para os próximos 10 anos
Especialização em Processamento de Sinais, Visão Computacional e Fusão de Sensores	4	4	4
Manufatura Aditiva Metálica — operação e qualificação	4	4	4
Design para Manufatura Aditiva (DfAM)	4	4	4
Metrologia Aplicada e Gestão de Ensaios (Controle e Garantia da Qualidade para defesa)	4	4	4
Testes e Avaliação (T&A) de Sistemas Complexos — práticas para indústria de defesa	4	4	4
Especialização em Análise de Dados industriais e Telemetria (DataOps para defesa)	4	4	4
Especialização em Cadeia de Suprimentos Resiliente	4	4	4
Especialização em Compliance, Controles de Exportação e Rastreabilidade	4	4	4
END — Ensaios Não Destrutivos	4	4	4
Manutenção Eletromecânica Avançada (servos, atuadores e sensores)	4	4	4
Centros de Operações de Segurança e Monitoramento de Produtos em Campo	4	4	4
Simulação Digital e Gêmeos Digitais	4	4	4
Sustentabilidade Industrial e Gestão do Ciclo de Vida	4	4	4

6. Desafios na formação e atualização da mão de obra

Déficit de profissionais qualificados na área de tecnologias aplicadas à Defesa

Desafio: A escassez de mão de obra com competências multidisciplinares e experiência prática em áreas críticas (propulsão, materiais de alta temperatura, GNC, ensaios instrumentados, manuseio seguro de propelentes/explosivos), somada à ausência de programas de formação especializados, infraestrutura de teste limitada e barreiras de segurança e *clearance*.

Impacto: Atrasos em P&D e qualificação, dependência de fornecedores estrangeiros, aumento de custos e riscos operacionais e de *compliance*, redução da capacidade de certificação e implantação rápida de capacidades.

Déficit de profissionais híbridos (mecânica + eletrônica + *software* + dados + metrologia)

Desafio: Escassez de trabalhadores que combinem mecânica, materiais (AM), eletrônica e firmware, ciência de dados/ML e metrologia.

Impacto: Projetos que integram diferentes áreas (DfAM + NDT + GN&C com ML) são impactados; dificuldade de validar sistemas integrados e aumentar conteúdo nacional.

Currículos acadêmicos defasados frente às tecnologias emergentes

Desafio: Descompasso (gap) entre formação acadêmica (teoria) e competências práticas exigidas (qualificação AM, NDT avançado, MBSE).

Impacto: Necessidade de requalificação extensa *on-the-job* e custos de tempo e dinheiro para empresas.

Escassez de instrutores qualificados / *"train-the-trainer"*

Desafio: Poucos especialistas sêniores disponíveis para treinar técnicos/engenheiros nas novas tecnologias (propelentes verdes, AM, TND-CT, GN&C com ML).

Impacto: Dificuldade em escalar programas de *upskilling*; risco de "conhecimento aprisionado" em poucas pessoas.

Infraestrutura limitada de laboratórios (MA metal, CT, células de propulsão)

Desafio: Poucas instituições/empresas dispõem de impressoras de MA metal, tomógrafos industriais, células de ensaio de propulsão e câmaras térmicas para formação prática.

Impacto: Treinamentos com pouca carga de práticas tendem a preparar trabalhadores pouco aderentes às necessidades das empresas, impactando, também, a fase inicial da produção industrial (*ramp-up*) de novas tecnologias, o qual fica mais lento.

Barreiras à formação de competências digitais

Desafio: Conteúdos práticos (CAD, PLM, procedimentos de manuseio) muitas vezes não podem ser distribuídos em plataformas abertas por risco de vazamento.

Impacto: Dificulta uso de MOOCs ou cursos online mais abrangentes, obrigando o desenvolvimento de soluções locais custosas.

Custos elevados de capacitação e certificação (especialmente para PMEs)

Desafio: Programas de requalificação intensivos (AM, MBSE, ML) demandam investimentos recorrentes em equipamento e docentes.

Impacto: Empresas de menor porte ficam fora do processo de modernização; risco de concentração tecnológica.

Velocidade de obsolescência do conhecimento técnico (*software*, ciber, ML)

Desafio: O ritmo acelerado de evolução de *frameworks*, linguagens, modelos de ML e táticas de ciberameaças tornam as competências e ferramentas obsoletas em meses.

Impacto: Aumento do débito técnico e da vulnerabilidade a ataques, redução da eficácia de soluções embarcadas, necessidade permanente de requalificação (custos e tempo), pressão por adoção de práticas *DevSecOps* e arquitetura modular, e maior dependência de parceiros externos especializados.

Retenção de profissionais especializados (migração para setor civil/externo)

Desafio: Mercado global compete por talentos (eng. AM, ML, NDT), levando à evasão para setores civis com salários superiores.

Impacto: Empresas perdem *know-how* e enfrentam custo alto de reposição e treinamento de novos funcionários.



7. Incertezas que afetam diretamente a formação de mão de obra

Em que ritmo as empresas do setor vão adotar Manufatura Aditiva metálica (AM) para peças críticas — lento (adiamento de investimento) ou rápido (necessidade imediata de operadores, DfAM e qualificação)?

Quão rapidamente as agências regulatórias aceitarão e certificarão propelentes “verdes” (monopropelentes e formulações de baixa toxicidade) para uso operacional e comercial?

Como evoluirão os controles de exportação e regimes multilaterais (listas de controle, restrições tecnológicas): serão mais rígidos, estáveis ou sujeitos a choques/retrocessos políticos?

A corrida geopolítica e as prioridades de defesa vão aumentar ou reduzir significativamente os orçamentos (e, consequentemente, a demanda por mão de obra qualificada) em janelas de 1–3 anos ou 5–10 anos?

Em que velocidade e escala a IA/ML será adotada em inspeção automatizada (NDT) e em GN&C embarcado — substituindo tarefas humanas ou criando funções de validação e curadoria de dados?

A disponibilidade e o custo de equipamentos críticos (tomógrafos industriais, impressoras AM metal, células de ensaio de propulsão) se tornarão mais acessíveis para massa de treinamento e P&D, ou permanecerão concentrados em poucos centros de excelência?

Em que grau governos e mercado financiarão parcerias academia–indústria e centros regionais de treinamento (laboratórios compartilhados), ou essa cooperação permanecerá insuficiente?

Eixos

Impacto: (Alto, Médio, Baixo) - Quanto afeta a capacidade do setor de inovar e entregar.

Previsibilidade: (Alta, Média, Baixa) - Quão certo ou estável é o fator (se é um desafio fixo ou se pode variar muito).

Categoria	Desafio/ Incerteza	Impacto	Previsibilidade
Desafio estrutural	Déficit de profissionais qualificados na área de tecnologias aplicadas à Defesa	Alto	Alta
Desafio estrutural	Déficit de profissionais híbridos (mecânica + eletrônica + software + dados + metrologia)	Alto	Alta
Desafio estrutural	Currículos acadêmicos defasados frente às tecnologias emergentes	Alto	Alta
Desafio estrutural	Escassez de instrutores qualificados / "train-the-trainer"	Alto	Média
Desafio estrutural	Infraestrutura limitada de laboratórios (AM metal, CT, células de propulsão)	Alto	Média
Desafio estrutural	Custos elevados de capacitação e certificação (especialmente para PMEs)	Médio	Alta
Desafio estrutural	Velocidade de obsolescência do conhecimento técnico (software, ciber, ML)	Médio - Alto	Alta
Desafio estrutural	Barreiras à formação de competências digitais	Médio - Alto	Média
Desafio estrutural	Retenção de profissionais especializados (migração para setor civil/externo)	Alto	Média
Incerteza	Ritmo de adoção da Manufatura Aditiva metálica (AM)	Alto	Baixa
Incerteza	Velocidade de certificação e adoção de propelentes "verdes"	Alto	Baixa
Incerteza	Mudanças nos controles de exportação / regimes multilaterais	Alto	Baixa
Incerteza	Ritmo de adoção de IA/ML em inspeção automatizada e GN&C embarcado	Alto	Baixa
Incerteza	Disponibilidade/custo de equipamentos críticos para treinamento (CT, impressoras AM)	Alto	Baixa
Incerteza	Intensidade da corrida geopolítica / flutuação de orçamentos de defesa	Alto	Baixa
Incerteza	Grau de cooperação público-privada para financiar centros de formação	Médio - Alto	Alta

8. Sugestões de Estratégias para o desenvolvimento da mão de obra

Baseado nas incertezas e desafios elencados anteriormente, os especialistas consultados discutiram, elencaram e priorizaram ações estratégicas que poderão ser levadas a cabo por distintos *stakeholders*.

Importância	Dificuldade
4 - Muito importante	4 - Baixa dificuldade
3 - Importante	3 - Moderada dificuldade
2 - Pouco importante	2 - Alta dificuldade
1 - importância pontual	1 - Altíssima dificuldade

Criar/atualizar currículos, tornando-os mais integrados e adequados à multidisciplinaridade e no modelo *on the job.*

- **Grau de importância da estratégia para o setor** – 4
- **Grau de dificuldade de desenvolvimento e implantação da estratégia** – 3
- **Principais *stakeholders* envolvidos** - Universidade, instituições de ensino profissionalizante.

Aumentar a oferta de cursos nas áreas regulatórias de Defesa (produtos controlados e perigosos) e bens sensíveis (*export control)*.

- **Grau de importância da estratégia para o setor** – 3
- **Grau de dificuldade de desenvolvimento e implantação da estratégia** – 4
- **Principais *stakeholders* envolvidos** - Universidade, instituições de ensino profissionalizante.

Reforçar a importância da promoção comercial ativa dos produtos de defesa nacionais pelas representações diplomáticas brasileiras.

- **Grau de importância da estratégia para o setor** – 4
- **Grau de dificuldade de desenvolvimento e implantação da estratégia** – 3
- **Principais *stakeholders* envolvidos** - Governo Federal e Regionais.

Implementar políticas para intercâmbio técnico com centros de excelência mundiais.

- **Grau de importância da estratégia para o setor** – 4
- **Grau de dificuldade de desenvolvimento e implantação da estratégia** – 2
- **Principais *stakeholders* envolvidos** - Governo Federal; universidade, instituições de ensino profissionalizante; empresas do segmento; associações Empresariais.

Estabelecer parcerias entre empresas e instituições de ensino para estabelecer programas de treinamento aplicados à realidade das indústrias.

- **Grau de importância da estratégia para o setor** – 4
- **Grau de dificuldade de desenvolvimento e implantação da estratégia** – 2
- **Principais *stakeholders* envolvidos** - Empresas do segmento; universidade, instituições de ensino profissionalizante.

Desenvolver ações para facilitar a obtenção de garantias bancárias para exportação de produtos de defesa, aumentando a demanda e retendo a mão de obra especializada

- **Grau de importância da estratégia para o setor** – 3
- **Grau de dificuldade de desenvolvimento e implantação da estratégia** – 4
- **Principais *stakeholders* envolvidos** - Governo Federal e Regionais; setor bancário e financeiro.

Desenvolver ações parta reforçar a importância do setor ter previsibilidade orçamentária, mantendo os projetos e as tecnologias de Defesa e, por consequência, reter a mão de obra especializada.

- **Grau de importância da estratégia para o setor** – 4
- **Grau de dificuldade de desenvolvimento e implantação da estratégia** – 1
- **Principais *stakeholders* envolvidos** - Associações Empresariais.

Aumentar a articulação das políticas e estratégias de Defesa com as demais políticas e estratégias do Estado, em uma visão de longo prazo.

- **Grau de importância da estratégia para o setor** – 4
- **Grau de dificuldade de desenvolvimento e implantação da estratégia** – 1
- **Principais *stakeholders* envolvidos** - Governo Federal e Regionais.

Simplificar a legislação relativa à contratação de projetos de PD&I e aumento de conteúdo tecnológico nacional nos produtos de defesa.

- **Grau de importância da estratégia para o setor** – 4
- **Grau de dificuldade de desenvolvimento e implantação da estratégia** – 1
- **Principais *stakeholders* envolvidos** - Governo Federal e Regionais.

Cadernos de

Prospectiva Industrial de Defesa

Segmento

ARMAS E EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE TIRO



FIA BUSINESS SCHOOL
CNI Confederação Nacional da Indústria
ABDI Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS