Cadernos de

Prospectiva Industrial de Defesa

Segmento AEROESPACIAL

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

O segmento aeroespacial, compreendendo tanto o domínio espacial quanto as plataformas militares aéreas, atravessa um período de transformação estrutural marcado pela convergência entre avanços tecnológicos de alta complexidade e a intensificação de dinâmicas geopolíticas, comerciais e institucionais. A incorporação crescente de tecnologias como inteligência artificial, sistemas autônomos, digitalização do ciclo de vida, arquiteturas abertas, materiais avançados e sistemas C4ISR redefine não apenas os sistemas e produtos, mas a própria lógica de funcionamento da Base Industrial de Defesa. Esse movimento é acompanhado por eventos não tecnológicos de elevada intensidade — como o recrudescimento de controles de exportação, a reconfiguração das cadeias globais de suprimentos, a pressão por soberania tecnológica, a instabilidade de políticas públicas e as restrições fiscais — que ampliam a complexidade do ambiente de atuação e condicionam diretamente as estratégias industriais e tecnológicas do setor.

Nesse contexto, a realização de estudos prospectivos voltados ao futuro da mão de obra torna-se não apenas relevante, mas indispensável. A transformação em curso não se limita à introdução de novas tecnologias, mas envolve a reconfiguração de capacidades, processos produtivos, organização do trabalho e perfis profissionais, exigindo uma compreensão antecipada das competências que serão demandadas nos diferentes níveis ocupacionais. Como evidenciado neste estudo, o impacto das tecnologias deve ser analisado pela sua capacidade de reconfigurar o sistema produtivo de forma integrada — desde a engenharia e produção até a operação, manutenção e gestão — e não apenas por sua difusão isolada. De forma complementar, eventos geopolíticos e institucionais exercem influência estrutural sobre o setor, afetando decisões estratégicas, padrões regulatórios, investimentos e a própria estabilidade das capacidades produtivas ao longo do tempo.

Diante dessa realidade, a antecipação das necessidades de qualificação profissional emerge como condição crítica para a sustentabilidade da Base Industrial de Defesa, uma vez que a ausência de competências pode constituir uma barreira direta à incorporação e institucionalização de tecnologias estratégicas em programas e sistemas críticos. Assim, este estudo busca oferecer subsídios estruturados para a compreensão das transformações no trabalho e na demanda por competências no segmento aeroespacial, contribuindo para a formulação de respostas coordenadas entre empresas, governo, instituições de formação profissional e instituições de ciência, tecnologia e inovação. Em última instância, reforça-se a necessidade de articular de forma consistente os resultados da análise prospectiva com as políticas de formação profissional, de modo a alinhar o desenvolvimento de capacidades humanas às estratégias de fortalecimento, competitividade e soberania da Base Industrial de Defesa brasileira.

Este estudo é fruto da aplicação do Modelo de Prospectiva Industrial, desenvolvido e aplicado pelo Observatório Nacional da Indústria da CNI, e está baseado em pesquisas teóricas em fontes secundárias e consulta a especialistas. O estudo objetiva discutir, sugerir e priorizar ações estratégicas, cursos e a 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 Possível impacto 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 (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 ou segmento e criação de demanda por novos profissionais. A seguir, são apresentadas as tecnologias emergentes para o segmento aeroespacial, juntamente com o possível impacto[1] geral no mercado de trabalho, utilizando a seguinte escala de impacto.

- **Impacto Alto** - Quando a tecnologia reestrutura de forma sistêmica o segmento, redefine perfis profissionais, cria ocupações e exige novas capacidades tecnológicas, organizacionais e formativas.
- **Impacto Médio-Alto** – Quando a tecnologia altera múltiplos processos, intensifica a complexidade do trabalho e promove hibridização de funções técnicas e analíticas.
- **Impacto Médio** - Quando a tecnologia provoca reconfiguração parcial de processos e demanda atualização significativa de competências existentes.
- **Impacto Baixo** - Quando a tecnologia gera apenas ajustes marginais nas tarefas e exige requalificação limitada.

[1] Para a classificação dos impactos das tecnologias emergentes no segmento aeroespacial, adotou-se um método estruturado que avalia a capacidade de cada tecnologia de reconfigurar o sistema produtivo em múltiplas camadas — desde processos técnicos até a organização do trabalho e as competências requeridas – e não apenas sua difusão ou eficiência isolada. A intensidade do impacto foi determinada com base em critérios combinados, incluindo: (i) **centralidade da tecnologia no sistema**; (ii) número de processos afetados ao longo do ciclo de vida; (iii) grau de reconfiguração das atividades e ocupações; (iv) dependência institucional e regulatória e (v) potencial de encadeamento produtivo.

1 Sistemas de aeronaves não tripuladas com autonomia avançada (UAVs autônomos com IA embarcada)

UAVs com autonomia ampliada (navegação, decisão tática, cooperação em enxame), baseados em IA embarcada e sensores avançados.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de software/IA, especialistas em sistemas embarcados, operadores de missão, especialistas em telecomunicações; especialistas em sensoriamento remoto; testadores de sistemas críticos; especialistas em suporte integrado ao produto; simuladores de voo; técnico de simulação de voo; profissionais de realidade aumentada e virtual.
- **Como o Trabalho Muda** - Redução do foco em pilotagem remota direta e aumento da supervisão de sistemas autônomos. Cresce a demanda por validação de algoritmos, segurança funcional e interação homem-máquina. Também haverá mudanças nas licenças de voo.

2 Gêmeos Digitais de aeronaves e sistemas espaciais (*Digital Twins – full lifecycle*)

Modelos digitais integrados que replicam aeronaves e satélites ao longo de todo o ciclo de vida (projeto, operação, manutenção).

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de sistemas, engenheiros de dados, especialistas em simulação, manutenção, gestores de ciclo de vida, laboratoristas.
- **Como o Trabalho Muda** - Transição de manutenção reativa para preditiva baseada em dados. Cresce o uso de simulações contínuas e análise de desempenho operacional.

3 **Arquiteturas abertas e modulares (MOSA – Modular Open Systems Approach)**
Arquiteturas abertas que permitem integração e substituição modular de subsistemas (aviônica, sensores, armas).

- **Nível de Impacto** - Médio-alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de integração, arquitetos de sistemas, especialistas em certificação, gestores de configuração, Engenheiros de produção.
- **Como o Trabalho Muda** - Redução de sistemas proprietários fechados e aumento da engenharia de interfaces, interoperabilidade e gestão de versões.

4 **Materiais avançados multifuncionais (compósitos avançados, RAM, materiais inteligentes)**
Materiais com propriedades estruturais e funcionais avançadas, como furtividade, resistência térmica, redução de peso, absorção de radar e adaptação a diferentes condições operacionais. No contexto aeroespacial de defesa, é importante o domínio da manufatura e integração de componentes eletrônicos associados a esses materiais, uma vez que aspectos relacionados à dissipação térmica, resistência à radiação e à compatibilidade eletromagnética são críticos para o desempenho e a confiabilidade dos sistemas embarcados.

- **Nível de Impacto** - Médio.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de materiais, técnicos de manufatura, especialistas em ensaios e qualidade.
- **Como o Trabalho Muda** - Aumento da sofisticação dos processos produtivos, maior exigência de controle ambiental e ensaios especializados.

5 Sistemas de armazenamento de energia (baterias)

Sistemas avançados de armazenamento de energia elétrica aplicados a aeronaves, satélites, drones e sistemas aeroespaciais de defesa, incluindo baterias de alta densidade energética, baterias de estado sólido e sistemas híbridos de gerenciamento energético.

- **Nível de Impacto** - Médio.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros eletricistas, engenheiros eletrônicos, engenheiros químicos, cientistas de materiais, especialistas em baterias, técnicos de manutenção aeronáutica.
- **Como o Trabalho Muda** - Aumento da demanda por profissionais especializados em armazenamento de energia, segurança eletroquímica, gerenciamento térmico e integração de sistemas elétricos embarcados.

6 Manufatura aditiva aeroespacial certificada (Additive Manufacturing – Aerospace-Grade)

Impressão 3D metálica e polimérica para componentes estruturais e peças críticas certificadas.

- **Nível de Impacto** - Médio–Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de manufatura, especialistas em materiais, técnicos de impressão 3D, certificadores, engenheiros de estrutura.
- **Como o Trabalho Muda** - Redução de processos tradicionais de usinagem e aumento da customização e produção sob demanda. Cresce a importância da certificação e rastreabilidade.

7 Satélites pequenos e constelações LEO (*SmallSats* e megaconstelações)

Satélites de pequeno porte operando em constelações para comunicação, observação da Terra e ISR.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros aeroespaciais, especialistas em telecomunicações, especialistas em sensoriamento remoto, analistas de dados geoespaciais, operadores de missão, engenheiros de manufatura.
- **Como o Trabalho Muda** - Aumento da frequência de lançamentos, operação distribuída e processamento intensivo de dados.

8 Propulsão espacial elétrica e híbrida (*Electric propulsion systems*)

Sistemas de propulsão baseados em íons, plasma ou soluções híbridas para satélites.

- **Nível de Impacto** - Médio–Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros eletricistas, especialistas em plasma, técnicos de integração espacial.
- **Como o Trabalho Muda** - Substituição parcial de sistemas químicos por elétricos, exigindo novas competências em eletrônica de potência e física aplicada.

9 Sistemas C4ISR integrados com IA (*Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*)

Integração de dados multissensores com IA para consciência situacional e apoio à decisão.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Analistas de inteligência, engenheiros de sistemas, especialistas em dados, operadores de defesa.
- **Como o Trabalho Muda** - Decisão baseada em dados em tempo real; maior integração entre operadores humanos e sistemas automatizados. Os profissionais que hoje fazem de maneira convencional deverão aprender a usar outras ferramentas de IA.

10 Sistemas de energia dirigida (*Directed Energy Weapons* – laser e micro-ondas)

Sistemas de armas baseados em laser ou micro-ondas de alta potência.

- **Nível de Impacto** - Médio–Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros eletricistas, físicos, especialistas em controle térmico, operadores de defesa; engenheiros de telecomunicações.
- **Como o Trabalho Muda** - Introdução de novos paradigmas de engajamento, exigindo competências em energia, controle térmico e integração sistêmica.

11 Comunicações ópticas para sistemas espaciais

Sistemas de comunicação baseados em feixes ópticos e tecnologias fotônicas aplicados a satélites, plataformas orbitais e sistemas aeroespaciais de defesa, permitindo transmissão de dados em alta velocidade, baixa latência e maior segurança contra interferências eletromagnéticas e interceptações. Essas tecnologias utilizam enlaces laser para comunicação entre satélites, estações terrestres e plataformas aeroespaciais, ampliando a capacidade de transmissão de informações estratégicas, sensoriamento e operações de comando e controle em ambientes espaciais.

- **Nível de Impacto** - Médio–Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de telecomunicações, engenheiros eletrônicos, engenheiros fotônicos, engenheiros aeroespaciais, físicos, especialistas em óptica e laser, especialistas em sistemas espaciais, engenheiros de software e especialistas em cibersegurança.
- **Como o Trabalho Muda** - Aumento da demanda por profissionais especializados em fotônica, sistemas ópticos de alta precisão, integração de enlaces laser e processamento avançado de sinais.

12 Computação embarcada resiliente e *edge computing* aeroespacial

Sistemas computacionais embarcados de alta confiabilidade operando em ambientes extremos (defesa e aeroespacial).

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de sistemas embarcados, de software crítico, cibersegurança, integradores, engenheiro de sistemas treinado na engenharia de requisitos.
- **Como o Trabalho Muda** - Cresce a necessidade de sistemas *mission-critical*, com validação rigorosa, redundância e segurança cibernética.

13 **Tecnologias de lançadores**
Sistemas de lançamento com reuso parcial ou total e veículos de pequeno porte para acesso ao espaço.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros aeroespaciais, especialistas em propulsão, operações de lançamento, logística espacial.
- **Como o Trabalho Muda** - Aumento da cadência de lançamentos, novas rotinas operacionais e maior integração entre engenharia e operações.

Síntese

Com base no método de impactos, predominam tecnologias com impacto Alto ou Médio–Alto, o que pode indicar a reconfiguração sistêmica do segmento (plataformas para sistemas integrados), um forte processo de hibridização entre engenharia, software e dados, e a crescente importância dos processos de integração de sistemas, validação de sistemas críticos e análise de dados e IA. Neste contexto verifica-se que o padrão dominante é o somatório de aeroespacial definido por software, autonomia e integração sistêmica.

Em termos de trabalho, pode-se inferir a redução de tarefas operacionais puras e o crescimento de funções analíticas, de integração e de validação e certificação, além da demanda emergente de novas ocupações híbridas.

2.2 Clusterização das tecnologias[2] – Segmento Aeroespacial

Lógica adotada

As tecnologias foram agrupadas segundo:

1. **Base tecnológica dominante** (ex.: IA, materiais, energia);
2. **Tipos de capacidades que reconfiguram** (ex.: decisão, produção, operação);
3. **Padrão esperado de difusão** (programática, sistêmica, específica).

CLUSTER 1

Autonomia, IA e sistemas inteligentes de missão
(Capacidade central: decisão automatizada, consciência situacional e operação autônoma)

Tecnologias: Sistemas de aeronaves não tripuladas com autonomia avançada (UAVs autônomos com IA embarcada); sistemas C4ISR integrados com IA; computação embarcada resiliente e *edge computing* aeroespacial.

Características do cluster:

- Cluster de maior impacto operacional e sistêmico.
- Forte convergência entre IA, processamento distribuído, sensores e sistemas críticos.
- Elevada dependência de software crítico, validação algorítmica e cibersegurança.
- Atua diretamente sobre comando, controle, vigilância, decisão e execução da missão.
- Integração intensa entre homem e máquina.

Implicação para difusão: Difusão dependente de programas estratégicos de defesa e certificação militar. Forte influência de requisitos de soberania tecnológica e segurança cibernética. Barreiras regulatórias e éticas podem retardar a difusão plena da autonomia decisória.

[2] A clusterização das tecnologias emergentes constitui uma etapa analítica fundamental para a estimativa de difusão tecnológica, pois permite agrupar tecnologias com lógicas semelhantes de desenvolvimento, incorporação e institucionalização no sistema produtivo. Em setores de defesa, caracterizados por estrutura monopsônica/oligopolizada, a difusão não ocorre por expansão de mercado, mas por incorporação programática e institucionalização em requisitos, normas e programas estratégicos. Nesse contexto, a análise isolada de tecnologias tende a gerar inconsistências e vieses, como superestimação ou subestimação da velocidade de adoção. Ao organizar as tecnologias em clusters baseados em capacidades dominantes e padrões de difusão (programática, sistêmica ou nichada), torna-se possível aplicar parâmetros mais coerentes na modelagem prospectiva, capturar dinâmicas diferenciadas de incorporação tecnológica, melhorar a comparabilidade entre tecnologias e aumentar a robustez metodológica das estimativas, especialmente em sistemas sociotécnicos complexos e altamente regulados, como a Base Industrial de Defesa.

CLUSTER 2

Infraestrutura espacial distribuída e conectividade orbital

(Capacidade central: conectividade espacial, sensoriamento e operação distribuída em órbita)

Tecnologias: Satélites pequenos e constelações LEO (*SmallSats* e megaconstelações); comunicações ópticas para sistemas espaciais; tecnologias de lançadores.

Características do *cluster*:

- *Cluster* voltado à ampliação da infraestrutura espacial distribuída;
- Elevada integração entre comunicações, sensoriamento remoto e logística espacial;
- Forte dependência de redução de custos de lançamento e aumento da cadência operacional;
- Intensificação do processamento e transmissão massiva de dados;
- Estrutura tecnológica altamente conectada ao conceito de "economia espacial".

Implicação para difusão: Difusão impulsionada pela expansão de aplicações dual-use (militar e civil). Crescimento condicionado à infraestrutura orbital e capacidade nacional de lançamento. Forte dependência de investimentos públicos e parcerias estratégicas.

CLUSTER 3

Arquiteturas digitais, integração e ciclo de vida inteligente

(Capacidade central: interoperabilidade, modularidade e gestão digital integrada do ciclo de vida)

Tecnologias: Gêmeos Digitais de aeronaves e sistemas espaciais (*Digital Twins – full lifecycle*); arquiteturas abertas e modulares (MOSA – *Modular Open Systems Approach*).

Características do *cluster*:

- *Cluster* focado na transformação digital da engenharia aeroespacial;
- Ênfase em interoperabilidade, integração sistêmica e atualização contínua de plataformas;
- Forte relação com engenharia baseada em modelos (MBSE);
- Redução da dependência de arquiteturas proprietárias fechadas;
- Grande impacto sobre manutenção, logística, certificação e atualização tecnológica.

Implicação para difusão: Forte dependência de padronização técnica e integração entre fornecedores. Tendência de ampla difusão em programas novos antes da modernização de legados. Importante vetor de redução de custos de ciclo de vida no longo prazo.

CLUSTER 4

Materiais avançados e manufatura aeroespacial avançada

(Capacidade central: desempenho estrutural avançado e produção aeroespacial de alta complexidade)

Tecnologias: Materiais avançados multifuncionais; manufatura aditiva aeroespacial certificada (*Additive Manufacturing – Aerospace-Grade*).

Características do *cluster*:

- *Cluster* orientado à inovação em materiais e processos produtivos;
- Forte associação entre desempenho estrutural, redução de peso e manufatura avançada;
- Elevada exigência de rastreabilidade, ensaios e certificação;
- Crescimento da customização e fabricação sob demanda;
- Forte integração entre engenharia de materiais, manufatura e qualidade.

Implicação para difusão: Difusão condicionada à maturidade regulatória e à certificação de componentes críticos. Necessidade de infraestrutura laboratorial avançada. Barreiras elevadas de qualificação técnica e investimento industrial.

CLUSTER 5

Energia, propulsão e sistemas de potência Avançados

(Capacidade central: geração, armazenamento e aplicação avançada de energia em sistemas aeroespaciais)

Tecnologias: Sistemas de armazenamento de energia (baterias); propulsão espacial elétrica e híbrida; sistemas de energia dirigida (*Directed Energy Weapons* – laser e micro-ondas).

Características do *cluster*:

- *Cluster* centrado em energia embarcada, potência e novos paradigmas de propulsão e defesa;
- Forte convergência entre eletrônica de potência, gestão térmica e materiais avançados;
- Elevada intensidade tecnológica e científica;
- Aplicações críticas para autonomia operacional e novos sistemas de armas;
- Forte dependência de desempenho energético e dissipação térmica.

Implicação para difusão: Dependência de maturidade científica e industrial. Forte influência de restrições energéticas, térmicas e de segurança operacional.

Síntese analítica da clusterização

A estrutura proposta revela cinco grandes vetores de transformação do setor aeroespacial de defesa:

1. **Autonomia e IA operacional**, que redefinem comando, decisão e execução da missão;
2. **Infraestrutura espacial distribuída**, que amplia conectividade, ISR e presença orbital;
3. **Digitalização da engenharia e do ciclo de vida**, transformando manutenção, integração e atualização tecnológica;
4. **Nova base manufatureira e de materiais**, associada à sofisticação produtiva e certificação avançada;
5. **Transição energética e novos sistemas de potência**, fundamentais para futuras plataformas aeroespaciais e armas avançadas.

2.3 Estimativa de difusão[3] das tecnologias emergentes[4]

Escala de Difusão Sistêmica e Programática

Nível 1 – Difusão Exploratória: pilotos, P&D, uso pontual.
Nível 2 – Difusão Programática Pontual: aplicada em um programa/classe/ativo específico.
Nível 3 – Difusão Programática Repetida: presente em múltiplos programas/classes, com institucionalização parcial.
Nível 4 – Difusão Sistêmica (Padrão): requisito padrão, institucionalizado e recorrente.

Tecnologia emergente	Difusão (5 anos)	Difusão (10 anos)	Justificativa sintética
Sistemas de aeronaves não tripuladas com autonomia avançada (UAVs autônomos com IA embarcada)	Nível 3	Nível 4	O Brasil tende a ampliar as aplicações em vigilância, ISR e defesa de fronteiras. Em 5 anos, uso concentrado em programas específicos; em 10 anos, maior institucionalização em múltiplas plataformas e missões.
Gêmeos digitais de aeronaves e sistemas espaciais	Nível 2	Nível 4	Forte potencial em manutenção preditiva e engenharia integrada. Difusão inicialmente concentrada em grandes integradoras e programas estratégicos, avançando posteriormente para institucionalização parcial.
Arquiteturas abertas e modulares (MOSA)	Nível 3	Nível 4	Pressão crescente por interoperabilidade e redução de lock-in tecnológico. Adoção gradual devido à necessidade de revisão de padrões e integração entre fornecedores.
Materiais avançados multifuncionais	Nível 2	Nível 2	Difusão mais lenta devido à elevada complexidade industrial, à dependência externa e à infraestrutura laboratorial restrita. Permanecerá concentrada em aplicações críticas e nichos estratégicos.
Sistemas de armazenamento de energia (baterias)	Nível 2	Nível 3	Crescente relevância para drones, satélites e sistemas híbridos. A expansão dependerá da consolidação de capacidades nacionais em eletrônica de potência e segurança eletroquímica.
Manufatura aditiva aeroespacial certificada	Nível 2	Nível 3	Forte potencial de expansão na cadeia aeroespacial brasileira, especialmente para peças complexas e manutenção. A certificação continuará sendo o principal limitador no curto prazo.

[3] Para fins deste estudo o conceito de difusão tecnológica foi definido, como o grau em que uma tecnologia se torna institucionalizada como aptidão recorrente, requisito padrão ou prática dominante em um sistema produtivo, independentemente do número de compradores existentes. A unidade central de análise deixa de ser o mercado (com muitos fornecedores e consumidores) e passa a ser o sistema sociotécnico. Com isso, as estimativas de difusão seguiram um modelo específico para mercados monopsônicos e oligopolizados.

[4] Para cada tecnologia, foram consideradas explicitamente cinco dimensões: incorporação programática, institucionalização organizacional, capacidade produtiva instalada, padronização e normalização e relevância para funções críticas. Também foram consideradas três premissas estruturais do segmento aeroespacial de defesa brasileiro: (1) a difusão ocorre por saltos programáticos e depende de decisões do demandante dominante; (2) a BID combina tecnologias sistêmicas e tecnologias específicas; (3) plataformas aéreas, setor espacial, C4ISTAR e sistemas não tripulados atuam como segmentos "motores" de difusão tecnológica, enquanto tecnologias como hipersônica têm alto valor estratégico, mas menor difusão industrial no horizonte analisado.

Tecnologia emergente	Difusão (5 anos)	Difusão (10 anos)	Justificativa sintética
Satélites pequenos e constelações LEO	Nível 2	Nível 4	Crescimento associado à expansão do programa espacial brasileiro e aplicações dual-use. Tendência de institucionalização gradual em telecomunicações, ISR e monitoramento territorial.
Propulsão espacial elétrica e híbrida	Nível 1	Nível 2	Tecnologia ainda em estágio relativamente exploratório no Brasil. A difusão dependerá de investimentos científicos e fortalecimento da capacidade espacial nacional.
Sistemas C4ISR integrados com IA	Nível 2	Nível 3	Tecnologia crítica para operações modernas. Crescente incorporação em programas de defesa e segurança, especialmente em vigilância e integração operacional conjunta.
Sistemas de energia dirigida (laser e micro-ondas)	Nível 1	Nível 2	Difusão ainda limitada por elevada complexidade tecnológica, energética e térmica. Deve permanecer concentrada em demonstrações, P&D e aplicações especializadas.
Comunicações ópticas para sistemas espaciais	Nível 1	Nível 2	Brasil ainda possui capacidades limitadas em fotônica espacial avançada. Tendência de avanço gradual em projetos estratégicos e cooperações internacionais.
Computação embarcada resiliente e edge computing aeroespacial	Nível 2	Nível 4	Forte crescimento impulsionado pela expansão de sistemas autônomos, IA embarcada e requisitos de cibersegurança em sistemas críticos.
Tecnologias de lançadores	Nível 1	Nível 2	Trata-se de tecnologia com altíssima dependência de P&D, CAPEX, regulação e escala mínima. No horizonte de 5 anos, o mais defensável é a permanência em estágio exploratório; em 10 anos, pode atingir uso programático pontual em alguns programas, mas ainda sem repetição ampla.

Síntese

Predominância de níveis 2 e 3

A maior parte das tecnologias tende a evoluir para:

- Nível 2 (Difusão Programática Pontual) no horizonte de 5 anos;
- Nível 3 (Difusão Programática Repetida) no horizonte de 10 anos.

Isso é coerente com a natureza do setor aeroespacial brasileiro, considerando sua a baixa escala produtiva, a forte dependência estatal, a institucionalização gradual e a adoção orientada por programas estratégicos específicos. Isto significa inferir que a difusão ocorrerá principalmente por programas, por requisitos operacionais e por capacidades instaladas seletivas, e não por expansão clássica de mercado.

2.4 Outros Eventos de Impacto[5]

Escala de impacto:

- **Impacto Alto** : quando os eventos afetam o núcleo estratégico do setor ou segmento, têm ampla abrangência, reconfiguram significativamente o trabalho e geram efeitos duradouros e sistêmicos.
- **Impacto Médio-Alto** : quando os eventos provocam mudanças relevantes em estratégias, processos e perfis profissionais, com efeitos estruturais moderados.
- **Impacto Médio** : quando os eventos influenciam práticas e processos específicos, com efeitos limitados ao setor.
- **Impacto Baixo** : quando os efeitos dos eventos são localizados ou temporários, sem reconfiguração estrutural.

1 **Reconfiguração geopolítica e aumento de tensões internacionais**
Intensificação da rivalidade entre potências, conflitos regionais e competição por domínio tecnológico e militar.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - engenheiros de sistemas; analistas de inteligência; relações internacionais; gestores de programas; especialistas em logística; especialistas em tecnologias críticas; gestores públicos;
- **Como muda o trabalho** - maior integração entre engenharia, estratégia e defesa com aceleração de programas críticos.

2 **Recrudescimento de controles de exportação e restrições tecnológicas**
Ampliação de regimes de controle (ex. ITAR/EAR) e restrições ao acesso a tecnologias sensíveis e componentes críticos.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - compliance; jurídico; comércio exterior; *supply chain*; especialistas em tecnologias críticas (substituição de tecnologias negadas);
- **Como o Trabalho Muda** - aumento da complexidade regulatória e da necessidade de rastreabilidade e certificação; busca de alternativas tecnológicas; aumento do tempo e do risco de desenvolvimento tecnológico.

[5] A análise dos impactos dos eventos não tecnológicos no segmento aeroespacial considerou a capacidade desses eventos de reconfigurar estruturalmente o funcionamento do segmento, e não apenas seus efeitos conjunturais. Para tanto, foram avaliadas, de forma integrada, seis dimensões analíticas: (i) **centralidade estratégica para o segmento**, isto é, o grau em que o evento afeta decisões, investimentos e a lógica de funcionamento do segmento; (ii) **abrangência setorial**, referente ao número de agentes, atividades e funções impactadas; (iii) **grau de reconfiguração do trabalho**, incluindo criação de funções, mudança de responsabilidades e aumento da complexidade das atividades; (iv) **dependência institucional e regulatória, associada à influência de políticas públicas**, regulações e decisões governamentais; (v) **persistência temporal dos efeitos**, distinguindo impactos conjunturais de transformações estruturais de longo prazo; e (vi) **capacidade de gerar efeitos em cascata**, ou seja, de induzir mudanças adicionais nas dimensões organizacionais, produtivas e formativas.

3 **Instabilidade e descontinuidade de políticas industriais e de defesa**
Oscilações na priorização de políticas públicas, programas estratégicos e financiamento de longo prazo.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - gestores de programas; engenharia de projeto; planejamento estratégico; gestores públicos; alta direção empresarial;
- **Como o Trabalho Muda** - descontinuidade de projetos, perda de capacidade acumulada e aumento da incerteza organizacional.

4 **Restrição fiscal e compressão orçamentária do Estado**
Limitações fiscais que reduzem investimentos públicos e privados em defesa, P&D e aquisição de sistemas e degradam capacidades já instaladas.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - planejamento; finanças; engenharia de custo; procurement; gestores públicos; alta direção empresarial;
- **Como o Trabalho Muda** - priorização mais rigorosa, pressão por eficiência e redução de redundâncias tecnológicas.

5 **Reconfiguração das cadeias globais de suprimentos (friend-shoring e reshoring)**
Reorganização das cadeias produtivas com foco em segurança, proximidade geopolítica e redução de dependências externas, redução do número de fornecedores de itens críticos.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - *supply chain;* logística crítica; engenharia de integração e de manutenção;
- **Como o Trabalho Muda** - maior complexidade na gestão de fornecedores e valorização de capacidades nacionais, maior complexidade operacional e de manutenção, necessidades de desenvolvimento de soluções alternativas.

6 Pressões por soberania tecnológica e autonomia nacional

Crescente necessidade de domínio interno de tecnologias críticas para reduzir vulnerabilidades estratégicas.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - engenheiros de P&D; pesquisadores; gestores de inovação, gestores públicos;
- **Como o Trabalho Muda** - expansão de atividades de desenvolvimento local e fortalecimento de ecossistemas nacionais.

7 Crescente judicialização, controle institucional e compliance público

Aumento da atuação de órgãos de controle, da rigidez das exigências legais e dos processos de auditoria em contratos públicos.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - jurídico; compliance; auditoria; gestão de contratos, gestores públicos;
- **Como o Trabalho Muda** - intensificação de controles formais e necessidade de governança robusta, aumento do risco empresarial para o desenvolvimento tecnológico ("engessamento burocrático").

8 Transição ecológica e pressões ESG no segmento aeroespacial

Incorporação de critérios ambientais, sociais e de governança em políticas industriais, financiamento e operações.

- **Nível de Impacto** - Médio–Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - engenheiros ambientais; especialistas ESG; certificação; P&D; alta gestão das empresas;
- **Como o Trabalho Muda** - integração de requisitos ambientais, sociais e de governança em projetos e operações e surgimento de novas funções ligadas à sustentabilidade.

9 Escassez global de profissionais especializados

Déficit crescente de profissionais qualificados em engenharia avançada, sistemas críticos, tecnologias e processos estratégicos, incluindo nível superior e técnico.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - RH estratégico; engenharias; ciência de dados; formação técnico-profissional;
- **Como o Trabalho Muda** - aumento da competição por talentos e necessidade de formação interna contínua.

10 Evolução do papel do Brasil na transição energética global

Redefinição da inserção do país como fornecedor de energia limpa ou como ator industrial mais complexo.

- **Nível de Impacto** - Médio–Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - planejamento estratégico; políticas públicas; engenharia energética.
- **Como o Trabalho Muda** - redirecionamento/ampliação de investimentos e possíveis mudanças nas prioridades industriais.

11 Uso estratégico de cooperações internacionais

Expansão ou restrição de acordos bilaterais e multilaterais em defesa e aeroespacial de acordo com os interesses estratégicos nacionais.

- **Nível de Impacto** - Médio–Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - relações internacionais; engenharia de integração; gestão de projetos globais; profissionais e gestores públicos e privados de planejamento estratégico;
- **Como o Trabalho Muda** - maior complexidade na coordenação internacional e interoperabilidade de sistemas, maior clareza estratégica (pública e privada), uso mais adequado de mecanismos como *offset*.

12 Mudança nas prioridades de segurança (ciber, espacial, ISR)

Redirecionamento das agendas de defesa para domínios digitais, espaciais e de inteligência integrada.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - especialistas em ciberdefesa; dados; IA; engenharia de sistemas, quântica, computação, sistemas espaciais, inteligência;
- **Como o Trabalho Muda** - hibridização entre defesa tradicional e digital, com maior peso de dados e software.

13 Melhor aproveitamento da disponibilidade de terras raras no Brasil

Desenvolvimento de capacidades de processamento e beneficiamento de terras raras para atender às necessidades estratégicas do País.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - engenharias, geologia, mineração, logística, eletrônica, gestores públicos e privados;
- **Como o Trabalho Muda** - redução da dependência externa, oportunidade de desenvolvimento tecnológico e da cadeia produtiva nacional, autonomia.

14 Ampliação da disponibilidade de produtos e serviços espaciais para atender às demandas nacionais

Fomentar o desenvolvimento de aplicações espaciais para suprir necessidades de diversos setores econômicos com autonomia nacional.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - engenheiros, telecomunicações, profissionais de sensoriamento remoto, meteorologistas, agrônomos;
- **Como o Trabalho Muda** - aumento da demanda por esses profissionais, diminuição de vulnerabilidade sistêmica e da dependência externa, fortalecimento do papel transversal do espaço como suporte para a economia.

3. Elementos de competência[6] que ganharão importância para o segmento

A difusão mais intensa das tecnologias emergentes e o impacto de eventos geopolíticos, econômicos, sociais e políticos possuem um considerável potencial para transformar não somente os processos produtivos, mas também a lógica de funcionamento das empresas. Essas inovações tecnológicas podem impulsionar a implementação de novos modelos de negócio baseados em dados, hiperpersonalização, serviços integrados a produtos (servitização), produção sob demanda e cadeias digitais de valor. Em paralelo, surgem novas ferramentas gerenciais como plataformas de gestão em tempo real, sistemas baseados em inteligência artificial para apoio à decisão, métodos ágeis aplicados 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. As tecnologias emergentes e os eventos de impacto, por si só, não transformam a indústria; eles exigem um novo conjunto de habilidades (*skills*), aptidões (*abilities*) e conhecimentos que permitam aos profissionais 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 novas configurações do ambiente de atuação, 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, aptidões cognitivas refinadas e conhecimentos técnicos atualizados.

Seguindo esta linha de raciocínio, e baseado no contexto apresentado anteriormente, são apresentadas a seguir, as principais habilidades, aptidões e conhecimentos que ganharão importância ao longo dos próximos 10 anos.

[6] O conceito de competência utilizado neste estudo refere-se à Mobilização de conhecimentos, habilidades e 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.
Aptidões (abilities): o conceito de aptidão (*ability*) está relacionado às características das pessoas, ou seja, seu comportamento ao agir ou reagir a um produto, organização, pessoa, evento ou situação. A aptidão nem sempre é modificada ao longo do tempo. É a qualidade de ser capaz de fazer alguma coisa.
Conhecimentos: considera-se 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".

3.1 Habilidades (*Skills*)[7] que ganharão importância[8]

Análise e Integração de Sistemas Complexos

Categorias: Habilidades técnicas → Análise de sistemas.
Descrição: compreender, decompor e integrar sistemas complexos (hardware + software + dados), avaliando interdependências e interfaces.
Por que é importante: tecnologias como MOSA e arquiteturas abertas, sistemas autônomos e C4ISR exigem integração contínua de subsistemas. Pressões de soberania e restrições tecnológicas aumentam a necessidade de domínio sistêmico interno.
Como capacitar: projetos integradores, engenharia de sistemas baseada em modelos (MBSE), simulações interdisciplinares.

Tomada de decisão baseada em dados e incerteza

Categoria: Habilidades sistêmicas → Julgamento e tomada de decisão.
Descrição: adquirir, processar e interpretar dados complexos e tomar decisões sob incerteza técnica, operacional e estratégica.
Por que é importante: IA, sensores avançados e digital twins geram grande volume de dados; simultaneamente, cenários geopolíticos e orçamentários aumentam a incerteza decisória.
Como capacitar: estudos de caso, *war-gaming*, simulações operacionais com dados reais.

Monitoramento, diagnóstico e interpretação de sistemas (*data-driven*)

Categoria: Habilidades técnicas → Monitoramento e análise.
Descrição: monitorar sistemas complexos e interpretar sinais para diagnóstico, previsão e ação corretiva.
Por que é importante: sensores embarcados, manutenção preditiva e sistemas autônomos deslocam o trabalho para monitoramento contínuo e análise de dados.
Como capacitar: uso de dashboards operacionais, análise de falhas, treinamento com dados simulados e automatização com uso de IA.

[7] 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).

[8] As habilidades foram elencadas porque são motrizes para o trabalho, são acionadas por múltiplas tecnologias e eventos, são institucionalmente mandatórias, apresentam risco de escassez e sustentam tanto a absorção (5 anos) quanto a institucionalização (10 anos) das aptidões do segmento.

Testes, validação e verificação de sistemas críticos

Categoria: Habilidades técnicas → Testes e certificação.
Descrição: planejar e executar testes físicos e virtuais para garantir desempenho, segurança e conformidade.
Por que é importante: simulação avançada (HIL/SIL), sistemas autônomos e exigências regulatórias aumentam a criticidade da validação.
Como capacitar: laboratórios de teste, certificações internas, integração entre campo e simulação e treinamentos em automatização com uso de IA e gêmeos digitais.

Gestão da informação e rastreabilidade técnica

Categoria: Habilidades de gestão → Gestão da informação.
Descrição: organizar, documentar e garantir rastreabilidade de dados técnicos ao longo do ciclo de vida.
Por que é importante: controles de exportação, compliance e cadeias globais exigem rastreabilidade rigorosa de componentes e dados.
Como capacitar: uso de PLM e outras plataformas de gerenciamento de informações, gestão documental técnica, auditorias simuladas.

Comunicação técnica

Categoria: Habilidades básicas → Comunicação.
Descrição: traduzir informações técnicas entre equipes multidisciplinares (engenharia, operação, gestão, cliente e usuário final.
Por que é importante: sistemas integrados e cooperação internacional aumentam a necessidade de alinhamento entre áreas e atores institucionais.
Como capacitar: projetos colaborativos, apresentações técnicas, *role-play* interfuncional.

Pensamento crítico para gestão de riscos

Categoria: Habilidades básicas → Pensamento crítico.
Descrição: identificar riscos técnicos, operacionais e estratégicos, e avaliar alternativas de mitigação.
Por que é importante: ambientes de defesa combinam risco tecnológico (IA, autonomia) com risco institucional (geopolítica, orçamento) e opinião pública (não apenas na defesa).
Como capacitar: análise de eventos e seus impactos, metodologias de *risk assessment*, exercícios de cenários.

Gestão e priorização de tarefas em ambientes críticos

Categoria: Habilidades técnicas → Gestão operacional.
Descrição: organizar, priorizar e executar tarefas em ambientes de alta criticidade operacional, considerando restrições de tempo, risco e recursos.
Por que é importante: os sistemas aeroespaciais operam em ambientes *time-critical* e *safety-critical* (missões, voos, defesa), e os eventos não tecnológicos como restrições orçamentárias, pressão operacional e crises geopolíticas exigem decisões operacionais rápidas e bem-organizadas.
Como capacitar: simulações operacionais com restrição de tempo e recursos, exercícios de priorização em cenários de missão e treinamentos baseados em incidentes reais.

Planejamento e gestão do ciclo de vida (*lifecycle thinking*)

Categoria: Habilidades técnicas → Planejamento.
Descrição: planejar sistemas considerando projeto, operação, manutenção, modernização e desativação.
Por que é importante: ILS 4.0 e restrições orçamentárias exigem visão integrada e necessidade de otimização do ciclo de vida.
Como capacitar: estudos de ciclo de vida, uso de modelos digitais e projetos integrados, tais como digital twins.

Conformidade regulatória e pensamento normativo

Categoria: Habilidades técnicas → Compliance.
Descrição: aplicar normas técnicas, regulatórias e contratuais no desenvolvimento e operação.
Por que é importante: defesa é altamente regulada (export control, certificação, auditoria), com impacto direto no trabalho.
Como capacitar: estudos normativos, simulações de auditoria, análise de contratos.

Resolução de problemas complexos

Categoria: Habilidade para resolução de problemas complexos → Resolução de problemas complexos.
Descrição: resolver problemas não estruturados envolvendo múltiplas variáveis técnicas e operacionais.
Por que é importante: sistemas aeroespaciais são altamente integrados e falhas são multifatoriais (tecnologia + operação + contexto).
Como capacitar: estudos de falhas reais, troubleshooting avançado, desafios técnicos.

Execução e padronização de procedimentos técnicos críticos

Categoria: Habilidades técnicas → Execução operacional e qualidade.
Descrição: aplicar, seguir e adaptar procedimentos técnicos padronizados com rigor, garantindo segurança, confiabilidade e conformidade.
Por que é importante: sistemas aeroespaciais dependem de procedimentos rigorosos (checklists, certificações, normas) e as tecnologias como manufatura avançada, sistemas autônomos e integração OT/IT aumentam a necessidade de padronização. Possibilidade de responsabilização judicial.
Como capacitar: treinamento com checklists operacionais; simulações com protocolos críticos; certificações técnicas e auditorias internas.

Tabela de Priorização das Habilidades Requeridas [9]

Escala

Score 10: prioridade muito alta.
Score 9: prioridade alta-muito alta.
Score 8: prioridade alta.
Score 7: prioridade média-alta.
Score 6: prioridade média.
Score 1–5: prioridade baixa.

[9] A priorização das *skills* foi realizada com base em critérios estruturados que avaliam sua relevância para a transformação do trabalho no segmento, considerando especialmente: (i) intensidade de reconfiguração das tarefas e processos, (ii) número de tecnologias emergentes e tendências não tecnológicas que acionam a habilidade, (iii) dependência regulatória e institucional, (iv) risco de escassez de proficiência, e (v) papel como habilidade motriz que viabiliza outras competências. Adicionalmente, incorporou-se a dimensão temporal, diferenciando habilidades críticas para absorção tecnológica no curto prazo (5 anos) daquelas necessárias para institucionalização e sustentação de capacidades no longo prazo (10 anos), em linha com a lógica de difusão sistêmica em setores concentrados.

Habilidade	Importância (5 anos)	Importância (10 anos)	Tendência	Justificativa
Análise e integração de sistemas complexos	Muito alta	Muito alta	↔	Habilidade estruturante do setor (integração sistêmica).
Monitoramento, diagnóstico e interpretação de sistemas	Muito alta	Alta	↓ leve	Forte no curto prazo (data-driven) com posterior estabilização.
Gestão da informação e rastreabilidade técnica	Alta	Muito alta	↑	Cresce com o compliance, o *export control* e a digitalização.
Testes, validação e verificação de sistemas críticos	Alta	Alta	↔	Mantém criticidade regulatória constante.
Resolução de problemas complexos	Alta	Alta	↔	Base permanente em sistemas complexos.
Tomada de decisão baseada em dados e incerteza	Alta	Muito alta	↑	Evolui com a IA, com o uso de dados e com a complexidade decisória.
Execução e padronização de procedimentos técnicos	Alta	Média–alta	↓ leve	Continua relevante, mas com menor diferencial.
Planejamento e gestão do ciclo de vida (*lifecycle*)	Alta	Muito alta	↑ forte	Central com a difusão dos *digital twin* e da ILS 4.0.
Pensamento crítico para gestão de riscos	Alta	Muito alta	↑	Cresce com incerteza geopolítica e tecnológica.
Comunicação técnica e coordenação interfuncional	Média–alta	Alta	↑	Ganha peso com a integração organizacional.
Gestão e priorização de tarefas em ambientes críticos	Média–alta	Média–alta	↔	Importante, mas não transformacional.
Conformidade regulatória e pensamento normativo	Média–alta	Muito alta	↑ forte	Forte crescimento por pressão institucional.

3.2 Aptidões (*abilities*)[10] que ganharão importância[11]

Pensamento analítico

Categoria: Aptidão Cognitiva.
Descrição: aptidão para decompor problemas complexos, identificar padrões e estabelecer relações entre variáveis.
Por que é importante: sistemas como C4ISR, *digital twins* e integração MOSA exigem análise contínua de múltiplas variáveis. Em cenários de restrição orçamentária e geopolítica, decisões dependem de interpretação estruturada da realidade.
Como desenvolver: estudos de caso complexos, análise de falhas, exercícios de modelagem, adequar o emprego da IA.

Atenção concentrada e sustentada (*Focused Attention*)

Categoria: Aptidão Cognitiva.
Descrição: manter atenção contínua em tarefas críticas por longos períodos.
Por que é importante: monitoramento de sistemas autônomos, operações aeroespaciais e testes exigem alta vigilância e baixo erro humano.
Como desenvolver: treinos de simulação prolongada, exercícios de monitoramento contínuo, aplicar técnicas de concentração.

Percepção de problemas

Categoria: Aptidão Cognitiva.
Descrição: aptidão para perceber rapidamente que algo está errado ou pode dar errado.
Por que é importante: sistemas complexos e integrados geram falhas não triviais; essa *ability* é crítica para manutenção preditiva e operação segura.
Como desenvolver: treinamento com cenários de falhas e análise de eventos.

Adaptabilidade / Flexibilidade

Categoria: Aptidão Socioemocional.
Descrição: aptidão para alternar entre diferentes perspectivas, regras ou modelos mentais.
Por que é importante: integração entre hardware, software e operação exige mudanças constantes de contextos. Eventos como mudanças regulatórias e geopolíticas reforçam essa necessidade.
Como desenvolver: exercícios interdisciplinares, rotação funcional.

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

[11] Essas aptidões foram selecionadas porque sustentam o desempenho humano em ambientes críticos, são acionadas simultaneamente por múltiplas tecnologias e eventos, possuem alto impacto estrutural no trabalho e baixo poder de substituição por sistemas de automação, sendo decisivas tanto para o horizonte de 5 anos (absorção e resposta) quanto para 10 anos (institucionalização e resiliência).

Tolerância ao estresse operacional

Categoria: Aptidão Socioemocional.
Descrição: aptidão para manter desempenho sob pressão, risco e restrições de tempo.
Por que é importante: ambientes aeroespaciais são *time-critical* e *safety-critical*, agravados por crises geopolíticas e pressão institucional.
Como desenvolver: simulações de alta pressão, treinamentos operacionais, treinamento nas áreas de autoconhecimento, autocontrole e inteligência emocional.

Confiabilidade e responsabilidade

Categoria: Aptidão Socioemocional.
Descrição: aptidão para cumprir tarefas com consistência, responsabilidade e aderência a padrões.
Por que é importante: setor altamente regulado (compliance, certificação, *export control*), onde erros têm alto impacto.
Como desenvolver: processos de feedback contínuo e participação em auditorias.

Atenção aos Detalhes

Categoria: Aptidão Cognitiva.
Descrição: aptidão para executar tarefas com alto nível de precisão e atenção a detalhes.
Por que é importante: manufatura aeroespacial, testes e integração exigem precisão extrema, especialmente com tecnologias avançadas e certificação.
Como desenvolver: treinamento em qualidade, inspeção e validação, aplicar técnicas de concentração.

Consciência situacional

Categoria: Aptidão Cognitiva.
Descrição: aptidão para perceber, compreender e antecipar o estado de um sistema ou ambiente operacional.
Por que é importante: fundamental para operação de sistemas complexos, especialmente com IA, autonomia e múltiplos sensores.
Como desenvolver: simulações operacionais, exercícios de monitoramento e treinamento em técnicas de visão sistêmica.

Persistência

Categoria: Aptidão Socioemocional.
Descrição: aptidão para manter esforço contínuo diante de dificuldades e problemas complexos.
Por que é importante: processos de desenvolvimento tecnológico (ex. propulsão, sistemas espaciais) envolvem ciclos longos, incerteza e falhas.
Como desenvolver: projetos de longa duração com desafios progressivos, treinamentos específicos para o desenvolvimento da resiliência.

Curiosidade e aprendizagem contínua

Categoria: Aptidão Socioemocional.
Descrição: aptidão para lidar com novas tecnologias, métodos e contextos.
Por que é importante: a rápida evolução tecnológica (IA, digitalização, autonomia) exige aceitação de mudanças constantes.
Como desenvolver: exposição a novos contextos e aprendizado interdisciplinar, rotação profissional.

Cooperação e colaboração

Categoria: Aptidão Socioemocional.
Descrição: aptidão para trabalhar de forma colaborativa com outros.
Por que é importante: integração de sistemas cada vez mais complexos exigem a formação de redes multidisciplinares altamente interdependentes.
Como desenvolver: trabalhos em equipe e participação em projetos colaborativos, treinamento em gestão de conflitos.

Velocidade de organização e resposta

Categoria: Aptidão Cognitiva.
Descrição: capacidade de processar rapidamente informações, sinais e estímulos, respondendo com agilidade e precisão a mudanças no ambiente.
Por que é importante: no contexto aeroespacial, diversas tecnologias e tendências aumentam drasticamente a exigência de resposta rápida e precisa, tais como: sistemas autônomos e IA embarcada, C4ISR e sensores avançados, *digital twins* e simulação contínua, bem como operações críticas (missões, voo, defesa).
Como desenvolver: simulações de resposta rápida e exercícios de processamento simultâneo de informações, adequar o emprego da IA.

Tabela de Priorização[12] das Aptidões Requeridas

Escala

Score 10: prioridade muito alta.
Score 9: prioridade alta - muito alta.
Score 8: prioridade alta.
Score 7: prioridade média-alta.
Score 6: prioridade média.
Score 1–5: prioridade baixa.

[12] A priorização das abilities considerou sua natureza disposicional e relativamente estável, sendo orientada por critérios que enfatizam a sustentação do desempenho humano em ambientes complexos e críticos, incluindo: (i) intensidade da exigência cognitiva e emocional, (ii) amplificação da demanda pela incorporação de tecnologias, (iii) baixa substituibilidade por automação, (iv) risco sistêmico associado a falhas humanas e (v) dificuldade de desenvolvimento tardio. A análise também incorporou a persistência temporal da relevância e o papel das abilities como base que sustenta múltiplas *skills*, refletindo sua função estruturante na operação de sistemas aeroespaciais altamente integrados e regulados.

Habilidade	Importância (5 anos)	Importância (10 anos)	Tendência	Justificativa
Pensamento analítico	Muito alta	Muito alta	↔	Aptidão estruturante para interpretar sistemas complexos e dados. Base para tomada de decisão em ambientes integrados.
Atenção concentrada e sustentada	Muito alta	Muito alta	↔	Crítica para monitoramento contínuo e operação de sistemas autônomos, estando diretamente ligada à confiabilidade operacional.
Percepção de problemas	Muito alta	Muito alta	↔	Central para antecipação de falhas em sistemas complexos. Sustenta o processo de manutenção preditiva e segurança.
Adaptabilidade/ flexibilidade	Alta	Muito alta	↑	Cresce com a hibridização de funções, integração OT/ IT e instabilidade geopolítica e regulatória.
Tolerância ao estresse operacional	Muito alta	Muito alta	↔	Essencial em ambientes *time-critical* e *safety-critical*, uma vez que o erro humano tem impacto sistêmico elevado.
Confiabilidade e responsabilidade	Muito alta	Muito alta	↔	*Ability* base em ambientes regulados (compliance, certificação). Sustenta os processos de segurança e rastreabilidade.
Atenção aos detalhes	Muito alta	alta	↓ leve	Muito relevante no curto prazo (qualidade, certificação), mas perde relevância devido aos processos de automação e validação digital.
Consciência situacional	Muito alta	Muito alta	↔	Aptidão central para operação de sistemas integrados com IA, sensores e autonomia.
Persistência	Alta	Alta	↔	Relevante em P&D e resolução de problemas complexos, mas menos crítica em operações em tempo real.
Curiosidade e aprendizagem contínua	Muito alta	Muito alta	↑	Aptidão motriz para adaptação tecnológica contínua. Sustenta processos de requalificação permanente.
Cooperação	Alta	Muito alta	↑	Ganha relevância com integração sistêmica, cadeias globais e cooperação interorganizacional.
Velocidade de organização e resposta	Muito alta	Muito alta	↔	Crítica em ambientes *data-driven* e operações em tempo real, e amplificada por IA e sensores.

3.3 Conhecimentos que ganharão importância (comuns às ocupações)[13]

Engenharia de sistemas complexos (MBSE – *Model-Based Systems Engineering*)

Descrição: métodos formais para modelagem, decomposição, integração e validação de sistemas complexos (SysML, arquitetura de sistemas, gestão de interfaces).
Justificativa: a convergência de sistemas aeroespaciais altamente integrados (aviônica, sensores, IA, propulsão, comunicação) exige domínio explícito de engenharia de sistemas para garantir interoperabilidade, modularidade (MOSA) e integração contínua, tornando esse conhecimento central para todo o ciclo de vida.

Arquiteturas digitais e gêmeos digitais (*Digital Twin – Full Lifecycle*)

Descrição: fundamentos de modelagem digital de ativos, integração de dados operacionais, simulação e gestão do ciclo de vida (PLM, integração físico-digital).
Justificativa: a digitalização do ciclo de vida e o uso de gêmeos digitais reconfiguram projeto, manutenção, testes e operação, deslocando o trabalho para ambientes baseados em dados e simulação, exigindo conhecimento formal estruturado.

Inteligência artificial aplicada a sistemas críticos

Descrição: fundamentos de IA e ML, validação de algoritmos, segurança de IA, tomada de decisão assistida e autonomia supervisionada.
Justificativa: sistemas autônomos embarcados e apoio à decisão são vetores centrais na defesa, exigindo não apenas uso, mas compreensão formal dos limites, validação e riscos dos algoritmos em ambientes safety-critical.

Cibersegurança de sistemas embarcados e OT (*Operational Technology Security*)

Descrição: princípios de segurança em sistemas embarcados, redes OT, *hardening*, detecção de intrusão e arquiteturas *Zero Trust*.
Justificativa: a crescente digitalização e conectividade dos sistemas aeroespaciais ampliam a superfície de ataque, tornando a cibersegurança parte intrínseca do projeto, operação e certificação de sistemas críticos.

[13] A seleção dos conhecimentos formais foi realizada com base em critérios estruturados que consideram: (i) aderência à natureza codificável e transferível do conhecimento, (ii) transversalidade ocupacional ao longo das funções de engenharia, operação e gestão, (iii) conexão direta com tecnologias emergentes (ex. digitização/digitalização, IA, sistemas autônomos), (iv) resposta a pressões não tecnológicas como regulação, geopolítica e soberania, (v) aplicabilidade ao longo do ciclo de vida dos sistemas, (vi) contribuição para redução de riscos sistêmicos e (vii) robustez frente a cenários alternativos de desenvolvimento do setor.

Normas, certificação e conformidade aeroespacial

Descrição: regulamentos e normas técnicas (certificação aeroespacial, requisitos militares e normas aplicáveis, auditorias e compliance.
Justificativa: o setor aeroespacial é altamente regulado; a certificação não é opcional e condiciona a viabilidade técnica e comercial dos sistemas, sendo um conhecimento estruturante para todas as funções.

Integração de sistemas aviônicos e redes críticas

Descrição: arquiteturas de comunicação embarcada, integração de sensores, sistemas de missão, redes determinísticas e interoperabilidade.
Justificativa: a evolução para sistemas integrados e multi-domínio (C4ISR) exige domínio formal das arquiteturas de integração e comunicação segura, essenciais para operação e coordenação de sistemas complexos.

Propulsão Avançada e Sistemas Energéticos Aeroespaciais

Descrição: Fundamentos de propulsão (turbinas, elétrica, híbrida e hipersônica), gestão energética e eficiência em sistemas aeronáuticos e espaciais.
Justificativa: A transição para sistemas mais eficientes, elétricos ou híbridos altera profundamente os requisitos técnicos e operacionais, ampliando a complexidade dos sistemas energéticos.

Materiais avançados e engenharia de estruturas

Descrição: ciência dos materiais (compósitos, ligas avançadas), fadiga, integridade estrutural e materiais de assinatura reduzida.
Justificativa: a necessidade de desempenho adequado aos diferentes usos, como leveza, resistência e furtividade, torna os materiais um fator crítico, com impacto direto na segurança, eficiência e sobrevivência das plataformas.

Ensaios, testes, validação e simulação (HIL/SIL)

Descrição: infraestrutura e métodos formais de teste e validação de sistemas (*Hardware-in-the-Loop, Software-in-the-Loop*, comissionamento virtual).
Justificativa: a substituição parcial de testes físicos por validação virtual exige conhecimento estruturado em simulação e verificação para garantir confiabilidade e certificação.

Gestão do ciclo de vida logístico (ILS 4.0)

Descrição: métodos de suporte logístico integrado, manutenção baseada em condição, rastreabilidade e gestão de ativos e informações documentadas ao longo do ciclo de vida.
Justificativa: a complexidade e o custo dos sistemas aeroespaciais exigem gestão integrada e baseada em dados, sendo essencial para disponibilidade operacional e sustentabilidade dos sistemas.

Gestão de dados e governança da informação técnica

Descrição: estruturação, rastreabilidade, segurança e governança de dados técnicos e operacionais (PLM, *data governance*, interoperabilidade).
Justificativa: a intensificação do uso de dados (sensores, simulação, IA) exige controle rigoroso da informação, especialmente em contextos de soberania, *export control* e compliance.

Logística de cadeias críticas e *supply chain resiliente*

Descrição: gestão de cadeias de suprimentos críticas, qualificação de fornecedores, rastreabilidade e mitigação de riscos logísticos.
Justificativa: restrições geopolíticas, controles de exportação e dependência tecnológica tornam a logística um fator estratégico, diretamente relacionado à continuidade operacional.

Engenharia de confiabilidade, segurança e risco (*Safety & Reliability Engineering*)

Descrição: métodos de análise de risco, confiabilidade, segurança funcional e gestão de falhas (FMEA, FTA, RAMS entre outros).
Justificativa: sistemas aeroespaciais operam em ambientes de risco extremo e as falhas têm um impacto sistêmico, o que exige uma abordagem formal e estruturada de segurança.

Sistemas de rastreio, telecomando, aquisição e processamento de dados de sistemas aeroespaciais (sistemas de apoio no solo)

Descrição: equipamentos de comunicação, aquisição e computação que permitem a recepção no solo das informações dos sistemas de bordo.
Justificativa: esses sistemas são fundamentais para acessar, processar e controlar os dados e os sistemas aeroespaciais e os seus serviços decorrentes.

Controle e dinâmica de voo

Descrição: determinação de alcance, trajetografia e atuação para correção durante o voo.
Justificativa: conhecimento fundamental para o projeto e desempenho de atitude em voo de sistemas aeroespaciais.

Conceitos de gerenciamento de projetos de acordo com normas internacionais do setor aeroespacial (exemplo WBS)

Descrição: os programas e desenvolvimentos do setor aeroespacial devem ser gerenciados de acordo com normas internacionais.
Justificativa: uso de linguagem comum em todos os níveis do programa aeroespacial, aceitação internacional dos programas.

Tabela de Priorização[14] dos Conhecimentos Requeridos

Escala

Score 10: prioridade muito alta.
Score 9: prioridade alta - muito alta.
Score 8: prioridade alta.
Score 7: prioridade média-alta.
Score 6: prioridade média.
Score 1–5: prioridade baixa.

[14] A priorização dos conhecimentos foi realizada com base na combinação estruturada das seguintes dimensões metodológicas: (i) centralidade estratégica para o segmento (impacto sobre soberania, integração e operação), (ii) grau de dependência regulatória e institucional (certificação, compliance e requisitos obrigatórios), (iii) intensidade de reconfiguração do trabalho (mudança nos processos e responsabilidades), (iv) número de tecnologias e tendências que ativam o conhecimento (digitalização/digitização, IA, autonomia, integração sistêmica), (v) risco associado à ausência do conhecimento (falhas críticas, perda de capacidade operacional ou contratual), (vi) temporalidade do impacto (absorção tecnológica em 5 anos versus consolidação em 10 anos) e (vii) dificuldade de internalização (necessidade de formação longa e infraestrutura especializada).

Habilidade	Importância (5 anos)	Importância (10 anos)	Tendência	Justificativa
Engenharia de sistemas complexos (MBSE)	Muito alta	Muito alta	↔	Conhecimento estruturante do setor. É a base da integração sistêmica e da autonomia tecnológica.
Normas, certificação e conformidade aeroespacial	Muito alta	Muito alta	↔	Condiciona operação e acesso a mercados fortemente institucionalizados.
Cibersegurança de sistemas embarcados e OT	Muito alta	Muito alta	↔	Cresce com digitização e aumento da superfície de ataque em sistemas críticos.
Inteligência Artificial aplicada a sistemas críticos	Muito alta	Muito alta	↔	Evolui para elemento central da operação e decisão em sistemas aeroespaciais.
Arquiteturas digitais e gêmeos digitais	Alta	Muito alta	↑	Passa de diferencial para padrão no ciclo de vida dos sistemas.
Integração de sistemas aviônicos e redes críticas	Muito alta	Muito alta	↔	Ganha centralidade com operações multidomínio e integração C4ISR.
Ensaios, testes, validação e simulação (HIL/SIL)	Muito alta	Muito alta	↔	Mantém alta criticidade devido à certificação e complexidade dos sistemas.
Engenharia de confiabilidade, segurança e risco (RAMS)	Alta	Muito alta	↑	Cresce com a autonomia e o aumento do risco sistêmico.
Gestão do ciclo de vida logístico (ILS 4.0)	Alta	Muito alta	↑	Ganha relevância com a manutenção preditiva e o foco em disponibilidade.
Gestão de dados e governança da informação técnica	Alta	Muito alta	↑	Dados tornam-se ativos estratégicos e base para decisão e integração.
Logística de cadeias críticas e supply chain resiliente	Alta	Muito alta	↑	Pressões geopolíticas aumentam a relevância da autonomia produtiva.
Materiais avançados e engenharia de estruturas	Alta	Muito alta	↑	Crescimento gradual ligado a desempenho e inovação incremental.
Propulsão avançada e sistemas energéticos	Alta	Muito alta	↑	Cresce no longo prazo com o processo de transição energética e a difusão das tecnologias emergentes.

Habilidade	Importância (5 anos)	Importância (10 anos)	Tendência	Justificativa
Sistemas de rastreio, telecomando, aquisição e processamento de dados de sistemas aeroespaciais	Alta	Muito alta	↑	Conhecimento crítico para operações espaciais distribuídas, satélites LEO, comunicações avançadas e integração C4ISR.
Controle e dinâmica de voo	Alta – muito alta	Muito alta	↑	Conhecimento estruturante para aeronaves avançadas, UAVs autônomos, sistemas hipersônicos e integração homem-máquina.
Conceitos de gerenciamento de projetos de acordo com normas internacionais do setor aeroespacial	Alta	Alta – muito alta	↑	Cresce em importância devido ao aumento da complexidade programática, internacionalização das cadeias aeroespaciais e exigências de conformidade técnica e contratual.

3.4 Matriz Integrada de Orientação Formativa para o segmento

Eixo 1

Arquitetura, Integração e Ciclo de Vida dos Sistemas Aeroespaciais

Dimensão	Elemento	Prioridade (5 anos)	Prioridade (10 anos)	Papel formativo
Conhecimento	Engenharia de Sistemas Complexos (MBSE)	Muito alta	Muito alta	Núcleo curricular estruturante
Conhecimento	Arquiteturas digitais e gêmeos digitais	Alta	Muito alta	Núcleo de transformação digital
Conhecimento	Gestão do ciclo de vida (ILS 4.0)	Alta	Muito alta	Sustentação operacional
Habilidade	Análise e integração de sistemas	Muito alta	Muito alta	Execução técnica integrada
Habilidade	Planejamento do ciclo de vida	Alta	Muito alta	Gestão técnica estruturada
Habilidade	Resolução de problemas complexos	Alta	Muito alta	Tomada de decisão técnica
Aptidão	Pensamento analítico	Muito alta	Muito alta	Sustentação cognitiva central
Aptidão	Adaptabilidade / flexibilidade	alta	Muito alta	Ajuste a sistemas dinâmicos

Eixo 2

Operação, Monitoramento e Sistemas Críticos

Dimensão	Elemento	Prioridade (5 anos)	Prioridade (10 anos)	Papel formativo
Conhecimento	Integração de sistemas aviônicos e redes críticas	Alta	Muito alta	Núcleo operacional
Conhecimento	Engenharia de confiabilidade, segurança e risco	Muito alta	Muito alta	Segurança sistêmica
Habilidade	Monitoramento e diagnóstico de sistemas	Muito alta	Alta	Operação data-driven
Habilidade	Testes, validação e verificação	Muito alta	Alta - muito alta	Garantia de desempenho
Habilidade	Execução de procedimentos técnicos críticos	Alta	Alta	Confiabilidade operacional
Aptidão	Atenção concentrada e sustentada	Muito alta	Muito alta	Vigilância operacional
Aptidão	Consciência situacional	Muito alta	Muito alta	Operação integrada
Aptidão	Percepção de problemas	Muito alta	Muito alta	Antecipação de falhas
Aptidão	Velocidade de resposta	Muito alta	Muito alta	Tempo crítico

Eixo 3

Digitalização, Dados e Autonomia

Dimensão	Elemento	Prioridade (5 anos)	Prioridade (10 anos)	Papel formativo
Conhecimento	Inteligência Artificial aplicada	Muito alta	Muito alta	Núcleo de inovação
Conhecimento	Gestão de dados e governança da informação	Alta	Muito alta	Base da decisão
Conhecimento	Cibersegurança OT/ embarcada	Muito alta	Muito alta	Resiliência digital
Habilidade	Tomada de decisão baseada em dados	Alta	Muito alta	Decisão técnica
Habilidade	Gestão da informação e rastreabilidade	Alta	Alta	Governança técnica
Aptidão	Curiosidade e aprendizagem contínua	Muito alta	Muito alta	Ability motriz
Aptidão	Flexibilidade cognitiva	Alta	Muito alta	Adaptação a IA e dados

Eixo 4

Regulação, Conformidade e Governança

Dimensão	Elemento	Prioridade (5 anos)	Prioridade (10 anos)	Papel formativo
Conhecimento	Normas, certificação e conformidade	Muito alta	Muito alta	Núcleo institucional
Conhecimento	Logística de cadeias críticas	Alta	Muito alta	Autonomia produtiva
Habilidade	Conformidade regulatória e pensamento normativo	Alta	Muito alta	Governança técnica
Habilidade	Gestão e priorização de tarefas críticas	Alta	Média–alta	Execução sob restrição
Aptidão	Confiabilidade e responsabilidade	Muito alta	Muito alta	Base ética e operacional
Aptidão	Cooperação e colaboração	Alta	Muito alta	Integração organizacional
Aptidão	Tolerância ao estresse	Muito alta	Muito alta	Operação em ambientes críticos

Eixo 5

Engenharia Avançada e Base Industrial

Dimensão	Elemento	Prioridade (5 anos)	Prioridade (10 anos)	Papel formativo
Conhecimento	Materiais avançados e estruturas	Muito alta	Muito alta	Base tecnológica
Conhecimento	Propulsão avançada e sistemas energéticos	Alta	Muito alta	Futuro tecnológico
Habilidade	Monitoramento de processos produtivos	Alta	Média-alta	Eficiência industrial
Habilidade	Controle e qualidade técnica	Alta	Alta	Confiabilidade produtiva
Aptidão	Atenção aos detalhes	Muito alta	Alta	Qualidade e precisão
Aptidão	Persistência	Alta	Alta	Sustentação de P&D

Como se pode utilizar esta matriz

Instituições de Formação Profissional

o Utilizar os eixos como organizadores curriculares (núcleo comum + trilhas de especialização);
o Priorizar Eixo 1 — Arquitetura, Integração e Ciclo de Vida e Eixo 2 — Operação e Sistemas Críticos em cursos técnicos e de graduação;
o Explorar Eixo 3 — Digitalização, Dados e Autonomia e Eixo 4 — Regulação e Governança em pós-graduação, cursos avançados e formação continuada;
o Integrar Eixo 5 — Engenharia Avançada e Base Industrial em trilhas tecnológicas específicas e especializações industriais;
o Utilizar as *skills* como base para atividades práticas (laboratórios, simulações, projetos integradores) e as *abilities* como referência para metodologias pedagógicas (aprendizagem baseada em problemas, simulações sob pressão, trabalho em equipe).

Para Empresas da Base Industrial de Defesa (BID)

o Usar a matriz como mapa de capacitação interna e planejamento da força de trabalho;
o Direcionar treinamentos operacionais aos Eixos 2 — Operação e Sistemas Críticos e Eixo 5 — Engenharia Avançada, focando execução, testes e confiabilidade;
o Desenvolver lideranças técnicas e institucionais a partir dos Eixos 1 — Integração Sistêmica e Eixo 4 — Governança e Conformidade, essenciais para gestão de programas complexos;
o Estruturar programas de transformação digital com base no Eixo 3 — Digitalização, Dados e Autonomia;
o Apoiar programas de mentoria focados nas aptidões críticas, como consciência situacional, confiabilidade, atenção sustentada e pensamento analítico.

Instituições Responsáveis por Políticas Públicas

o Empregar os eixos como base para políticas nacionais de formação estratégica no setor aeroespacial e de defesa;
o Priorizar investimentos formativos nos elementos de maior relevância para os próximos 5 anos, especialmente nos Eixos 1 e 2, associados à capacidade imediata de integração e operação de sistemas críticos;
o Estruturar políticas de médio e longo prazo (10 anos) com foco nos Eixos 3 e 4, relacionados à soberania digital, dados, IA, regulação e governança;
o Utilizar a matriz para alinhar educação, indústria e defesa, reduzindo lacunas de competências críticas e dependência externa;
o Integrar a matriz a programas nacionais de inovação, autonomia tecnológica, segurança cibernética e fortalecimento da Base Industrial de Defesa.

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 a evolução tecnológica e os impactos dos eventos "não tecnológicos".

Nível Técnico

Técnico em sistemas autônomos e operação de UAVs – Atua na operação, supervisão e manutenção de sistemas não tripulados (UAVs), incluindo monitoramento da missão, diagnóstico e suporte à autonomia assistida.

Técnico em integração e testes de sistemas aeroespaciais – Executa a integração de subsistemas (aviônica, sensores, comunicação) e realiza análises, testes (HIL/SIL) e processos de validação e verificação de sistemas críticos.

Técnico em manutenção preditiva e monitoramento de sistemas – Utiliza dados de sensores e sistemas digitais para diagnóstico, previsão de falhas e suporte à manutenção baseada em condição.

Técnico em cibersegurança de sistemas embarcados - Atua na proteção de sistemas embarcados, sistemas de software e redes OT, realizando *hardening*, monitoramento e resposta a incidentes.

Analista de dados - Responsável pela organização, rastreabilidade e governança de dados técnicos ao longo do ciclo de vida (PLM, digital twin).

Analista de qualidade, certificação e ensaios aeroespaciais - Atua na aplicação de normas, execução de ensaios e suporte a processos de certificação e auditoria técnica.

Técnico de suporte ao produto - Apoia o produto em suas diversas interações e estágios de produção.

Técnico em logística de sistemas críticos - Gerencia cadeias estratégicas de suprimentos, controle de materiais críticos e rastreabilidade logística em ambientes regulados.

Técnico de manufatura - Trabalha com a manufatura e processo de sistemas aeroespaciais.

Técnico em desenho industrial, projetos – Realiza o desenho técnico-industrial do sistema aeroespacial.

Analista de treinamento e desenvolvimento – Realiza o treinamento e desenvolvimento de pessoas dentro da empresa.

Técnico em materiais e compósitos – Atua na manipulação dos compostos, ligas metálica, tintas e solventes.

Nível superior

Engenheiro de sistemas – Responsável pela arquitetura, integração e gestão e documentação de sistemas complexos ao longo do ciclo de vida. Também atua na integração de sensores, comunicação e inteligência em sistemas interoperáveis, suportando operações multi-domínio.

Engenheiro de computação-eletrônica-dados – Desenvolve, valida e implementa algoritmos de IA embarcada, com foco em autonomia, decisão assistida e confiabilidade. Também atua como projetista e gestor de segurança cibernética em sistemas embarcados, redes críticas e infraestruturas aeroespaciais.

Especialista em *digital twin* – Integra sistemas digitais e desenvolve gêmeos digitais para suporte ao ciclo de vida.

Especialista de confiabilidade, segurança e risco (RAMS) – Atua na análise de risco, confiabilidade e segurança funcional de sistemas aeroespaciais críticos.

Especialista em certificação e conformidade aeroespacial – Gerencia processos de certificação, requisitos regulatórios e compliance técnico em ambientes altamente normatizados.

Especialista em sistemas energéticos e propulsão avançada – Desenvolve e integra sistemas de propulsão e energia, incluindo soluções mais eficientes e novas tecnologias energéticas.

Gerente *supply chain* estratégico – Atua na gestão de cadeias críticas, cadeia de suprimentos, desenvolvimento de banco de fornecedores externos e adaptação de demanda de mercado.

Engenheiro aeroespacial – Coordena programas de desenvolvimento e integração de sistemas, articulando engenharia, operação, orçamento e stakeholders institucionais.

Gestor em *safety* (Gestão de sistema de segurança operacional) – Profissional responsável pela gestão integrada da segurança operacional em sistemas aeroespaciais, atuando na prevenção de falhas, acidentes e riscos operacionais ao longo do ciclo de vida de aeronaves, sistemas espaciais e operações críticas. Coordena processos de análise de risco, conformidade regulatória, investigação de incidentes e implementação de sistemas de gestão de *safety* alinhados a normas nacionais e internacionais do setor aeroespacial.

Gestor de *security* (Gestão de sistemas contra atos ilícitos) – Profissional responsável pela proteção física, lógica e organizacional de ativos aeroespaciais estratégicos contra ameaças intencionais, como sabotagem, espionagem, terrorismo, ataques cibernéticos e acesso não autorizado. Atua na implementação de protocolos de *security*, gestão de vulnerabilidades, controle de acesso, inteligência preventiva e integração entre segurança operacional, cibersegurança e proteção de infraestruturas críticas.

Gestor de ESG (Gestão de sistemas ambientais, sociais e de governança) – Profissional responsável por estruturar e monitorar práticas de sustentabilidade, responsabilidade social e governança corporativa no setor aeroespacial. Atua na gestão de emissões de carbono, resíduos industriais, conformidade ambiental, rastreabilidade da cadeia produtiva e indicadores ESG, além de apoiar estratégias de transição energética, reputação institucional e acesso a mercados e financiamentos internacionais.

Especialista em realidade virtual para treinamentos e simulações – Profissional responsável pelo desenvolvimento e implementação de ambientes imersivos de realidade virtual e aumentada aplicados ao treinamento técnico, operacional e tático no setor aeroespacial. Atua na criação de simuladores, cenários operacionais digitais e programas de capacitação avançada para pilotos, operadores, mantenedores e equipes de missão, ampliando a eficiência do treinamento, a redução de riscos e a aprendizagem em situações críticas e complexas.

5. Cursos que Poderão ser Demandados pelas Empresas do Segmento [15]

Engenharia de sistemas — Aplicado

Público: engenheiros (diversas áreas), analistas de sistemas, gestores de projetos técnicos.
Conteúdo: fundamentos de MBSE; SysML básico; decomposição funcional; gestão de requisitos; integração de subsistemas; interoperabilidade (MOSA); estudos de caso aeroespaciais.
Objetivo: capacitar profissionais para atuar no desenvolvimento e integração de sistemas complexos e reduzir riscos, complexidade e custos durante seu ciclo de vida.

Digital twin — Intermediário

Público: engenheiros, técnicos de manutenção, analistas de dados, gestores de ativos.
Conteúdo: conceitos de *digital twin*; integração físico-digital; PLM; manutenção baseada em condição; rastreabilidade; uso de dados operacionais; sistemas CAD\CAE.
Objetivo: desenvolver competências para operar e utilizar modelos digitais ao longo do ciclo de vida dos sistemas.

Inteligência artificial para sistemas complexos – Fundamentos aplicados

Público: engenheiros, analistas de dados, técnicos de sistemas, gestores técnicos.
Conteúdo: conceitos de IA/ML; aplicações embarcadas; limitações e riscos; validação de modelos; interpretação de resultados; ética e segurança; construção de ambientes simulados.
Objetivo: permitir o uso responsável e eficaz de IA em sistemas aeroespaciais.

Cibersegurança para sistemas embarcados e OT — Básico/intermediário

Público: engenheiros eletrônicos, engenheiros de computação, engenheiro de software, técnicos de teste, profissionais de TI/OT.
Conteúdo: fundamentos de ciber OT; ameaças e vulnerabilidades; arquitetura segura; conceitos de *zero trust*; gestão de acesso; exercícios de simulação de incidentes; normas internacionais
Objetivo: desenvolver consciência e práticas básicas de segurança em sistemas críticos.

[15] A seleção dos cursos foi realizada com base em critérios estruturados que consideram: (i) alinhamento com conhecimentos explícitos e codificáveis, (ii) transversalidade ocupacional, (iii) conexão direta com tecnologias emergentes (IA, *digital twin*, integração sistêmica, cibersegurança), (iv) resposta a tendências não tecnológicas (regulação, geopolítica, soberania, ESG), (v) aplicabilidade ao longo do ciclo de vida dos sistemas, (vi) contribuição para mitigação de riscos técnicos e institucionais e (vii) robustez frente a diferentes cenários de desenvolvimento do setor, garantindo coerência com a lógica de transformação de capacidades e do trabalho no segmento aeroespacial.

Integração aviônica e redes críticas — Aplicado

Público: engenheiros eletrônicos, de sistemas e técnicos de integração.
Conteúdo: arquiteturas de comunicação; integração de sensores; redes determinísticas; interoperabilidade; introdução ao C4ISR.
Objetivo: capacitar para integração segura e eficiente de sistemas embarcados conforme normas padrões internacionais.

Verificação e validação — Prático

Público: engenheiros de teste, técnicos de laboratório, integradores.
Conteúdo: métodos de verificação; HIL/SIL; simulação; validação de desempenho; critérios de aceitação; documentação de testes; telemetria.
Objetivo: garantir a confiabilidade e conformidade dos sistemas.

Confiabilidade, segurança e risco (RAMS) — Aplicado

Público: engenheiros, analistas de risco, gestores de projetos, estatísticos, matemáticos.
Conteúdo: FMEA, FTA, análise de risco, confiabilidade, segurança funcional, gestão de falhas, estudos de caso.
Objetivo: reduzir riscos sistêmicos e aumentar a segurança operacional.

Gestão de dados técnicos e governança da informação — Intermediário

Público: engenheiros, analistas de dados, profissionais de qualidade e compliance.
Conteúdo: *data governance*; rastreabilidade; PLM; qualidade de dados; interoperabilidade; compliance informacional.
Objetivo: estruturar o uso estratégico de dados no setor.

Normas, certificação e compliance aeroespacial — Básico/intermediário

Público: engenheiros, técnicos, gestores de qualidade, jurídico técnico.
Conteúdo: introdução às normas (DO-178, DO-254, AS/ISO); certificação; auditorias; *export control*; requisitos contratuais; direito internacional espacial.
Objetivo: garantir conformidade e reduzir riscos legais e operacionais.

Logística de sistemas críticos e *supply chain* resiliente — Aplicado

Público: profissionais de logística, engenharia, compras estratégicas.
Conteúdo: cadeias críticas, rastreabilidade, gestão de risco, dependência externa, estratégias de resiliência, legislação de tarifa alfandegária e trâmites de alfandegamento.
Objetivo: aumentar autonomia e robustez das cadeias produtivas.

Operação e monitoramento de sistemas autônomos — Prático

Público: operadores, técnicos, engenheiros de operação.
Conteúdo: supervisão de sistemas autônomos, interpretação de dados, intervenção humana, gestão de falhas, cenários operacionais.
Objetivo: preparar profissionais para operar sistemas parcialmente autônomos com segurança.

Tomada de decisão em situações complexas ambientes críticos — Aplicado

Público: engenheiros, operadores, gestores técnicos.
Conteúdo: decisão sob incerteza, análise de dados, gestão de risco, gestão de crise, cenários operacionais, simulações, protocolos internacionais.
Objetivo: melhorar qualidade decisória em ambientes complexos e de alta pressão.

Gestão multidisciplinar e comunicação técnica — Aplicado

Público: todos os perfis técnicos e de gestão.
Conteúdo: comunicação técnica, tradução entre áreas, coordenação interfuncional, trabalho em equipe complexa.
Objetivo: melhorar eficiência na integração entre engenharia, operação e gestão.

Integração da sustentabilidade e eficiência energética no aeroespacial — Fundamentos

Público: engenheiros, gestores, planejamento estratégico.
Conteúdo: eficiência energética, ESG, impactos ambientais, novos combustíveis, tendências regulatórias.
Objetivo: preparar o setor para pressões ambientais e transição energética.

6. Desafios na formação e atualização da mão de obra

Legenda dos atores

Empresas - Organizações da Base Industrial de Defesa responsáveis pela produção, integração e entrega de bens e serviços, incluindo integradoras, fabricantes e fornecedores críticos. Atuam em ambientes regulados e dependentes de contratos públicos, com papel central na absorção tecnológica e na qualificação da força de trabalho.

Governo - Órgãos públicos que formulam políticas, regulam, contratam e fiscalizam o setor de defesa, atuando como cliente dominante e indutor de padrões técnicos, regulatórios e de formação de capacidades nacionais.

Instituições de Formação Profissional (IFPs) - Entidades responsáveis pela formação inicial, técnica, superior e pela capacitação contínua da mão de obra, traduzindo demandas do setor de defesa em currículos, cursos e trilhas formativas.

Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICTs) - Centros e institutos que realizam P&D aplicado, ensaios e validação tecnológica, apoiando a indústria na adoção de tecnologias emergentes e na formação avançada de especialistas.

Déficit de profissionais híbridos (multidisciplinares) e integradores

Desafio: escassez de profissionais que combinem engenharia de sistemas, software, dados, eletrônica, operação e conformidade regulatória.

Justificativa: o setor está migrando de plataformas isoladas para ecossistemas digitais, modulares e orientados ao ciclo de vida, o que amplia a demanda por perfis integradores e reduz a suficiência de formações muito fragmentadas.

Ator	Papel Principal
Empresas	Definir perfis híbridos prioritários; ofertar projetos integradores, mentoring e rotação entre áreas, incentivar a integração com IFPs e ICTs para formação, desenvolvimento e modernização do ensino profissional, integrar ofertas de treinamento entre as empresas com necessidades similares.
Governo	Induzir e fomentar programas de formação híbrida e reconversão profissional em áreas estratégicas, de forma contínua e em conformidade com as necessidades regionais.
IFPs	Criar currículos integrados e modulares, com forte base em projetos interdisciplinares e as necessidades práticas das empresas.
ICTs	Apoiar conteúdos avançados de integração de sistemas e disponibilizar ambientes de experimentação.

Baixa capacidade de formar competências em engenharia de sistemas e MBSE

Desafio: insuficiência de oferta formativa estruturada em engenharia de sistemas complexos, gestão de requisitos, interfaces e ciclo de vida.

Justificativa: a integração de sistemas é um dos principais determinantes da competitividade futura da defesa, e a vantagem tende a se concentrar em quem domina sistemas, não apenas componentes.

Ator	Papel Principal
Empresas	Informar requisitos reais de integração; abrir casos de uso e arquiteturas de referência, mudança de cultura e aplicação do tema.
Governo	Financiar programas nacionais de MBSE e apoiar centros de competência setoriais.
IFPs	Inserir MBSE, integração e gestão de interfaces como núcleo curricular estruturante.
ICTs	Desenvolver laboratórios, simuladores e metodologias aplicadas de engenharia de sistemas.

Gargalo em cibersegurança de sistemas embarcados e OT

Desafio: escassez de profissionais aptos a proteger sistemas embarcados, redes críticas e ambientes OT/IT integrados.

Justificativa: a digitização/digitalização e a conectividade ampliam a superfície de ataque dos sistemas críticos, enquanto a segurança deixa de ser acessória e passa a integrar projeto, operação e manutenção.

Ator	Papel Principal
Empresas	Mapear lacunas de ciber OT, ofertar capacitação prática e exercícios de resposta a eventos.
Governo	Definir requisitos mínimos de segurança e apoiar e fomentar programas de capacitação crítica.
IFPs	Criar cursos e módulos específicos em cibersegurança embarcada, OT e resiliência digital.
ICTs	Apoiar testes, validação, cyber ranges e pesquisa aplicada em segurança de sistemas críticos.

Insuficiência de formação em dados, IA e *digital twin* para sistemas críticos

Desafio: dificuldade de formar profissionais capazes de operar, validar e governar IA, modelos digitais e sistemas orientados por dados.

Justificativa: processos de digitização e digitalização de sistemas, dados e IA aparecem entre os vetores centrais de transformação da defesa, com aplicações em apoio à decisão, manutenção preditiva, ISR e logística.

Ator	Papel Principal
Empresas	Indicar casos de uso prioritários e compartilhar problemas reais de operação e manutenção.
Governo	Financiar formação avançada em IA e dados aplicada à defesa e ao setor aeroespacial.
IFPs	Traduzir IA, analytics e digital twin em trilhas acessíveis para níveis técnico e superior.
ICTs	Prover infraestrutura de simulação, dados experimentais e pesquisa aplicada em validação de modelos.

Desalinhamento entre currículos e ritmo de difusão tecnológica

Desafio: atualização curricular mais lenta do que a institucionalização progressiva das tecnologias no setor.

Justificativa: em setores monopsônicos e oligopolizados, a difusão ocorre por saltos programáticos e institucionalização em programas, normas e requisitos; se a formação reage tarde, a incorporação tecnológica pode ser bloqueada por lacunas de competências.

Ator	Papel Principal
Empresas	Sinalizar com antecedência tecnologias emergentes e competências críticas futuras.
Governo	Criar mecanismos ágeis de atualização curricular e reconhecimento de novas demandas.
IFPs	Adotar currículos modulares, revisões mais frequentes e microcredenciais.
ICTs	Antecipar tendências tecnológicas e traduzir resultados de P&D em conteúdos formativos.

Fragilidade da formação em certificação, conformidade e *export control*

Desafio: formação insuficiente em normas, certificação, compliance técnico, rastreabilidade e controles de exportação.

Justificativa: a dependência regulatória é estrutural no setor de defesa, e a ausência desses conhecimentos pode gerar atrasos, sanções, perda de contratos e barreiras à cooperação internacional.

Ator	Papel Principal
Empresas	Especificar requisitos normativos e apoiar capacitação em qualidade, certificação e compliance.
Governo	Harmonizar requisitos, divulgar padrões e induzir formação em conformidade estratégica.
IFPs	Incorporar normas, certificação e compliance como conteúdos transversais.
ICTs	Apoiar ensaios, validação, metrologia e formação avançada em infraestrutura da qualidade.

Baixa disponibilidade de infraestrutura formativa avançada

Desafio: insuficiência de laboratórios, simuladores, bancadas de teste, ambientes HIL e SIL e infraestrutura de validação.

Justificativa: tecnologias sistêmicas exigem ensaio, simulação, certificação e validação. Sem infraestrutura adequada, a formação tende a ficar excessivamente teórica.

Ator	Papel Principal
Empresas	Compartilhar infraestrutura quando possível e apoiar ambientes de treinamento aplicado.
Governo	Financiar infraestrutura estratégica compartilhada e redes nacionais de laboratórios.
IFPs	Estruturar laboratórios didáticos conectados a demandas reais do setor.
ICTs	Operar instalações avançadas de ensaio, validação e demonstração tecnológica.

Dificuldade de retenção e renovação de especialistas seniores

Desafio: risco de perda de conhecimento crítico por aposentadoria, evasão para outros setores ou descontinuidade de programas.

Justificativa: a inovação em defesa é cumulativa e de longo prazo. O principal risco frequentemente não é a inexistência de competência técnica, mas a erosão gradual de capacidades por descontinuidade institucional e baixa escala.

Ator	Papel Principal
Empresas	Criar programas de sucessão, mentoria e retenção de especialistas críticos.
Governo	Apoiar políticas de continuidade e previsibilidade programática para preservar capacidades.
IFPs	Capturar experiência de especialistas em cursos, módulos e formação de instrutores.
ICTs	Documentar conhecimento crítico e apoiar formação avançada de novos quadros.

Baixa articulação entre formação profissional, P&D e demanda industrial

Desafio: fragmentação entre empresas, IFPs, ICTs e governo na definição de perfis, conteúdos e prioridades formativas.

Justificativa: o setor depende de coordenação entre demanda pública, indústria, pesquisa e formação. Sem essa convergência, aumentam assimetrias de capacitação e ineficiência no uso dos recursos.

Ator	Papel Principal
Empresas	Participar ativamente da definição de perfis profissionais e trilhas formativas.
Governo	Coordenar agendas entre defesa, indústria, educação e inovação.
IFPs	Traduzir demandas setoriais em currículos, cursos e itinerários flexíveis.
ICTs	Atuar como ponte entre fronteira tecnológica e conteúdo formativo.

Pressão por soberania tecnológica com base de formação insuficiente

Desafio: busca por autonomia tecnológica e industrial sem formação suficiente em áreas críticas como integração, dados, certificação, materiais, ciber e logística estratégica.

Justificativa: a pesquisa da BID indica que tecnologias sistêmicas exigem políticas transversais, nichos críticos exigem políticas dedicadas e a demanda pública é o principal indutor tecnológico. Sem uma base profissional adequada, a soberania tecnológica não se sustenta.

Ator	Papel Principal
Empresas	Priorizar capacitação em áreas críticas para nacionalização e absorção tecnológica.
Governo	Induzir formação vinculada a programas estratégicos e políticas de soberania.
IFPs	Estruturar ofertas formativas alinhadas às tecnologias críticas e áreas de interesse da defesa.
ICTs	Apoiar formação avançada em tecnologias sensíveis e reduzir dependência de conhecimento externo.

Pressão por soberania tecnológica com base de formação insuficiente

Desafio: busca por autonomia tecnológica e industrial sem formação suficiente em áreas críticas como integração, dados, certificação, materiais, ciber e logística estratégica.

Justificativa: a pesquisa da BID indica que tecnologias sistêmicas exigem políticas transversais, nichos críticos exigem políticas dedicadas e a demanda pública é o principal indutor tecnológico. Sem uma base profissional adequada, a soberania tecnológica não se sustenta.

Ator	Papel Principal
Empresas	Priorizar capacitação em áreas críticas para nacionalização e absorção tecnológica.
Governo	Induzir formação vinculada a programas estratégicos e políticas de soberania.
IFPs	Estruturar ofertas formativas alinhadas às tecnologias críticas e áreas de interesse da defesa.
ICTs	Apoiar formação avançada em tecnologias sensíveis e reduzir dependência de conhecimento externo.

Dificuldade de formar profissionais para operar sob incerteza geopolítica e regulatória

Desafio: baixa preparação para atuar em contextos de restrição tecnológica, mudanças regulatórias, controles de exportação e reconfiguração das cadeias globais.

Justificativa: os gargalos do setor são majoritariamente institucionais, não apenas técnicos, o que exige formação que combine técnica, governança, risco e leitura estratégica do ambiente.

Ator	Papel Principal
Empresas	Treinar equipes para gestão de risco institucional, *supply chain* e compliance estratégico.
Governo	Dar previsibilidade regulatória e apoiar programas de formação em governança e soberania.
IFPs	Inserir conteúdos de geopolítica tecnológica, compliance e cadeias críticas.
ICTs	Produzir inteligência aplicada sobre tendências tecnológicas e restrições internacionais.

Insuficiência de formação continuada para trabalhadores já em atuação

Desafio: baixa capilaridade de programas de atualização para técnicos, engenheiros, gestores e operadores já inseridos nas empresas.

Justificativa: como a transformação é incremental e cumulativa, grande parte da adaptação não ocorrerá apenas via novos profissionais, mas pela requalificação contínua dos quadros existentes. Isso é especialmente importante em tecnologias digitais, integração de sistemas e governança do ciclo de vida.

Ator	Papel Principal
Empresas	Mapear lacunas e implementar trilhas contínuas de *upskilling* e *reskilling*.
Governo	Apoiar financeiramente programas de formação continuada em áreas críticas.
IFPs	Ofertar cursos curtos, modulares e empilháveis para atualização rápida.
ICTs	Transferir conhecimento de projetos e ensaios para programas de atualização profissional.

Síntese

Os desafios centrais do sistema de formação do segmento aeroespacial não decorrem apenas da complexidade tecnológica, mas da necessidade de articular integração de sistemas, digitalização, dados/IA, cibersegurança, certificação, soberania tecnológica e continuidade institucional em uma base humana coerente com um setor concentrado, regulado e orientado por programas. Em termos práticos, três desafios sintetizam os demais: formar perfis híbridos, atualizar currículos e infraestrutura na velocidade da difusão tecnológica programática e coordenar de forma estável empresas, governo, IFPs e ICTs para que a formação deixe de ser reativa e passe a atuar como instrumento de soberania e competitividade.

7. Comentários Finais

A análise desenvolvida ao longo deste estudo evidencia que o segmento aeroespacial brasileiro caminha para uma reconfiguração estrutural caracterizada pela transição de um modelo centrado em plataformas para um paradigma orientado a sistemas integrados, intensivos em software, dados e capacidade de integração. As tecnologias emergentes analisadas — em sua maioria classificadas com impacto alto ou médio–alto — apontam para a consolidação de um padrão dominante baseado na convergência entre digitização, inteligência artificial, autonomia e engenharia de sistemas, com efeitos diretos sobre a complexidade do trabalho, a hibridização de funções e a necessidade de novas competências profissionais.

Paralelamente, os eventos não tecnológicos analisados demonstram que o ambiente de atuação do setor tende a se tornar mais restritivo, incerto e dependente de fatores institucionais e geopolíticos. A intensificação de controles tecnológicos, a busca por soberania, a reconfiguração das cadeias globais e a instabilidade de políticas públicas reforçam que a competitividade e a autonomia do segmento não dependerão apenas de avanços tecnológicos, mas da capacidade de coordenar, de forma consistente e contínua, políticas industriais, instrumentos de financiamento, governança institucional e formação de recursos humanos.

Nesse cenário, um dos principais resultados deste estudo reside na identificação de que as lacunas de qualificação profissional constituem um dos gargalos mais críticos para o desenvolvimento do setor. Em sistemas caracterizados por difusão tecnológica programática e institucional, como é o caso da defesa e do aeroespacial, a ausência de competências pode impedir a incorporação de tecnologias em programas estratégicos, retardar processos de certificação e comprometer a consolidação de capacidades produtivas nacionais. Isso implica reconhecer que a formação e a atualização da mão de obra não são elementos periféricos, mas componentes estruturantes da política de defesa e da política industrial.

Dessa forma, os resultados apresentados reforçam a necessidade de uma atuação coordenada entre os diferentes atores do ecossistema — empresas da Base Industrial de Defesa, órgãos governamentais, instituições de formação profissional e ICTs — no sentido de alinhar a oferta formativa às demandas emergentes do setor. Para os formuladores de políticas públicas, o desafio central reside em garantir continuidade, escala e previsibilidade aos instrumentos de apoio à formação e à inovação. Para as empresas, torna-se fundamental assumir um papel ativo na definição de perfis profissionais e no desenvolvimento de capacidades internas. Para as instituições de formação profissional, impõe-se a necessidade de atualização contínua de currículos, metodologias e infraestrutura, em sintonia com a evolução tecnológica e organizacional do setor.

Em síntese, o fortalecimento da Base Industrial de Defesa no segmento aeroespacial dependerá, de forma decisiva, da capacidade do país de desenvolver, reter e mobilizar competências críticas em escala adequada e de maneira sustentada ao longo do tempo. A articulação entre prospectiva, política industrial e formação profissional emerge, portanto, como elemento-chave para transformar os desafios identificados em oportunidades de desenvolvimento tecnológico, industrial e estratégico de longo prazo.

Cadernos de

Prospectiva Industrial de Defesa

Segmento

AEROESPACIAL



FIA BUSINESS SCHOOL

CNI Confederação Nacional da Indústria

ABDI Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS