Cadernos de

Prospectiva Industrial de Defesa

Segmento

MUNIÇÕES, PROPELENTES E EXPLOSIVOS; MÍSSEIS E FOGUETES

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 transformação tecnológica acelerada e o ambiente geopolítico volátil colocam a mão de obra do setor de armas e equipamentos de controle de tiro (armas leves e pesadas) perante um conjunto inédito de desafios e oportunidades. A incorporação de tecnologias emergentes — como manufatura aditiva, inteligência artificial aplicada a sensores e *fire control*, gêmeos digitais, MBSE, ensaios não destrutivos avançados e novos materiais — altera profundamente os perfis profissionais exigidos: não se trata apenas de operar máquinas ou seguir procedimentos, mas de integrar saberes multidisciplinares que combinam projeto, eletrônica embarcada, *software* crítico, ciência de dados e metrologia. Ao mesmo tempo, mudanças no comércio internacional, endurecimento de controles de exportação, tensões geopolíticas e pressões regulatórias e ambientais impõem requisitos adicionais de *compliance*, segurança e resiliência industrial.

Estudos prospectivos sobre o futuro da mão de obra tornam-se, assim, uma ferramenta estratégica indispensável para empresas, governos e instituições formadoras. Eles permitem antecipar lacunas de competências, priorizar investimentos em infraestrutura de ensino prático (laboratórios, bancadas de teste, células de ensaio), desenhar trilhas de formação alinhadas ao ritmo de adoção tecnológica e estruturar políticas de retenção e atração de talentos. Mais ainda: a prospectiva orienta decisões sobre parcerias universidade-indústria, modelos de financiamento coletivo de laboratórios regionais e formas de modularização curricular — ações que reduzem o tempo entre a descoberta tecnológica e a capacidade produtiva segura e certificada.

A natureza sensível e dual-use dos produtos do segmento impõe uma camada extra de complexidade: conteúdos de formação associam-se a requisitos de confidencialidade e controle tecnológico, tornando necessário equilibrar a ampliação da oferta formativa com mecanismos de segurança (*sandbox*, programas *train-the-trainer* controlados, acordos de confidencialidade). Paralelamente, a digitalização crescente exige capacitação em cibersegurança OT/PLM e proteção de propriedade intelectual para evitar perdas de vantagem competitiva e riscos operacionais decorrentes de ataques ou vazamentos.

Diante desse cenário, as decisões de política pública, investimentos corporativos e desenho curricular devem ser guiadas por evidências prospectivas sistemáticas — cenários de adoção tecnológica, indicadores gatilho (*early warnings*) sobre disponibilidade de equipamentos críticos e variações orçamentárias, e matrizes de priorização que conectem desafios (por exemplo, déficit de profissionais híbridos ou infraestrutura de treino limitada) às incertezas mais relevantes (ritmo de adoção de MA, velocidade de certificação regulatória, intensificação de controles de exportação). Somente assim será possível planejar ações de curto prazo para mitigar riscos imediatos e políticas estratégicas que sustentem a competitividade e a soberania tecnológica nos médio e longo prazos.

O presente documento sistematiza esse exercício prospectivo: identifica tecnologias e tendências relevantes; prioriza *skills*, *abilities* e conhecimentos críticos; descreve lacunas atuais e propõe caminhos para formação e atualização da força de trabalho. Serve, portanto, como base para decisões operacionais e políticas destinadas a garantir que a indústria nacional disponha, de forma segura e contínua, da qualificação necessária para inovar e cumprir compromissos estratégicos, em um ambiente internacional cada vez mais dinâmico e exigente.

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 a 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) Possíveis 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 a criação de demanda por novos profissionais. A seguir, são apresentadas as tecnologias emergentes para o segmento de *Munições, propelentes e explosivos; mísseis e foguetes*, juntamente com o possível impacto geral, no mercado de trabalho.

1 **Processos complexos de fabricação, Manufatura Aditiva de motores e Componentes de Foguetes (Impressão 3D de *Solid Rocket Motor* (SRM) e câmaras)** - Impressão metálica e de polímeros para produzir câmaras de combustão, injetores e geometrias de motor e propelente com formas ótimas, reduzindo *lead time* e permitindo um *design* integrado.

- **Nível de impacto** - Alto (depende da disponibilidade de novos materiais).
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de projeto (propulsão e estruturas); operadores de manufatura aditiva; técnicos de pós-processamento; engenheiros da qualidade e certificação; engenheiros de materiais; engenheiros químicos.
- **Como o trabalho muda** - Transição de usinagem e montagens manuais para o desenho para impressão, preparo de malhas, parametrização de processos de manufatura aditiva, inspeção por tomografia e qualificação de peças. Cresce a demanda por competências em CAD/CAE, manufatura aditiva, *powder handling* e qualificação de materiais.

2 **Propelentes "verdes" e monopropelentes de baixa toxicidade (ex. formulações de Nitrato de Hidroxilamônio (HAN), AF-M315E e similares)** - Formulações de monopropelantes e propelentes líquidos e sólidos com menor toxicidade e melhor desempenho e segurança que a hidrazina, facilitando logística e reduzindo riscos de manuseio.

- **Nível de impacto** - Médio.

- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros químicos e de propulsão; técnicos de manuseio e segurança, logística e procedimentos de certificação; químicos; técnicos em química.

- **Como o trabalho muda** - Diminuição das atividades ligadas a procedimentos de descontaminação e EPI extremo; novas tarefas de qualificação de desempenho, compatibilidade de materiais e atualização de procedimentos operacionais e de armazenamento.

3 **Munições Insensíveis (IM) formulações e encapsulamentos de baixa sensibilidade** - Composições e estruturas que reduzem a probabilidade de detonação acidental por calor, choque ou incêndio (modificação de explosivos, ligantes e encapsulamentos).

- **Nível de impacto** - Alto.

- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de materiais; mecânicos de estruturas e fórmulas energéticas; especialistas em segurança e homologação; técnicos de ensaios balísticos e térmicos.

- **Como o trabalho muda** - Aumento das tarefas de testes, certificação e análise de segurança; as tarefas laboratoriais migram para avaliação probabilística de risco, instrumentação de testes e design de formulações com *trade-offs* performance-sensibilidade.

4 **Materiais Nanoenergéticos e Reativos (compósitos intermoleculares metaestáveis. (MIC), nano-alvos, estruturas metal-oxidante em nanoescala)** - Materiais energéticos baseados em nanopartículas ou filmes reativos que permitem controlar taxa de reação, densidade energética e modos de ignição (uso em cargas cívicas, ignitores ou *warheads* especializados).

- **Nível de impacto** - Baixo Moderado (dependendo da maturidade e regulação).

- **Principais profissionais afetados** - Cientistas e Engenheiros de materiais; técnicos de manipulação de nanomateriais e segurança industrial.

- **Como o trabalho muda** - Maior ênfase em síntese em pequena escala com manipulação segura de nano-pós e caracterização avançada. Implementação de controles de processo percebendo novos riscos (toxicidade, sensibilidade).

5 **Impressão e Fabricação Direta de propelentes e explosivos (impressão a jato de tinta e "escrita direta a tinta" (DIW) de "tintas energéticas")** - Processos de deposição por extrusão ou jateamento para fabricar cargas e estruturas energéticas com geometria controlada e gradação interna (permite otimizar queima e desempenho).

- **Nível de impacto** - Baixo Moderado (Incipiente).
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros químicos, engenheiros de processos; especialistas em formulação de "tintas energéticas"; operadores de equipamentos DIW, segurança e garantia da qualidade.
- **Como o trabalho muda** - As manipulações químicas e de mistura convertem-se em desenvolvimento de formulações imprimíveis com controle de reologia e monitoramento de qualidade em linha. Maior necessidade de protocolos de segurança na produção aditiva de materiais energéticos.

6 **Espoletas e dispositivos de segurança, como as baseadas em Sistemas microeletromecânicos (MEMS) (micro espoletas, sensores inerciais miniaturizados)** - Espoletas seguras e dispositivos de armamentos em microescala com sensores MEMS, eletrônica integrada e funcionalidades digitais (reduzem massa/volume e aumentam confiabilidade).

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros eletrônicos, de sistemas, eletricistas, de confiabilidade, de micro fabricação e *firmware*; testadores de segurança e confiabilidade; técnicos de integração.
- **Como o trabalho muda** - Tarefas mecânicas tradicionais de *fuzzing* diminuem enquanto surgem atividades de *firmware*, validação de algoritmos de *arming*, testes de choque/vibração com instrumentação microeletrônica e análise de confiabilidade estatística.

7 **Gêmeos Digitais e MBSE (*Model Based Systems Engineering*) aplicados a foguetes e munições** - Modelos digitais acoplados ao ciclo de vida (simulação de comportamento térmico, estrutural, desempenho e manutenção) usados para projetar, testar virtualmente e prever falhas

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de sistemas; profissionais de modelagem; especialistas em dados; equipes de manutenção preditiva.
- **Como o trabalho muda** - Redução de ciclos físicos de teste — maiores tarefas de construção de gêmeos digitais, atualização de modelos com telemetria real, análise preditiva e integração entre engenharia e operações.

8

Inteligência Artificial (IA) e *Machine Learning* (ML) para guiagem, navegação & controle (GN&C) e para testes e inspeção automatizada - Algoritmos de *Machine Learning* para otimizar a guiagem e a visão computacional, além de detectar falhas em sensores, fusionar dados e automatizar análise de testes e controle de qualidade.

- **Nível de impacto** - Altíssimo.
- **Principais profissionais afetados** - Principais profissionais afetados - Engenheiros de controle; cientistas de dados e ML; engenheiros de *software* embarcado; operadores de ensaios.
- **Como o trabalho muda** - Processos de otimização e personalização (*tuning*) manuais e análise de *logs* passam a ser tarefas de curadoria de dados, rotulagem, validação e explicabilidade de modelos. Aumentam-se as demandas por competências em *Machine Learning* embarcado e validação de sistemas críticos.

9

Materiais avançados e TPS (*Thermal Protection Systems*) para alta temperatura e hipersônicos - Compósitos de matriz cerâmica, ligas refratárias e revestimentos ablativos e cerâmicos para proteger as ogivas e estruturas em trajetórias de alta velocidade (hipersônicas).

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de materiais; especialistas em revestimentos; técnicos de processos (autoclave, CVD e PVD) e ensaios térmicos.
- **Como o trabalho muda** - Aumento de ensaios de ciclo térmico, trabalho com processos de deposição avançada e caracterização microestrutural; necessidade de modelagem termomecânica acoplada.

10

Inspeção avançada e monitoramento de processos (tomografia computadorizada, radiografia digital, sensores *inline* para grãos de propelente) - Uso intensivo de tomografia computadorizada industrial, raios X digitais, ultrassom *phased array* e sensores de processo para garantir integridade do grão de propelente, detectar defeitos internos e controlar qualidade em tempo real.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** -Técnicos de radiologia, NDT (ensaios não destrutivos); engenheiros da qualidade e mecânicos; analistas de imagens e dados; profissionais de manutenção.
- **Como o trabalho muda** - Transição das inspeções visuais e testes destrutivos para análise de grandes volumes de dados de imagem, interpretação por *software* e automação de rejeição; demanda por competências em processamento de imagens e validação de algoritmos de detecção.

11

Tecnologias na área hipersônica (propulsão, estrutura, GNC) - A incorporação de capacidades hipersônicas transforma mísseis, foguetes e munições em plataformas com requisitos extremamente mais exigentes de projeto, certificação, teste e logística: reduz o tempo de reação, impõe novos requisitos de integração térmica e proteção, e eleva custos de P,D&I e de infraestrutura de ensaio.

Propulsão - Arquiteturas de aceleração e sustentação em regime hipersônico (*boosters* + *scramjet* e *ramjet* em alto nível), motores capazes de operar a *Mach* 5 e estratégias de inserção e selagem térmica.

Estruturas e materiais - Compósitos e ligas de alta temperatura, revestimentos térmicos e soluções para gerenciamento térmico e integridade estrutural sob aquecimento aerodinâmico extremo.

GNC (guiagem, navegação e controle) - Sistemas de navegação resilientes a blecaute plasma, fusão de sensores inerciais e de vetores de controle em regimes dinâmicos e controle adaptativo a altas cargas e instabilidades aerodinâmicas.

Sistemas de teste e integração - Instrumentação dedicada, instalações de ensaio aerotérmico, e simulação de alta-fidelidade *(CFD + modelos multiphysics)*.

- **Nível de impacto** - Alto.

- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de propulsão e combustão hipersônica, aeroespaciais e aerotérmicos; cientistas de materiais e especialistas em revestimentos térmicos; engenheiros de GNC e fusão de sensores; especialistas em instrumentação de testes e metrologia; técnicos de bancada e de voo, além de equipes de segurança, compliance e análise de risco político-estratégico.

- **Como o trabalho muda** - Maior ênfase em projeto multidisciplinar e cosimulação (aeroelasticidade + aerotermodinâmica + estrutura), uso intensivo de simulação de alta fidelidade e digital *twins*, necessidade de instalações experimentais especializadas (túneis hipersônicos, bancos aerotérmicos, faixas de teste), protocolos de segurança e certificação mais rígidos, além de processos de fabricação avançada para materiais refratários e montagem com controle dimensional e ambiental muito mais estritos.

12 **Sensores e navegação inercial** – A evolução de sensores e navegação inercial eleva a precisão, autonomia e resiliência de mísseis, foguetes e munições guiadas, reduzindo dependência exclusiva de GNSS e permitindo operação em ambientes contestados; isso desloca investimentos para desenvolvimento de algoritmos de fusão, *hardware* robusto e processos de calibração de alta precisão.

Unidades Inerciais (IMU) - Acelerômetros e giroscópios (MEMS, FOG, RLG) integrados para medir acelerações e rotações com condicionamento eletrônico, compensação térmica e algoritmos de alinhamento.

Sensores complementares - Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e navegação assistida, magnetômetros, barômetros, altímetros, câmeras EO e IR, LIDAR e sensores de velocidade (*Doppler*) usados para correlação e correção de deriva.

Fusão de sensores e algoritmos - Filtros de estimação (ex. Kalman e variantes), detecção e isolamento de falhas, estimativa em ambientes de negação e *GNSS-jammed* e técnicas de *anti-spoofing*; *hardware* robusto, a prova de choque e vibração, e eletrônica com resistência a radiação quando requerido.

Teste e calibração - Bancadas de *rate table*, simuladores de movimento, simuladores de GNSS, ensaios ambientais e procedimentos de calibração em fábrica e campo para certificar precisão e estabilidade.

- **Nível de impacto** - Alto.

- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de sensores e microeletrônica (MEMS); Engenheiros de sistemas de navegação e GNC; especialistas em algoritmos e processamento de sinais; cientistas de dados e *machine learning* para detecção de falhas; engenheiros de testes e calibração; técnicos de bancada; especialistas em confiabilidade e em certificação ambiental e radiológica, além de equipes de cibersegurança focadas em *anti-jam* e *anti-spoofing.*

- **Como o trabalho muda** - O trabalho tenderá a ser mais interdisciplinar e orientado a *software* e modelagem com maior ênfase em *sensor fusion*, validação por simulação de alta fidelidade e *digital twins,* automação de calibração em linha de produção, requisitos mais estritos de *ruggedização* e rastreabilidade de componentes, e integração contínua entre P&D, fabricação e operações para aumentar a vida útil dos sensores e garantir conformidade em cenários operacionais adversos.

13

Integração de armentos inteligentes em plataformas (ensaios em voo, certificação e simulação) - A integração de armamentos inteligentes eleva a complexidade técnico-regulatória do setor, exigindo investimentos maiores em bancos de ensaio, infraestrutura de telemetria e ferramentas de simulação de alta fidelidade; isso tende a acelerar *time-to-market* para sistemas confiáveis, mas também a aumentar custos e dependência de parceiros especializados.

Integração arquitetural - Barramentos de dados determinísticos, interfaces mecânicas e eletrônicas padronizadas e subsistemas de *arming* e *safing* concebidos para interoperabilidade com sensores e aviônica.

Ensaios em voo e instrumentação - Telemetria avançada, telemetria embarcada de alta taxa, instrumentação de voo e gerenciamento de dados para validação de desempenho e segurança sem expor procedimentos operacionais sensíveis.

Simulação e validação - Ecossistemas de simulação (SIL e HIL, co-simulação aero-elétrica, CFD acoplado, digital *twins*) para replicar cenários de missão, reduzir número de voos de teste e suportar os processos de verificação e validação.

Certificação e conformidade - *Frameworks* de engenharia de sistemas, MBSE e protocolos de certificação e aeronavegabilidade que combinam ensaios experimentais, análise de risco e exigências regulatórias.

- **Nível de impacto** - Alto.

- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de sistemas, GNC, aviônica e integração estrutural; engenheiros de *software* embarcado e testes (SIL e HIL); especialistas em telemetria e instrumentação de voo; analistas de certificação e aeronavegabilidade e segurança funcional, além de equipes de dados/analítica e cibersegurança.

- **Como o trabalho muda** - Maior uso de MBSE e *digital twins* para validação virtual, ensaios em bancada cada vez mais automatizados (HIL/SIL), análise intensiva de grandes volumes de telemetria, integração precoce de requisitos de certificação e ciberresiliencia, e fluxos de trabalho híbridos que combinam simulação avançada com um número reduzido.

2.2) Outras Eventos que poderão impactar o segmento

1 **Aumento e endurecimento de controles de exportação e importação e regimes multilaterais (*Wassenaar*, Tratado sobre comércio de armas (ATT), MTCR *Export Administration Regulations* (EAR-like) para itens críticos (ITAR)** - Revisão periódica das listas de controle e práticas nacionais que restringem transferência de tecnologias dual-use, componentes eletrônicos sensíveis e materiais energéticos, exigindo maior *compliance* para exportação e cooperações internacionais.

- **Nível de impacto** - Alto.

- **Principais profissionais afetados** - Profissionais de *Compliance* e exportação; profissionais do setor jurídico, de relações governamentais, logística e qualidade.

- **Como o trabalho muda** - Atividades administrativas e de auditoria crescem (licenças, *classified handling*), exigindo expertise normativa. Espera-se limitações na transferência de pessoal/tecnologia sem autorizações.

2 **Escalada geopolítica regional e corrida armamentista tecnológica (pressões por modernização: mísseis, contramedidas e hipersônicos e aumento de escala na produção de munições** - Tensões entre grandes potências e regiões (ex. Ásia e Europa) estimulam processos acelerados de modernização de capacidades de longo alcance e contramedidas, impactando a demanda e parcerias.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Profissionais de estratégia de produto, e de P&D; engenheiros de sistemas; profissionais de relações internacionais.
- **Como o trabalho muda** - Os prazos de desenvolvimento são acelerados com maior integração com requisitos militares. Os gestores lidam com programas sensíveis e coordenação com agências de defesa.

3 **Ciclos orçamentários e volatilidade da demanda (orçamentos de defesa e mercado)** - Variações macroeconômicas e prioridades fiscais alteram investimentos em munições e sistemas, com picos por crises e quedas em austeridade

- **Nível de impacto** - Altíssimo (dependendo do país e tipos de contratos).
- **Principais profissionais afetados** - Planejadores financeiros; gestores de Cadeia de Suprimentos; profissionais de vendas e contratos; engenheiros de custos.
- **Como o trabalho muda** - Necessidade de elasticidade na capacidade produtiva, modelagem financeira mais sofisticada e gestão de contratos de longo prazo.

4 **Fragilidade de cadeias de suprimentos e escassez de semicondutores / materiais críticos** – A dependência global por semicondutores, ligas e componentes específicos produzidos em locais concentrados mantem as empresas do segmento vulneráveis a rupturas, cotas e restrições.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Profissionais de compras e logística; engenheiros; profissionais de P&D.
- **Como o trabalho muda** - Aumento do foco em qualificação de fornecedores locais, no *redesign* para substituição de componentes, em inventários estratégicos e engenharia de obsolescência.

5 **Políticas industriais e requisitos de conteúdo local e políticas de compensação TIC (incentivos e obrigatoriedade de nacionalização)** - Estímulos públicos (linhas de financiamento, compras governamentais condicionais a conteúdo local) e programas de desenvolvimento industrial que favorecem fornecedores domésticos.

- **Nível de impacto** - Alto (oportunidade e condicionante).
- **Principais profissionais afetados** - Profissionais de relações governamentais e compras; engenheiro de produção; profissionais de RH.
- **Como o trabalho muda** - Aumento de projetos para transferência de tecnologia e formação de fornecedores locais. Necessidade de *compliance* com critérios de elegibilidade para financiamento público.

6 **Difusão acelerada de tecnologias de fronteira (quântica, MA, nanotecnologia, hipersônica dentre outras)** - Uso de impressão metálica e polimérica para câmaras, injetores e peças complexas, que reduz o *lead time* e possibilita *designs* não-usináveis.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de projeto e propulsão; operadores de manufatura aditiva, controle de qualidade e certificação.
- **Como o trabalho muda** - Transição de processos convencionais para preparação de arquivos para manufatura aditiva, aumento das qualificações por ensaios não-destrutivos (TC), de manejo de pós-processamento e gestão de *pós (powders)*.

7 **Maior regulação ambiental e de saúde ocupacional, pressão social, ética e tratados humanitários sobre uso de certos tipos de munições/explosivos** - Pressão para substituir propelentes tóxicos (ex. hidrazina) por alternativas de menor toxicidade (HAN/AF-M315E e afins), bem como para adequar as etapas de armazenamento e eliminação.

- **Nível de impacto** - Alto (dependendo da situação geopolítica).

- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros químicos, de segurança industrial, logística e de certificação.

- **Como o trabalho muda** - Redução de operações de descontaminação intensiva, aumento de atividades de qualificação de compatibilidade de materiais, revisão de procedimentos de emergência e oferecimento de treinamento específicos.

8 **Aumento de ameaças cibernéticas e espionagem industrial (proteção IP e cadeia digital)** – Aumento da sofisticação de ataques visando as atividades de P&D, arquivos CAD, e Sistemas de Controle Industrial (SCI), além de roubo de propriedade industrial.

- **Nível de impacto** - Alto.

- **Principais profissionais afetados** - Profissionais de TI, de Tecnologia Operacional e de cibersegurança: engenheiros de produto; profissionais do setor jurídico.

- **Como o trabalho muda** - Maior governança de dados e aumento da segmentação de redes. Aumento da implementação de políticas de "*zero trust*" com treinamento contínuo e auditorias de segurança e integração de ciberresiliencia em contratos.

9 **Escassez de profissionais qualificados e necessidade de requalificação (*Material Adiction, Machine Learning, Model Based Systems Engineering,* Testes não destrutivos avançados)** - Demanda por competências emergentes (impressão 3D metal, ML embarcado, MBSE, CT industrial) cresce mais rápido que a oferta local de mão de obra especializada.

- **Nível de impacto** - Alto.

- **Principais profissionais afetados** - Profissionais de RH, de P&D e de operações.

- **Como o trabalho muda** - Crescimento dos programas contínuos de *upskilling/ reskilling,* parcerias com universidades e centros tecnológicos. Maior uso de aprendizagem híbrida e laboratórios de prática.

10 **Mudanças climáticas e eventos extremos afetando produção/armazenagem (temperatura, umidade, inundação)** – Eventos extremos aumentam o risco de perda de estoque e interrupções logísticas, uma vez que as atividades de armazenamento e manufatura de materiais energéticos são sensíveis a temperatura e umidade.

- **Nível de impacto** - Moderado → Alto (em regiões vulneráveis).
- **Principais profissionais afetados** - Profissionais de Segurança industrial, manutenção, logística e planejamento de continuidade.
- **Como o trabalho muda** - Necessidade de investimentos em infraestrutura resiliente, mudanças nos protocolos de estocagem, seguros e planos de contingência.

11 **Difusão de veículos autônomos** - A difusão de veículos autônomos favorece formas de emprego distribuído (munições *loitering*, cargas moduláveis, munições de pequeno porte integradas a plataformas não tripuladas) e eleva a necessidade de integração segura entre arma-sensores-C2. Também aumenta requisitos de interoperabilidade, comunicação resiliente, proteção contra interferência/*spoofing* e capacidades de missão colaborativa e reconfiguração em campo. Os ensaios, certificações e logística passam a demandar simulação em larga escala e validação de *software*/autonomia além dos testes cinemáticos tradicionais.

- **Nível de impacto** - Alto.
- **Principais profissionais afetados** - Engenheiros de projeto e propulsão; operadores de manufatura aditiva, controle de qualidade e certificação.
- **Como o trabalho muda** - Transição de processos convencionais para preparação de arquivos para manufatura aditiva, aumento das qualificações por ensaios não-destrutivos (TC), de manejo de pós-processamento e gestão de *pós (powders)*.

12 **Posicionamento Geopolítico Brasileiro** - O Brasil combina um discurso de autonomia estratégica com participação ativa em regimes multilaterais de controle de tecnologia, sendo membro do MTCR desde 1995; isso condiciona exportações e parcerias em tecnologias sensíveis. Ao mesmo tempo, acordos industriais e vendas (ex. internacionalização da Embraer e parcerias em aviônica e armamentos) abrem mercados e transferência de *know-how*, criando oportunidades comerciais e industriais. A política de aquisição enfrenta o *trade-off* entre integrar cadeias globais para acesso à tecnologia e preservar autonomia produtiva e de decisão nacional. Logo, o posicionamento geopolítico brasileiro significa simultaneamente restrições e incentivos: restrições técnicas e de licenciamento que limitam exportações e importações de componentes sensíveis (pressupõem equipes fortes de *compliance* e *licensing*), e incentivos para parcerias industriais e *offsets* que podem acelerar capacitação local — o que exige maior investimento em P,D&I e infraestrutura de teste.

- **Nível de impacto** - Altíssimo.
- **Principais profissionais afetados** - Controladores de exportação e *compliance*; engenheiros de sistemas e propulsão; especialistas em certificação e aeronavegabilidade; analistas de política internacional; equipes de *supply-chain* e logística (para lidar com controles e sanções), além de equipes jurídicas e de relações governamentais.
- **Como o trabalho muda** - Atividades administrativas e de auditoria crescem (licenças, *classified handling*), exigindo expertise normativa. Espera-se limitações na transferência de pessoal/tecnologia sem autorizações.

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

[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".

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 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

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

Categoria: Habilidades Técnicas → Monitoramento, inspeção e testes.

Descrição: Projetar e executar ensaios em bancada e em campo; coletar e validar dados experimentais; avaliar conformidade de desempenho e segurança.

Por que é importante: Com a difusão de AM, propelentes verdes, espoletas MEMS e TND avançados, cresce a necessidade de verificações rigorosas para garantir integridade de peças, performance de grãos e segurança operacional. Testes robustos sustentam certificação e aceitação em mercados regulados.

Como capacitar: Programas práticos de ensaios com *checklists* padronizados; certificação interna em métodos de teste; rotação entre laboratório e campo; exercícios de análise estatística de resultados.

[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).

Design para Manufatura Aditiva (DfAM) e CAD/CAE avançado

Categoria: Habilidades Técnicas → Projeto e Desenvolvimento.

Descrição: Projetar componentes otimizados para processos aditivos; dominar ferramentas CAD/CAE para análise estrutural, térmica e topológica.

Por que é importante: A manufatura aditiva muda restrições de projeto e permite geometrias que melhoram o desempenho dos dispositivos (motores, câmaras, injetores). Profissionais sem DfAM não explorarão totalmente ganhos de massa, custo
e prazo.

Como capacitar: Cursos práticos de DfAM, exercícios de topologia e otimização, laboratórios com impressoras metálicas/poliméricas e validação experimental.

Formulação e manipulação segura de energéticos e propelentes

Categoria: Habilidades Técnicas → Química e Processos

Descrição: Desenvolver, otimizar e controlar formulações de propelentes/explosivos; aplicar procedimentos de manuseio seguro e mitigação de riscos.

Por que é importante: A transição a propelentes "verdes", nanoenergéticos e a impressão de "tintas" exigem conhecimento profundo de compatibilidade, estabilidade e riscos ocupacionais. Erros elevam risco de acidentes e falhas.

Como capacitar: Treinamento prático em laboratório com procedimentos operacionais padrão (SOPs), simulações de cenários de emergência, certificação em segurança química e práticas de manuseio de materiais perigosos.

Ensaios e análise de NDT avançado (CT, radiografia, ultrassom)

Categoria: Habilidades Técnicas → Testes Não Destrutivos (TND)

Descrição: Operar e interpretar tomografia industrial (CT), radiografia digital e ultrassom; integrar resultados ao controle de qualidade.

Por que é importante: Peças de manufatura aditiva e grãos de propelente requerem inspeção interna para detectar defeitos. Os Testes Não Destrutivos avançados reduzem rejeitos e aumentam a confiabilidade.

Como capacitar: Certificações TND, cursos de processamento e análise de imagens, prática em tomógrafos e projetos de interpretação e automação.

Engenharia de sistemas e Modelos Baseados em Sistemas de Engenharia (MBSE) e Gêmeos Digitais

Categoria: Habilidades Analíticas → Sistemas e Modelagem.

Descrição: Modelagem de sistemas complexos (SysML), desenvolvimento de gêmeos digitais e integração de modelos ao ciclo de vida do produto.

Por que é importante: MBSE e gêmeos digitais permitem simular desempenho (térmico, estrutural, dinâmica) e prever falhas, reduzindo ciclos de teste físico e custos de desenvolvimento.

Como capacitar: Formação em MBSE (SysML), oficinas de criação de gêmeos digitais com dados reais, exercícios de integração CAE→PLM e estudo de casos.

Ciência de dados, ML e validação de modelos

Categoria: Habilidades Digitais → Dados e IA

Descrição: Curadoria de dados, design/treinamento de modelos de *Machine Learning*, validação, testes de robustez e explicabilidade em contexto crítico.

Por que é importante: Uma vez que a IA e ML será usada no campo da Guiagem, Navegação & Controle (GN&C), aumenta-se a importância da inspeção automatizada e manutenção preditiva. Modelos mal validados podem induzir falhas em sistemas de missão crítica.

Como capacitar: *Bootcamps* aplicados (ML para indústria), projetos com *datasets* de ensaios, treinamento em validação, detecção de viés e explicabilidade de modelos.

Cibersegurança industrial e proteção de IP

Categoria: Habilidades Digitais → Segurança e Governança.

Descrição: Implementar controles de segurança TI e OT, proteção de arquivos CAD e de P&D e políticas de acesso. Responder a incidentes e mitigação de exfiltração.

Por que é importante: Ameaças cibernéticas visam propriedade intelectual sensível (projetos, dados de teste) e podem interromper produção. Isso exige uma governança "*zero trust*" e segmentação de redes.

Como capacitar: Treinamentos em OT/ICS, exercícios *tabletop*, políticas de segurança, certificações (ex. IEC 62443) e práticas de gestão de identidade/acesso.

Gestão de programas e *compliance* (controles de exportação e certificações)

Categoria: Habilidades de Gestão → Conformidade e Programas.

Descrição: Gerir programas com requisitos de exportação, contratos governamentais e processos de certificação técnica/regulatória.

Por que é importante: O endurecimento dos controles de exportação e políticas industriais exige uma gestão mais integrada entre jurídico e engenharia para evitar sanções e garantir elegibilidade a mercados.

Como capacitar: Cursos em regimes de controle de exportação, simulações de licenciamento, integração de equipes jurídicas e técnicas em exercícios de compliance.

Qualidade, certificação e engenharia regulatória

Categoria: Habilidades Técnicas → Qualidade e Regulação.

Descrição: Desenvolver e manter sistemas de gestão da qualidade; conduzir homologações e garantir conformidade com normas técnicas e ambientais.

Por que é importante: Novas normas sobre munições insensíveis (IM), ambientais e conteúdo local requerem evidências robustas de conformidade para acesso a contratos e certificação internacional.

Como capacitar: Treinamentos em ISSO e padrões relevantes, auditorias internas, elaboração de documentação para certificação e estudos de caso práticos.

Competências em manufatura segura e sustentabilidade (manejo de resíduos)

Categoria: Habilidades Técnicas → Operação e Sustentabilidade.

Descrição: Operar processos com foco em segurança industrial, na redução do impacto ambiental e na gestão de resíduos perigosos.

Por que é importante: Propelentes verdes, regulação ambiental e eventos climáticos elevam demandas por processos resilientes e manejo correto de sobras/descartes.

Como capacitar: *Workshops* de gestão ambiental, treinamentos práticos em manejo de resíduos perigosos, simulações e certificações ambientais.

Comunicação técnica e colaboração interdisciplinar

Categoria: Habilidades Sociais → Comunicação e Trabalho em Equipe

Descrição: Traduzir resultados técnicos para distintos *stakeholders*; coordenar trabalho entre engenharia, *compliance*, fornecedores e órgãos públicos.

Por que é importante: Projetos de MBSE, MA, ML e *compliance* exigem articulação entre domínios distintos. Falhas de comunicação aumentam retrabalho e risco de não-conformidade.

Como capacitar: Oficinas de escrita técnica, apresentações e *role-play*; projetos interdisciplinares com avaliação 360°; cursos de facilitação.

Pensamento Crítico e Resolução de Problemas Complexos

Categoria: Habilidade Básica e Técnica → Pensamento Crítico e Resolução de Problemas complexos.

Descrição: Combinação de habilidades para diagnosticar falhas, integrar dados heterogêneos e propor soluções inovadoras.

Por que é importante: Ambientes incertos (ex. ruptura das cadeias de suprimento, mudanças regulatórias, adoção de novas tecnologias) exigem capacidade de adaptação e solução criativa de problemas.

Como capacitar: Treinamentos em pensamento sistêmico, exercícios com cenários (ex. jogos de guerra e simulações de crise), trabalho em projetos multidisciplinares e mentoria.

Tabela de Priorização das Habilidades Requeridas

Habilidade	Importância 5 anos	Importância 10 anos
Monitoramento, inspeção e testes	Alta	Alta
Design para Manufatura Aditiva (DfAM) e CAD/CAE avançado	Alta	Alta
Formulação e manipulação segura de energéticos e propelentes	Alta	Alta
Ensaios e análise de NDT avançado	Média - Alta	Alta
Engenharia de sistemas e MBSE e Gêmeos Digitais	Média	Alta
Ciência de dados, ML e validação de modelos	Média	Alta
Cibersegurança industrial e proteção de IP	Alta	Alta
Gestão de programas e compliance	Alta	Alta
Qualidade, certificação e engenharia regulatória	Alta	Alta
Manufatura segura e sustentabilidade	Média - Alta	Média - Alta
Comunicação técnica e colaboração interdisciplinar	Média	Alta
Flexibilidade cognitiva e resolução de problemas complexos	Média - Alta	Alta

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

Atenção a detalhes

Categoria: Capacidade Cognitiva.

Descrição: Capacidade de aplicar regras gerais a problemas específicos para produzir respostas lógicas.

Por que é importante: Na análise de falhas de sistemas de ignição, na avaliação de causas de anomalias em propelentes ou no teste de foguetes, é necessário aplicar princípios gerais da física e química para casos concretos.

Como desenvolver: Seleção por testes psicométricos; rotação em tarefas de inspeção NDT; *checklists* obrigatórios; práticas de revisão em pares e *feedback* imediato; trabalhos que exigem revisão documental rigorosa.

Visão de Perto

Categoria: Capacidade Física.

Descrição: Capacidade de ver detalhes a pequenas distâncias com clareza.

Por que é importante: Operações de inspeção de munições, análise de microdefeitos em propelentes e testes de microunidades exigem precisão visual em curta distância. Com a miniaturização de componentes e uso de sensores embarcados em mísseis, essa *ability* se torna crítica.

Como desenvolver: Testes oftalmológicos frequentes, exercícios de foco em leitura técnica, uso de equipamentos de inspeção ótica.

Raciocínio Dedutivo

Categoria: Capacidade Cognitiva.

Descrição: Capacidade de aplicar regras gerais a problemas específicos para produzir respostas lógicas.

Por que é importante: Na análise de falhas de sistemas de ignição, na avaliação de causas de anomalias em propelentes ou no teste de foguetes, é necessário aplicar princípios gerais da física e química para casos concretos.

Como desenvolver: Treinamento em resolução de problemas, simulações de falhas, estudos de caso.

Ordenação da Informação

Categoria: Capacidade Cognitiva.

Descrição: Capacidade de organizar informações ou ações em uma determinada ordem ou padrão.

Por que é importante: Sequências de montagem e testes de mísseis e explosivos exigem execução em etapas críticas. Uma falha na ordem pode gerar acidentes graves ou falhas de desempenho.

Como desenvolver: Exercícios com fluxogramas, treinamentos com *checklists*, simulações em realidade virtual.

Estabilidade Braço-Mão

Categoria: Capacidade Física (Controle Motor).

Descrição: Capacidade de manter o braço e a mão estáveis enquanto se movimenta ou mantém uma posição.

Por que é importante: Crucial na manipulação de explosivos sensíveis, inserção de microcomponentes e operações de soldagem em sistemas guiados. Pequenas falhas motoras podem comprometer a segurança.

Como desenvolver: Exercícios de coordenação fina, prática em simuladores táteis, atividades que exigem precisão manual.

Percepção de Problemas

Categoria: Capacidade Cognitiva.

Descrição: Capacidade de perceber que algo está errado ou prestes a dar errado.

Por que é importante: Na manipulação de munições e propelentes, a detecção precoce de sinais de falha, deformações ou vazamentos pode evitar acidentes catastróficos.

Como desenvolver: Treinamento em segurança, exercícios de reconhecimento de falhas em protótipos, simulações com cenários de risco.

Coordenação de Membros

Categoria: Capacidade Física.

Descrição: Capacidade de coordenar movimentos de braços e pernas enquanto o corpo está em movimento.

Por que é importante: Operadores de veículos lançadores, drones militares e sistemas de teste de foguetes precisam coordenar múltiplos controles simultâneos.

Como desenvolver: Treinos em simuladores de sistemas complexos, exercícios de coordenação física, jogos de simulação multitarefa.

Compreensão Oral

Categoria: Capacidade Cognitiva.

Descrição: Capacidade de compreender informações e instruções faladas.

Por que é importante: Em operações de montagem e testes de campo, as ordens muitas vezes são passadas oralmente em ambientes de alta pressão e ruído.

Como desenvolver: Treinamentos em cenários ruidosos, exercícios de comunicação em grupo, prática de protocolos verbais de segurança.

Atenção Seletiva

Categoria: Capacidade Cognitiva.

Descrição: Capacidade de se concentrar em uma tarefa específica por um longo período sem se distrair.

Por que é importante: Testes de motores de foguetes, monitoramento de lançamentos e manipulação de explosivos exigem foco extremo em um ponto ou indicador, mesmo em ambientes com múltiplos estímulos.

Como desenvolver: Exercícios de *mindfulness* aplicados a tarefas técnicas, simulações de controle em ambientes de alta carga de estímulos.

Memorização

Categoria: Capacidade Cognitiva.

Descrição: Capacidade de lembrar informações como palavras, números, procedimentos ou instruções.

Por que é importante: Muitos procedimentos críticos não permitem consulta a manuais durante a execução (ex. emergência em teste de propulsor). A memorização é essencial para evitar erros fatais.

Como capacitar: Treinamentos com repetição espaçada, simulações práticas sem consulta, exercícios de associação.

Visualização Espacial

Categoria: Capacidade Cognitiva.

Descrição: Capacidade de imaginar como algo ficará depois de movido ou montado.

Por que é importante: Na montagem de ogivas, integração de sistemas em mísseis e *layout* de linhas de produção de explosivos, a visualização mental de estruturas 3D reduz falhas e retrabalho.

Como capacitar: Exercícios de CAD/CAE, práticas em realidade aumentada, treinamento em desenho técnico e modelagem.

Tabela de Priorização das Capacidades Requeridas

Capacidade	Importância 5 anos	Importância 10 anos
Visão de Perto	Média - Alta	Média
Raciocínio Dedutivo	Alta	Alta
Ordenação da Informação	Alta	Alta
Estabilidade Braço-Mão	Média	Média - Baixa
Percepção de Problemas	Alta	Alta
Coordenação Multimembros	Média	Média
Compreensão Oral	Média	Média
Atenção Seletiva	Alta	Alta
Memorização	Média	Média - Baixa
Visualização Espacial	Média - Alta	Alta
Atenção a detalhes	Alta	Alta

3.3) Conhecimentos que ganharão importância (comuns às ocupações)

Gestão da Qualidade e Controle Estatístico de Processo (SQC/SPC)

Descrição: Normas, métodos e ferramentas (ISO 9001, AS9100, FMEA, SPC, Six Sigma) para garantir conformidade de lote, controle de processo e melhoria contínua.

Justificativa: A introdução da manufatura aditiva, novos propelentes e processos sensíveis exige controle estatístico rigoroso para reduzir variabilidade, garantir repetibilidade e atender certificações de defesa.

Regulação, Controles de Exportação e *Compliance* (incluindo regimes internacionais)

Descrição: Normas e procedimentos legais relativos ao controle de exportação (regimes multilaterais, legislação nacional), licenciamento, classificação de produtos e requisitos contratuais de defesa.

Justificativa: O endurecimento regulatório e dos regimes de controle impactam negócios e projetos. Este conhecimento se torna essencial para evitar sanções e viabilizar parcerias tecnológicas.

Ciência e Tecnologia de Materiais (Metais, Compósitos, Refratários)

Descrição: Propriedades de ligas, compósitos e revestimentos; tratamentos térmicos; seleção de materiais para estruturas, câmaras de combustão e TPS.

Justificativa: Materiais avançados (liga para AM, TPS para hipersônicos) demandam conhecimentos formais para design, tratamento e qualificação de peças críticas.

Química de Energéticos e Formulação de Propelentes

Descrição: Química de explosivos e propelentes, estabilidade, compatibilidades, balanceamento oxidação e redução, cálculos de energia específica, métodos analíticos (GC, HPLC, DSC).

Justificativa: Transição para propelentes “verdes”, nanoenergéticos e formulações imprimíveis requer domínio formal de química, métodos analíticos e legislação de segurança química.

Armazenagem, Manuseio e Segurança de Materiais Perigosos (HAZMAT)

Descrição: Normas de estocagem, transporte e manuseio de substâncias perigosas (UN ADR, IMDG, procedimentos de descontaminação, EPI, SPS), além de planos de contingência.

Justificativa: Minimizar risco operacional e cumprir exigências legais em presença de materiais energéticos e químicos sensíveis.

Manufatura Aditiva: Processos, Materiais e Qualificação

Descrição: Princípios de manufatura aditiva (LPBF, EBM, DED), parametrização, pós-processamento, qualificação de *powders*, requisitos de certificação e procedimentos de qualificação por ensaio/NDT.

Justificativa: A manufatura aditiva para componentes de propulsão e estruturas altera fluxos produtivos; conhecimento formal é necessário para qualificar peças aeronáuticas/defesa.

Testes Não-Destrutivos (NDT) e Inspeção por Imagem (CT, RX, Ultrassom PA)

Descrição: Normas, procedimentos e interpretação de técnicas NDT (tomografia industrial, radiografia digital, ultrassom phased-array), critérios de aceitação e calibração.

Justificativa: Garantia da integridade interna de grãos, peças AM e montagem de sistemas depende de metodologias NDT formalizadas e padronizadas.

Engenharia de Sistemas e MBSE (*Model-Based Systems Engineering*)

Descrição: Metodologias e notações (SysML, DO-178/254 analogias, integração CAE/PLM), requisitos, rastreabilidade e verificação/validação baseada em modelos.

Justificativa: Projetos complexos (mísseis, foguetes) exigem MBSE para reduzir ciclos de desenvolvimento, manter rastreabilidade e integrar gêmeos digitais.

Propulsão Sólida e Líquida — Teoria e Projeto

Descrição: Termodinâmica, combustão sólida e líquida, balística interna, dimensionamento de câmaras, injetores, escoamento e testes de bancada; cálculo de impulso e desempenho.

Justificativa: Este conhecimento é base para projetar motores, otimizar queima e adaptar novos propelentes seguros/mais eficientes.

Guiagem, Navegação e Controle (GN&C) e Eletrônica Embarcada

Descrição: Teoria de controle, sensores inerciais, algoritmos GN&C, arquitetura de controle embarcado e integração de sistemas de navegação (INS/GNSS).

Justificativa: A modernização da guiagem (assistida por IA) e uso de espoletas MEMS requerem estes conhecimentos para certificar algoritmos e garantir segurança de missão.

Instrumentação, Telemetria e Ensaios de Fogo *(Test & Measurement)*

Descrição: Procedimentos de instrumentação, telemetria de voo, aquisição de dados, calibração de sensores e normas para testes de bancada e lançamento.

Justificativa: Testes de motores, ensaios de estrutura e validações de sistema dependem de protocolos formais e especificações de medição confiáveis.

Proteção Térmica e Materiais para Hipersônicos (TPS)

Descrição: Princípios e normas de projetar, testar e qualificar revestimentos ablativos, cerâmicas e isolantes térmicos; ensaios de ciclagem térmica.

Justificativa: Se programas hipersônicos avançarem, requisitos formais de TPS serão críticos para segurança e desempenho.

Cibersegurança Industrial (IT/OT) e Proteção de Propriedade Intelectual

Descrição: Normas e práticas para proteção de redes OT/ICS (segmentação, autenticação, backups), governança de dados e gestão de direitos de acesso; requisitos para proteger CAD/PLM.

Justificativa: O processo de digitização (MBSE, gêmeos digitais, automação) aumenta exposição a ameaças. Estes conhecimentos auxiliam na redução de risco de exfiltração e interrupção.

Gestão de Projetos e Contratos Governamentais (incluindo conteúdo local)

Descrição: Metodologias de gestão (PMBOK/Prince2), gestão de contratos de defesa, requisitos de conteúdo local, documentação para licitação e compliance contratual.

Justificativa: Necessário para entregar programas complexos, atender cláusulas de nacionalização e gerir risco financeiro e de conformidade.

Tabela de Priorização dos Conhecimentos Requeridos		
Conhecimento	**Importância 5 anos**	**Importância 10 anos**
Gestão da Qualidade e Controle Estatístico de Processo (SQC/SPC, AS9100, FMEA)	Alta	Alta
Regulação, Controle de exportação e *Compliance*	Alta	Alta
Ciência e Tecnologia de Materiais	Alta	Alta
Química de Energéticos e Formulação de Propelentes	Média	Alta
Armazenagem, Manuseio e Segurança de Materiais Perigosos (HAZMAT, UN/ADR/IMDG)	Alta	Alta
Manufatura Aditiva: Processos, Materiais e Qualificação (LPBF, DED, powders)	Média	Alta
Ensaios não destrutivos (CT, RX, Ultrassom PA) e Inspeção por Imagem	Média	Alta
Engenharia de Sistemas e MBSE (SysML, integração CAE/PLM, digital twins)	Média - Alta	Alta
Propulsão Sólida e Líquida — Teoria e Projeto (balística interna, testes)	Média	Alta
Guiagem, Navegação & Controle (GN&C) e Eletrônica Embarcada	Média - Alta	Alta
Instrumentação, Telemetria e Ensaios de Fogo	Alta	Alta
Proteção Térmica e Materiais para Hipersônicos (TPS)	Média	Alta
Cibersegurança Industrial (IT/OT) e Proteção de Propriedade Intelectual	Alta	Alta
Gestão de Projetos e Contratos Governamentais	Média - 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 Materiais (exemplo: desenvolvimento de novos materiais, para Material *Adiction* (MA) e *Termal Protection Systems* (TPS) – Atua na seleção e qualificação de ligas/*powders* para impressão, tratamentos térmicos, e desenvolvimento de revestimentos TPS para altas temperaturas.

Químico e Engenheiro Químico – Atua no desenvolvimento de formulação e técnicas de caracterização de materiais e propulsores compatíveis com propelentes de baixa toxicidade; otimização de grãos e ensaios de bancada.

Engenheiro de computação e *software* – Atua no desenvolvimento de modelagem de sistemas em SysML, criação e manutenção de gêmeos digitais e integração CAE<->PLM para V&V virtual.

Especialista em Guiagem, Navegação e Controle (GN&C) com ML embutida – Atua na projeção de algoritmos de guiagem e controle, integrar ML embarcado para robustez e fusão de sensores; validação em tempo real.

Especialista em Testes não destrutivos (TND) e Metrologia – Atua no desenvolvimento de procedimentos NDT avançados, interpretar tomografias complexas, validar índices de qualidade e coordenar automação de inspeção.

Especialista em Cibersegurança (ex. redes, Tecnologia Operacional (OT), Gestão do Ciclo de Vida do Produto (PLM)) – Atua na projeção de sistemas de segurança para OT e ICS; proteção PLM, CAD e telemetria e gerenciamento de políticas de segregação, resposta a incidentes e *compliance*.

Especialista em Regulação e Controle de Exportação – Atua na classificação de gestão de licenças, relacionamento com autoridades e alinhamento de projetos com regimes internacionais.

Especialista em Segurança de Processos e Materiais Perigosos (HAZMAT) - Análise de riscos de processo, conduzir HAZOP, elaborar planos de mitigação, e assegurar *compliance* ambiental e de segurança.

Especialista da Qualidade – Atua na extração e análise de dados de produção, TND e testes; construção de modelos preditivos de falha, *dashboards* de qualidade e rotinas de controle estatístico avançado.

Engenheiro de sistemas – Atua na elaboração e rastreabilidade de requisitos, gestão de ciclo de vida de sistemas complexos, validação e verificação de requisitos

Especialista em propulsão – Atua na projeção, desenvolvimento e teste de sistemas propulsivos para mísseis e foguetes.

Especialista em ensaio e certificação - Prepara, planeja, executa e avalia a integração, desempenho e qualidade de voo dos armamentos

Especialista em automação industrial - Projeta, desenvolve, adapta e integra máquinas e equipamentos industriais.

Especialista em armamento aéreo, mísseis e foguetes - Projeta, especifica e qualifica sistemas de armamento aéreo.

4.2) Nível Técnico e Operacional

Técnico em Manufatura Aditiva – Atua na operação, qualificação e manutenção de impressoras metálicas e poliméricas (LPBF, DED); no manuseio seguro de *powders*; no pós-processamento e na preparação de peças para NDT.

Técnico em Inspeção por Imagem – Atua na operação de CT industrial, radiografia digital e ultrassom, pré-processamento de imagens e execução de rotinas de calibração e relatório.

Técnico em Formulação e Manuseio de materiais energéticos e perigosos – Atua na preparação de formulações sob SOPs, na execução de testes de estabilidade simples, no controle de estoques HAZMAT e nos procedimentos de descontaminação.

Técnico em Instrumentação e Ensaios – Atua na instalação de sensores, calibração, aquisição de dados em ensaios de bancada e lançamentos, pré-processamento de telemetria.

Técnico Logística e armazenagem de produtos controlados e perigosos – Atua no gerenciamento da armazenagem conforme legislação vigente, inspeções de estoque, planos de contingência e cumprimento de requisitos de transporte.

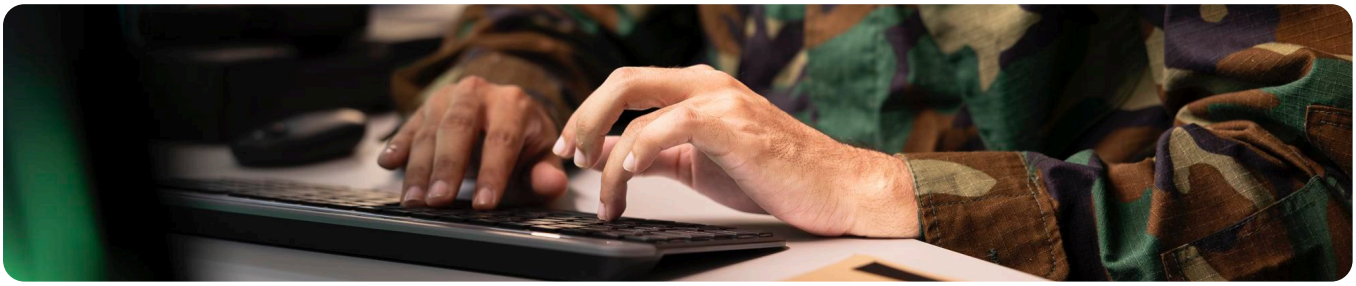
Técnico em Manutenção de Sistemas eletrônicos embarcados - Atuação na Manutenção e testes de unidades eletrônicas embarcadas (GN&C *boards*, sensores MEMS), bem como na atualização de *firmwares* em ambiente controlado.

Técnico em automação industrial – Atua na implementação de máquinas e equipamentos industriais automatizados (HANDS ON).

Técnico em manutenção industrial - Realiza a manutenção das máquinas e equipamentos industriais.

Projetista - Realiza projetos de sistemas mecânicos e eletrônicos

Técnico em metalurgia - Executa atividades metalúrgicas, tais como: processos de usinagem, soldagem, tratamento superficial, fundição e forja dentre outros.



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
Químico e Engenheiro Químico	4	4	4
Especialista em Cibersegurança (exemplo: redes, Tecnologia Operacional (OT) e Product Lifecycle Management (PLM))	4	4	4
Especialista da Qualidade	4	4	4
Engenheiro de Materiais (ex. desenvolvimento de novos materiais, para Material Adiction (MA) e Termal Protection Systems (TPS)	3	4	4
Engenheiro de computação e software	3	3	3
Profissional	**Demanda para os próximos 2 anos**	**Demanda para os próximos 5 anos**	**Demanda para os próximos 10 anos**
Especialista em Testes não destrutivos (TND) e Metrologia	3	3	3
Especialista em Regulação e Controle de Exportação	3	3	3
Especialista em Segurança de Processos e materiais perigosos (HAZMAT)	3	3	3
Especialista em Guiagem, Navegação e Controle (GN&C) com ML embutida	2	3	3
Engenheiro de sistemas	2	2	2
Especialista em propulsão	2	2	2
Especialista em automação industrial	2	2	2
Especialista em ensaio e certificação	1	1	1
Especialista em armamento aéreo, mísseis e foguetes	1	1	1

Nível Técnico

Profissional	Demanda para os próximos 2 anos	Demanda para os próximos 5 anos	Demanda para os próximos 10 anos
Técnico em Instrumentação e Ensaios	3	3	4
Técnico em Inspeção por Imagem	3	3	3
Técnico em automação industrial	3	3	3
Técnico em manutenção industrial	3	3	3

Profissional	Demanda para os próximos 2 anos	Demanda para os próximos 5 anos	Demanda para os próximos 10 anos
Projetista	3	3	3
Técnico em Manutenção de Sistemas eletrônicos embarcados	3	3	3
Técnico em Manufatura Aditiva	3	3	3
Técnico em Formulação e Manuseio de materiais energéticos e perigosos	2	3	3
Técnico Logística e armazenagem de produtos controlados e perigosos	2	2	2
Técnico em metalurgia	2	2	2

5. Cursos que poderão ser demandados pelas empresas do Segmento

Manufatura Aditiva — Operação e Segurança (Básico e Intermediário)

Público: Capacidade Cognitiva.
Conteúdo central: Capacidade de imaginar como algo ficará depois de movido ou montado.
Objetivo: Exercícios de CAD/CAE, práticas em realidade aumentada, treinamento em desenho técnico e modelagem.

Design para Manufatura Aditiva (DfAM) e Otimização Topológica (Intermediário e Avançado)

Público: Engenheiros de projeto, CAE e manufatura.
Conteúdo central: Princípios DfAM (restrições, *overhangs*, suportes); otimização topológica; design paramétrico; análise térmica e estrutural CAE para MA; critérios de projeto para certificação (AS e EN aplicáveis); *hands-on* com ferramentas CAD e MA.
Objetivo: Formar projetistas capazes de explorar ganhos de massa e performance e produzir peças de MA com requisitos de certificação atendidos.

Ensaios Não-Destrutivos Avançados — Tomografia Computadorizada (CT) Industrial e Radiografia Digital (Intermediário/Avançado)

Público: Técnicos TND; Engenheiros da qualidade e de inspeção.
Conteúdo central: Princípios de tomografia industrial (reconstrução, artefatos), radiografia digital e ultrassom *phased-array*; calibração e critérios de aceitação; automação de análise de imagem; integração com fluxos de qualidade e rastreabilidade.
Objetivo: Habilitar equipes a realizar e interpretar TND avançado para qualificação de peças de MA, grãos de propelente e montagens críticas.

Fundamentos e Segurança na Formulação de Propelentes e Explosivos (Avançado e Técnico)

Público: Engenheiros químicos; técnicos de laboratório; profissionais de P&D.
Conteúdo central: Termodinâmica de combustão; estabilidade e sensibilidade; compatibilidades; análises (GC, HPLC, DSC); princípios sobre propelentes "verdes"; escala de produção segura; padrões de armazenamento e transporte.
Objetivo: Fornecer a base técnico-científica para formular, testar e qualificar propelentes com foco em desempenho e segurança.

Armazenagem e Logística de Materiais Perigosos e controlados (Básico/Intermediário)

Público: Técnicos de estoque, logística e segurança do trabalho.
Conteúdo central: Conceitos básicos das normas e códigos UN/ADR/IMDG; embalagens e rotulagem; procedimentos de emergência e descontaminação; documentação de transporte; gestão de inventários críticos.
Objetivo: Garantir operação segura e conformidade legal no manuseio, estocagem e transporte de materiais energéticos.

Instrumentação e Telemetria para Ensaios (*Test & Measurement*) — (Intermediário e avançado)

Público: Técnicos de ensaio; engenheiros de instrumentação; analistas de telemetria.
Conteúdo central: Tipos de sensores (pressão, aceleração, deformação); sistemas de aquisição de dados (DAQ); sincronização; telemetria de voo; calibração; métodos para avaliar a qualidade dos sistemas de medição e *pipelines* de pré-processamento de dados.
Objetivo: Formar equipes capazes de planejar e executar instrumentação confiável em testes de bancada e lançamentos.

GN&C com ML embarcado (Intermediário/Avançado)

Público: Engenheiros de controle e de GN&C, e Cientistas de dados embarcados.
Conteúdo central: Teoria de controle; filtros (EKF/UKF); fusão de sensores; ML embarcado (técnicas leves); validação e certificação de algoritmos; simulação em tempo real e simulação *hardware-in-the-loop*.
Objetivo: Capacitar engenheiros na integração de modelos de *Machine Learning* seguros em *loops* GN&C e validação do desempenho em condições reais.

Cibersegurança OT (Intermediário/Avançado)

Público: Profissionais de TI e OT; gestores de PLM; diretor de Segurança da Informação (CISO).
Conteúdo central: Segmentação de rede OT/IT; políticas de acesso e DLP para PLM e CAD; Sistema de Detecção de Intrusão (IDS); sistema de Prevenção de Intrusão (IPS); gestão de identidade; normas IEC 62443; planos de continuidade e resposta a incidentes envolvendo IP.
Objetivo: Reduzir os riscos de exfiltração de propriedade intelectual e proteger operações industriais críticas.

Engenharia de sistemas (ex. MBSE e Gêmeos Digitais para Produtos de Defesa)

Público: Engenheiros de sistemas e CAE; gerentes de P&D.
Conteúdo central: linguagem SysML; requisitos e rastreabilidade; integração PLM-CAE; desenvolvimento de gêmeos digitais (modelagem multifísica); estratégias de validação virtual e governança de dados.
Objetivo: Permitir projetos orientados a modelos, testes virtuais integrados e manutenção preditiva via gêmeos digitais.

Controle Estatístico de Processo & Qualidade de Dados (CEP + DataOps) – (Intermediário)

Público: Engenheiros de produção e da qualidade; analistas de dados.
Conteúdo central: Fundamentos do CEP; controle de variabilidade; fundamentos da ferramenta Seis Sigma; *pipelines* de *DataOps* para qualidade (ETL, versionamento, validação de sensores); *design* experimental para qualificação de processos de MA.
Objetivo: Combinar ferramentas estatísticas com boas práticas de dados para garantir confiabilidade e repetibilidade da produção.

Processos de Segurança, operação de materiais perigosos (HAZOP) e Análise de camadas de proteção (LOPA) para Produção de Energéticos (Avançado)

Público: Engenheiros de processos e de segurança; gestores de produção.
Conteúdo central: Metodologias HAZOP e LOPA; análise de cenários; barreiras de segurança; documentação regulatória e simulação de falhas em processos energéticos.
Objetivo: Mitigar riscos de processos com materiais energéticos e atender requisitos legais e ambientais.

Análise de dados de ensaios com IA

Público: Engenheiros de TND; cientistas de dados; profissionais da garantia da qualidade.
Conteúdo central: *Pipelines* de imagem (pré-processamento, segmentação); modelos de detecção (CNNs); explicabilidade; validação e métricas (falsos positivos/negativos); integração com sistemas de rejeição automática.
Objetivo: Reduzir o tempo de inspeção e aumentar confiabilidade da detecção de defeitos internos em peças de MA.

Projeto e Qualificação de Propulsores para mísseis e foguetes

Público: Engenheiros de propulsão; profissionais de P&D e de testes.
Conteúdo central: Balística interna; cálculos de impulso; projeto de câmaras e injetores; modelos de queima; testes de bancada e requisitos de certificação.
Objetivo: Formar especialistas capazes de projetar e qualificar motores com novos propelentes e topologias.

Materiais Avançados e Caracterização — Avançado

Público: Engenheiros de materiais; laboratoristas; profissionais da Garantia da Qualidade.
Conteúdo central: Caracterização (SEM/MET/DSC/XRD); comportamentos em alta temperatura; tratamentos térmicos; pós para MA; revestimentos TPS e testes de ciclagem térmica.
Objetivo: Garantir seleção, processo e qualificação de materiais para peças e componentes críticos (exemplo: materiais compostos, nanotecnologia, manufatura aditiva, TPS etc.).

Compliance e Controles de Exportação para a Indústria de Defesa (Básico/Intermediário)

Público: Profissionais dos departamentos Jurídicos, de contratos, e de elações governamentais; gestores.
Conteúdo central: Regimes multilaterais (*Wassenaar*/ATT); classificação de produtos; processos de licenciamento; *due diligence* de parceiros; cláusulas contratuais e controle de transferência tecnológica.
Objetivo: Garantir conformidade legal em comércio internacional e reduzir riscos de sanções.

Análise de dados aplicada à Qualidade e Manutenção Preditiva

Público: Analistas de dados; engenheiros de qualidade e de manutenção.
Conteúdo central: *Pipelines* de dados industriais; engenharia de recursos para sensores; modelos preditivos de falha; avaliação de performance; integração de sistema computadorizado de gerenciamento de manutenção (CMMS) com gêmeos digitais.
Objetivo: Transformar dados de produção e testes em *insights* preditivos que reduzam *downtime* e falhas.

Liderança Técnica e Comunicação para Ambientes Sensíveis (Básico/Intermediário)

Público: Coordenadores de equipe; Líderes técnicos; gerentes de projeto.
Conteúdo central: Comunicação técnica efetiva; gestão de times multidisciplinares (engenharia, garantia da qualidade, *compliance*); condução de auditorias; *briefing* e *debriefing* de testes; ética e abordagem *speak up*.
Objetivo: Desenvolver lideranças capazes de coordenar projetos sensíveis, integrar *stakeholders* e garantir a cultura de segurança.

Automação industrial

Público: Engenheiros de automação, controles, mecânicos, elétricos e mecatrônica; técnicos de automação, integração e manutenção industrial; engenheiros de projeto/integração de sistemas e líderes de equipe de industrialização; especialistas em segurança industrial, qualidade e *compliance* (*export controls*).
Conteúdo central: Fundamentos de engenharia de sistemas e requisitos; segurança funcional e proteção em Áreas HAZMAT; cibersegurança industrial e resiliência (IEC 62443); simulação, digital *twins* e modelagem de processos; integração e Projeto para Produção (DfX); gestão de projetos e integração multidisciplinar.
Objetivo: Projetar, desenvolver, adaptar e integrar máquinas e equipamentos industriais.

Armamento aéreo, mísseis e foguetes

Público: Engenheiros de sistemas, GNC e propulsão; engenheiros de integração/aviônica; engenheiros de ensaios/validação e técnicos de voo; gerentes de P&D, certificação e compliance.
Conteúdo central: Requisitos e arquitetura de sistemas de armamento aéreo (MBSE/integração); interfaces mecânicas, elétricas e *databus* com plataformas aéreas *(pylons, racks, power, CAN/ARINC/Ethernet)*; aerodinâmica e *loads* estruturais em lançamento/lançamento; GNC, *seekers* e fusão de sensores; mitigação de blecaute GNSS; *arming* e *safing*, segurança funcional e protocolos de emprego seguro.
Objetivo: Projetar, especificar, qualificar sistemas de armamento aéreo.

Manutenção de Sistemas eletrônicos embarcados

Público: Técnicos de manutenção eletrônica, engenheiros de teste/validação e integração, equipes de comissionamento e suporte ao cliente, engenheiros de confiabilidade e qualidade.
Conteúdo central: Arquitetura de unidades embarcadas (*boards* GN&C, sensores MEMS); diagnóstico e reparo de placas: técnicas de *troubleshooting* e leitura de esquemas; bancos de ensaio e instrumentação para uso para testes funcionais; procedimentos controlados de atualização de *firmware* (assinatura/verificação, *rollback*, ambientes de teste).
Objetivo: Realizar manutenção e testes de unidades eletrônicas embarcadas (GN&C *boards*, sensores MEMS), atualização de *firmwares* em ambiente controlado.

Manutenção industrial

Público: Técnicos de manutenção industrial; engenheiros de manutenção e confiabilidade; supervisores de produção; gestores de oficina; equipes de comissionamento e fornecedores de serviços.
Conteúdo central: Fundamentos mecânicos e elétricos aplicados a células industriais (acoplamentos, rolamentos, redutores, motores elétricos); eletrônica de potência e acionamentos; PLCs, painéis de controle e redes industriais: diagnóstico lógico, recuperação e testes de I/O; manutenção preditiva; planejamento e gestão de manutenção; segurança industrial e requisitos HAZMAT/ATEX, procedimentos de bloqueio e etiquetagem (LOTO); normas de segurança; procedimentos de FAT/SAT simplificados.
Objetivo: Realizar a manutenção das máquinas e equipamentos industriais

Desenhista e Projetista

Público: Desenhistas técnicos; projetistas mecânicos e eletroeletrônicos; técnicos CAD/CAM e engenheiros de produto.
Conteúdo central: Desenho técnico e normas; CAD 2D/3D paramétrico; GD&T e tolerâncias; montagem de conjuntos, criação de desenhos de fabricação e listas de material (BOM/MBOM); noções de análise (FEA básica) e documentação para fabricação e inspeção
Objetivo: Realizar projetos de sistemas mecânicos e eletrônicos

Metalurgia

Público: Técnicos e operadores de usinagem, soldagem e tratamento térmico; inspetores de qualidade; engenheiros de materiais.
Conteúdo central: Propriedades dos metais; processos de usinagem, soldagem, fundição, forja; tratamentos térmicos, de superfícies e de revestimentos; seleção de materiais; controle dimensional; ensaios não-destrutivos e boas práticas de segurança.
Objetivo: Executar trabalhos em metalurgia (usinagem, soldagem, tratamento superficial, fundição, forja etc.)

Gestão da Inovação

Público: Gerentes de P&D, PMs de inovação, analistas de tecnologia, responsáveis por transferência tecnológica e IPR.
Conteúdo central: Técnicas/ferramentas de *Scouting* tecnológico, rotas tecnológicas e *foresight*; modelos de negócio e *open innovation*; gestão do conhecimento; propriedade industrial e estratégias de transferência e licenciamento.
Objetivo: Gerir a inovação, identificar tecnologias, gerir o conhecimento e realizar a proteção da propriedade intelectual e transferência de tecnologia

Gestão de Projetos

Público: Gerentes de projeto; Líderes técnicos, PMO e Coordenadores de programas.
Conteúdo central: Ciclo de vida do projeto, escopo/custo/prazo; gerenciamento de riscos e *stakeholders*; metodologias híbridas (*Waterfall e Agile*); cronogramas, orçamento e controle; contratos, *procurement* e comunicação.
Objetivo: Gerenciar projetos complexos, gerenciar *stakeholders*, custo, prazo e escopo

---

Certificação de Produtos

Público: Engenheiros de qualidade, homologação, ensaios e *compliance* regulatório.
Conteúdo central: Normas e requisitos regulatórios aplicáveis (conceitual); planejamento de qualificação e testes (FAT/SAT); documentação técnica e dossiês de certificação; auditoria, gestão de não conformidades e rastreabilidade pós-certificação.
Objetivo: Qualificar produtos, atender regulamentos específicos, garantia da 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%).

Curso	Demanda para os próximos 2 anos	Demanda para os próximos 5 anos	Demanda para os próximos 10 anos
Cibersegurança OT	4	4	4
Automação industrial	3	3	4
Manutenção industrial	3	3	4
Gestão da inovação	3	3	4
Manufatura Aditiva — Operação e Segurança	3	3	3
Ensaios Não-Destrutivos Avançados — Tomografia Computadorizada (CT) Industrial e Radiografia Digital	3	3	3
Instrumentação e Telemetria para Ensaios (Test & Measurement)	3	3	3
Controle Estatístico de Processo & Qualidade de Dados (CEP + DataOps) -	3	3	3
Compliance e Controles de Exportação para a Indústria de Defesa	3	3	3
Projeto e Qualificação de Propulsores para mísseis e foguetes	2	3	4
Materiais Avançados e Caracterização	2	3	4
Manutenção de Sistemas eletrônicos embarcados	2	3	4
Manutenção de Sistemas eletrônicos embarcados	4	3	2
Desenhista e Projetista	2	3	4

Curso	Demanda para os próximos 2 anos	Demanda para os próximos 5 anos	Demanda para os próximos 10 anos
Gestão de projetos	2	3	3
Análise de dados de ensaios com IA	1	3	4
Análise de dados aplicada à Qualidade e Manutenção Preditiva	1	3	4
Formulação de Propelentes e Explosivos (Fundamentos e Segurança)	2	2	2
Armazenagem e Logística de Materiais Perigosos e controlados	2	2	2
Engenharia de sistemas (ex. MBSE e Gêmeos Digitais para Produtos de Defesa)	2	2	2
Processos de Segurança, operação de materiais perigosos (HAZOP) e Análise de camadas de proteção (LOPA) para Produção de Energéticos	2	2	2
Liderança Técnica e Comunicação para Ambientes Sensíveis	2	2	2
Armamento aéreo, mísseis e foguetes	2	2	2
Metalurgia	2	2	2
Certificação de produtos	2	2	2
GN&C com ML embarcado	1	1	2

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 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

MUNIÇÕES, PROPELENTES E EXPLOSIVOS; MÍSSEIS E FOGUETES



FIA BUSINESS SCHOOL

CNI Confederação Nacional da Indústria

ABDI Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS