



MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL  
PELA INOVAÇÃO

**Indústria  
2027**

**mei** MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Estudo de sistema produtivo  
**AEROSPACIAL E DEFESA**



Iniciativa da CNI - Confederação  
Nacional da Indústria





Iniciativa da CNI - Confederação  
Nacional da Indústria

# PROJETO INDÚSTRIA 2027

## Riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas

ESTUDO DE SISTEMA PRODUTIVO  
AEROSPACIAL E DEFESA

FOCO SETORIAL  
**Aeronáutica**

**Indústria  
2027**  
mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Brasília  
2018

**CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI**

*Robson Braga de Andrade*

Presidente

**Diretoria de Educação e Tecnologia - DIRET**

*Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti*

Diretor de Educação e Tecnologia

**Instituto Euvaldo Lodi – IEL**

*Robson Braga de Andrade*

Presidente do Conselho Superior

**IEL – Núcleo Central**

*Paulo Afonso Ferreira*

Diretor-Geral

*Gianna Cardoso Sagazio*

Superintendente



Iniciativa da CNI - Confederação  
Nacional da Indústria

**Indústria  
2027**

**mei** MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Estudo de sistema produtivo

**AEROESPACIAL E DEFESA**

©2018. IEL – Instituto Euvaldo Lodi

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

IEL/NC

Superintendência IEL

#### FICHA CATALOGRÁFICA

---

I59e

Instituto Euvaldo Lodi. Núcleo Central.

Estudo de sistema produtivo aeroespacial e defesa/ Instituto Euvaldo Lodi, Marcos José Barbieri Ferreira . -- Brasília : IEL/NC, 2018.

100 p. il. (Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas)

1. Cluster Tecnológico 2. Sistemas Produtivos 3. Aeroespacial e Defesa 4. Aeronáutica I. Título

CDU: 629.7

---

IEL

Instituto Euvaldo Lodi  
Núcleo Central

**Sede**

Setor Bancário Norte  
Quadra 1 – Bloco C  
Edifício Roberto Simonsen  
70040-903 – Brasília – DF  
Tel.: (61) 3317-9000  
Fax: (61) 3317-9994  
<http://www.portaldaindustria.com.br/iel/>

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC

Tels.: (61) 3317-9989/3317-9992

[sac@cni.org.br](mailto:sac@cni.org.br)

# SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>INDÚSTRIA 2027</b> .....	<b>9</b>
<b>RESUMO EXECUTIVO</b> .....	<b>13</b>
<b>1 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA</b> .....	<b>21</b>
1.1 Delimitação do Sistema Produtivo Aeroespacial e do Foco Setorial Aeronáutico.....	21
1.2 Panorama internacional .....	23
1.3 Panorama brasileiro .....	39
<b>2 OS CLUSTERS TECNOLÓGICOS RELEVANTES</b> .....	<b>59</b>
2.1 Identificação das tecnologias relevantes .....	59
2.2 Experiência internacional .....	73
2.3 Experiência brasileira .....	83
<b>3 DESAFIOS E IMPLICAÇÕES PARA O BRASIL</b> .....	<b>89</b>
3.1 Riscos, oportunidades e capacidade de resposta das empresas .....	89
3.2 Desafios para a competitividade do sistema produtivo A&D brasileiro.....	90
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>93</b>





# APRESENTAÇÃO

A convergência tecnológica presente em nossas vidas passa pela indústria, cada vez mais movida pela inovação. Esse espírito inovador, por sua vez, alimenta a competitividade e impulsiona novos modelos de negócios. O *Projeto Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas* avalia não só os impactos de inovações potencialmente disruptivas sobre a indústria nos próximos dez anos, como também a capacidade de o Brasil e suas empresas superarem riscos e aproveitarem oportunidades derivadas de novas técnicas. Além disso, fornece subsídios para as estratégias corporativas e a formulação de políticas de inovação.

O projeto é uma iniciativa da Confederação Nacional da Indústria (CNI) e da Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), coordenada pelo Instituto Euvaldo Lodi (IEL), com execução técnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

O Indústria 2027 identificou oito *Clusters* Tecnológicos – como internet das coisas, inteligência artificial, nanotecnologia e materiais avançados –, inovações cujos efeitos na economia e na sociedade são um caminho sem volta. Lançou, ainda, uma pesquisa inédita que mostrou o nível de adoção das tecnologias 4.0 nas empresas brasileiras. Agora é o momento de ressaltar o impacto das tecnologias delineadas pelo projeto nos dez sistemas produtivos analisados e o comportamento dos setores frente à adoção de técnicas avançadas.

O Brasil é um importante fabricante de aeronaves comerciais e, por isso, é essencial entender o contexto de incorporação das novas tecnologias no setor. Este documento sobre o sistema produtivo aeroespacial e defesa traz, além de apontamentos sobre desafios e oportunidades para a área, uma relação dos principais impactos das tecnologias no segmento.

A competitividade da indústria é feita com inovação; cooperação entre o setor produtivo, o governo e os centros de conhecimento; e estratégia de longo prazo para o desenvolvimento do país.

A indústria brasileira pode desenvolver competências, aproveitar oportunidades de competir em melhores condições, gerar empregos, criar novos serviços e contribuir para a ascensão da qualidade de vida da população brasileira.

Boa leitura.

**Robson Braga de Andrade**  
Presidente da Confederação Nacional da Indústria (CNI)



# INDÚSTRIA 2027

O projeto **Indústria 2027: Riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas** tem como objetivos avaliar os impactos de um conjunto de novas tecnologias com alto potencial transformador sobre a competitividade da indústria nacional no horizonte de cinco a dez anos. Além disso, busca fornecer subsídios para o planejamento corporativo de empresas e para a formulação de políticas públicas, visando estratégias de emparelhamento da indústria *vis-à-vis* às melhores práticas competitivas internacionais.

O projeto **Indústria 2027** tem como objetos de análise *Clusters* Tecnológicos, Sistemas Produtivos e, nesses últimos, Focos Setoriais (Quadro A1). Os *Clusters* Tecnológicos compreendem um conjunto de tecnologias-chave agrupadas por proximidade tecnológica e de bases de conhecimento envolvidas.

Os Sistemas Produtivos correspondem a grupos de setores industriais selecionados pela sua participação na estrutura industrial brasileira. Os principais critérios para identificação dos Focos Setoriais foram o potencial de impactos disruptivos a serem aportados pelas novas tecnologias e a relevância do setor em termos de geração de produto, empregos, exportações e inovação.

## Quadro A1 – Clusters Tecnológicos, Sistemas Produtivos e Focos Setoriais

		Sistemas Produtivos	Focos Setoriais
		Agroindústrias	Alimentos Processados
		Insumos Básicos	Siderurgia
		Química	Química verde
		Petróleo e Gás	E&P em Águas Profundas
		Bens de Capital	Máquinas e Implementos Agrícolas, Máquinas Ferramenta, Motores Elétricos e Outros Seriadados, Equipamentos de GTD
		Complexo Automotivo	Veículos Leves
		Aeroespacial, Defesa	Aeronáutica
		TICs	Sistemas e Equipamentos de Telecom Microeletrônica Software
		Farmacêutica	Biofármacos
		Bens de Consumo	Têxtil e Vestuário

O diagrama apresenta um hexágono centralizado com o texto 'PRODUTOS, PROCESSOS, GESTÃO E MODELOS DE NEGÓCIO'. Ao redor deste hexágono, há sete retângulos azuis contendo os seguintes textos: 'TICS: COMPUTAÇÃO EM NUVEM, BIG DATA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL' (topo), 'TICS: REDES' (direita), 'TICS: LOT, SISTEMAS E EQUIPAMENTOS' (esquerda superior), 'BIOPROCESSOS BIOTECNOLOGIAS AVANÇADAS' (esquerda inferior), 'NANOTECNOLOGIA' (esquerda inferior), 'MATERIAIS AVANÇADOS' (inferior) e 'PRODUÇÃO INTELIGENTE E CONECTADA' (direita inferior), além de 'ARMAZENAMENTO DE ENERGIA' (inferior direito).

Fonte: Elaboração própria.

O projeto **Indústria 2027** foi construído ao longo de três etapas sequenciais: (i) na primeira etapa, especialistas nos distintos *Clusters* produziram análises sobre tendências e impactos potenciais de tecnologias emergentes sobre sistemas produtivos<sup>1</sup>; (ii) essas reflexões serviram como insumo para a segunda etapa, quando especialistas setoriais avaliaram o processo de geração, absorção e difusão dessas tecnologias em Sistemas e Focos Setoriais e seus impactos sobre a competitividade empresarial; e (iii) as análises de *Clusters* e de Sistemas Produtivos servirão para a reflexão sobre estratégias públicas e privadas.

### **As trajetórias dos *Clusters* Tecnológicos**

A avaliação dos oito *Clusters* Tecnológicos identificou as tecnologias-chave que, introduzidas comercialmente em até dez anos, podem apresentar mudanças em Sistemas Produtivos, alterando modelos de negócios, padrões de concorrência e a atual configuração de posições de liderança das empresas. Nesse horizonte temporal, essas tecnologias podem constituir ameaças e oportunidades para empresas estabelecidas ou novas empresas, bem como implicar no surgimento de novos segmentos de mercado.

A avaliação dos *Clusters* indicou as seguintes trajetórias: (i) integração: qualquer solução tecnológica usa, intensivamente, outras tecnologias e bases de conhecimento distintas, em especial aquelas associadas às tecnologias de informação e comunicação (TIC); conectividade: o potencial das tecnologias aumenta pela geração, absorção e difusão por meio de redes digitais e; inteligência: crescente incorporação de conhecimentos científicos (“inteligência”) nas aplicações comerciais dessas tecnologias; (ii) os impactos sobre empresas se diferenciam ao longo do tempo: algumas aplicações tecnológicas já produzem impactos disruptivos hoje e continuarão assim em dez anos; outras somente os produzirão no futuro próximo, enquanto outras impactam empresas e setores com intensidade moderada (otimizando processos, induzindo a geração de novos produtos, por exemplo) no presente, mas poderão causar impactos disruptivos no futuro.

### **Questões orientadoras das análises de Sistemas Produtivos e Focos Setoriais**

Os estudos de Sistemas Produtivos e Focos Setoriais foram ancorados no conhecimento de especialistas, em estudos recentes feitos por centros de investigação e empresas de consultoria; em entrevistas qualitativas e, em alguns casos, quantitativas, junto a empresas; e em uma pesquisa de campo utilizando como base uma amostra representativa de Sistemas Produtivos (em torno de 750 empresas). Foram procuradas

1. Fonte: disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2017/10/nota-tecnica-etapa-i-do-projeto-industria-2027/>.

informações sobre o uso atual e esperado de tecnologias digitais e impactos sobre atributos competitivos, em diferentes funções organizacionais das empresas.

A avaliação dos Sistemas Produtivos e Focos Setoriais está estruturada em três partes: (i) análise da estrutura econômica, competitiva, tecnológica e produtiva do sistema e foco setorial no mundo e no Brasil; (ii) identificação das tecnologias relevantes para a competitividade do sistema e foco, no processo de geração, absorção e difusão dessas tecnologias e seus impactos sobre modelos de negócio, padrões de concorrência e estruturas de mercado; (iii) riscos, oportunidades e desafios para a indústria brasileira.

Em particular, procurou-se responder: (i) Quais são as tecnologias relevantes para cada sistema produtivo? Como elas impactarão cada sistema produtivo? Quais os maiores riscos e oportunidades para o Brasil?; e (ii) Qual a capacidade de resposta atual e potencial do sistema empresarial? Quais são os requisitos técnicos, empresariais, institucionais e financeiros para aproveitar oportunidades e defletir os riscos que as inovações disruptivas podem representar?



# RESUMO EXECUTIVO

## Caracterização do sistema produtivo Aeroespacial e Defesa (A&D) e seus Focos Setoriais no mundo e no Brasil

O sistema produtivo Aeroespacial e Defesa (A&D) é marcado pela elevada concentração de sua estrutura de mercado em grandes e poucas empresas: 20 dos 100 maiores conglomerados do mundo respondem por mais de 60% da receita. Os fabricantes de produtos finais (*original equipment manufacturers* – OEM) concentram cerca de 55% da receita, além de comandarem a cadeia global de suprimentos. Esses conglomerados atuam em diversos segmentos, englobando tanto a esfera civil quanto a militar. As empresas estadunidenses respondem por 63% do total das receitas dos 100 maiores conglomerados A&D, as europeias por 30%, enquanto as de países emergentes representam apenas 3,5% do total.

O Brasil consolidou-se como o terceiro maior fabricante de aeronaves comerciais. Sua estrutura produtiva está concentrada na Embraer, que responde por mais de 80% da receita nacional. A cadeia produtiva é muito restrita, formada majoritariamente por fornecedores de segundo e terceiro níveis, altamente dependentes da Embraer (dados de 2015).

Apesar de vir atuando como seguidora tecnológica, a Embraer tem realizado um amplo esforço para incorporar as novas tecnologias. Destaca-se a estratégia de reinternalização da produção – particularmente de componentes críticos e processos que envolvam tecnologias avançadas – visando a preservar e fortalecer a capacidade de integração produtiva e de comando da cadeia de fornecedores. Essa estratégia garante um maior controle sobre os projetos das aeronaves e das inovações a elas integradas. Outra estratégia que merece destaque é a verticalização do desenvolvimento de sistemas embarcados, como no caso do comando de voo *fly-by-wire*. Este movimento permite a exploração de segmentos de alto valor agregado e maior controle de riscos tecnológicos inerentes ao desenvolvimento de novos produtos.

## Impactos dos *Clusters* Tecnológicos selecionados no sistema produtivo Aeroespacial

Os *Clusters* Tecnológicos que devem provocar maiores impactos no sistema A&D são:

- **Materiais avançados:** por proporcionarem materiais com maior resistência e menor peso, são esperados impactos disruptivos nos segmentos de aeronaves comerciais e executivas a partir do uso combinado desses materiais.
- **Nanotecnologia:** dado o ainda baixo nível de maturidade tecnológica, deverá provocar apenas impactos indiretos, relacionados à nanoeletrônica e a nanomateriais. O segmento mais afetado será o de veículos aéreos não tripulados (VANT).

- **Armazenamento de Energia (AE):** permitirá substituir os motores convencionais pelos elétricos em algumas categorias de aeronaves, provocando impactos disruptivos nos segmentos de aeronaves comerciais, executivas e VANT.
- **Inteligência Artificial (IA):** permitirá analisar o desempenho das aeronaves; identificar e tratar as imagens; melhorar a interface homem-máquina; implementar a pilotagem autônoma; e otimizar as atividades produtivas e administrativas. Produzirá impactos disruptivos, particularmente no setor militar. Na aviação civil também provocará impactos importantes, com o desenvolvimento de serviços inteligentes de apoio à operação e manutenção das aeronaves e soluções de automação de cabine.
- **Tecnologias de Redes (Redes):** têm um papel-chave no sistema produtivo, pois permitem a integração das plataformas aeronáuticas e espaciais, dos sistemas de sistemas (controle de tráfego aéreo e *network-centric warfare* – guerra centrada em redes), bem como do processo produtivo das aeronaves, desde o nível da fábrica até as cadeias globais de suprimentos.
- **Internet das Coisas (Internet of Things – IoT):** tecnologia essencial, pois possibilita captar as informações por meio de sensores e retornar as ações através de atuadores. A difusão das IoT embarcadas nos produtos aeroespaciais é mais lenta, dado que necessita passar por um longo e rigoroso processo de certificação. No setor aeronáutico, o recente avanço da IoT está direcionado às operações com drones e ao processo de fabricação das aeronaves.
- **Produção Integrada e Conectada (PIC):** engloba quatro tecnologias: robótica, manufatura aditiva, novos processos produtivos (*friction stir welding*) e virtualização da produção. Essas tecnologias, associadas às Redes de Comunicação, IoT e Inteligência Artificial, formam a matriz da Produção Inteligente e Conectada.

Os impactos esperados desses *Clusters Tecnológicos* sobre a estrutura de mercado dos principais segmentos que compõem a indústria aeronáutica mundial são descritos a seguir.

- a) No segmento de **aeronaves civis, comerciais e executivas**, espera-se o desenvolvimento de um novo projeto dominante, denominado avião híbrido, cujos principais sistemas apresentam as seguintes características:
  - **Projetos:** provável adoção de projeto de configuração não convencional, como de asa-fuselagem híbrida (*blended wing body* – BWB).
  - **Materiais:** as novas aeronaves civis deverão ser produzidas com a combinação de diferentes materiais, como as novas ligas metálicas e os compósitos nanoestruturados, enquanto os componentes de elevada complexidade deverão ser confeccionados com manufatura aditiva.
  - **Propulsão:** provável adoção dos sistemas de propulsão híbridos, definidos como sistemas de motores turboelétricos que combinam a propulsão convencional ou a gás – utilizados principalmente nas etapas que necessitam de maior empuxo, como a decolagem – e a propulsão elétrica, utilizada quando se atinge o voo de cruzeiro.



- **Sistemas embarcados:** novas tecnologias digitais devem ser incorporadas, permitindo um monitoramento detalhado e um controle ótimo do desempenho das aeronaves.
- **Operação otimizada e serviços:** avanços em IA e IoT permitirão o desenvolvimento de soluções de operação e manutenção cada vez mais sofisticadas, como o gerenciamento da saúde da aeronaves, automação e otimização decolagens em aeroportos, operação *single pilot* etc.

As OEM, particularmente as relacionadas com a operacionalidade das aeronaves (manutenção, passageiros e voos), devem adotar uma estratégia de servitização e oferecer pacotes combinados de produtos e serviços que atendam às necessidades dos clientes.

Assim como o processo de desenvolvimento, o processo produtivo desse setor deve ser também bastante impactado pelas novas tecnologias, dado que as maiores escalas produtivas viabilizam a introdução de sistemas automatizados. Essas inovações, juntamente com a entrada de um novo e poderoso concorrente – a empresa chinesa Comac – podem implicar em grandes mudanças nessa estrutura produtiva, inclusive no duopólio Boeing-Airbus.

- b) No segmento de **aviões militares e soluções de defesa**, os avanços disruptivos devem se concentrar nas tecnologias relacionadas a IA, particularmente no que se refere à interface homem-máquina (como comando por voz), possibilitando completa consciência situacional, maior segurança e redução na carga de trabalho. As tecnologias de rede e IoT também devem ser incorporadas, aprimorando a realização de operações conjuntas e coordenadas em ambientes de rede (*network-centric operations*). Os Estados Unidos deverão continuar na liderança comercial e tecnológica desse segmento, e as empresas russas e chinesas deverão ter uma crescente participação no mercado internacional.
- c) Quanto aos **aviões leves**, da categoria de **aviação geral**, justamente por serem mais leves, de menor alcance e menor nível de sofisticação tecnológica (não se confundindo com a aviação leve executiva, cuja sofisticação tecnológica está mais próxima dos aviões comerciais), devem liderar a introdução dos motores elétricos, que é a inovação mais disruptiva do sistema produtivo nas últimas décadas. Grandes empresas aeronáuticas e de motores elétricos, como a Airbus e a Siemens, vêm utilizando esse segmento para testar suas inovações e apresentá-las ao mercado.
- d) No segmento **espacial**, o impacto das novas tecnologias está centrado nos sistemas embarcados, essencialmente nos eletrônicos e seus *softwares*. As tecnologias de rede, IA, IoT e, mais recentemente, da nanotecnologia, têm possibilitado uma série de avanços incrementais que deverão ampliar ainda mais a capacidade das atuais plataformas de satélites, com destaque para o extraordinário aumento de volume de transmissão de dados utilizando as

plataformas dos satélites de comunicação já existentes. No entanto, essas tecnologias também estão resultando em inovações disruptivas, com o desenvolvimento de satélites de dimensões cada vez menores (miniaturizados) e que podem operar em formação, constituindo redes de comunicação ou monitoramento especializadas. A crescente participação dos satélites miniaturizados deve produzir mudanças nos modelos de negócio, pois esses equipamentos estão sendo desenvolvidos, lançados e operados por empresas privadas. Eles são tradicionalmente lançados como cargas úteis secundárias em grandes veículos, mas há uma série de empresas desenvolvendo veículos de lançamento direcionados aos satélites miniaturizados, abrindo uma importante janela de oportunidades no segmento de veículos lançadores de pequeno porte.

- e) O segmento de **Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT)**, com potencial elevado de aplicação em vários mercados – como defesa (para segurança e monitoramento, por exemplo), civil (como no transporte e na entrega de cargas) ou mesmo recreativo –, será o mais impactado pelas inovações disruptivas. Os avanços nas tecnologias de IA, rede e IoT possibilitarão o desenvolvimento de VANT que operem com uma autonomia cada vez maior, além de permitirem a operação conjunta e coordenada entre eles. Além disso, tecnologias de armazenamento de energia e a nanotecnologia também terão grande impacto. A estrutura de mercado do segmento deverá manter um elevado dinamismo nos próximos dez anos, em dois movimentos opostos e simultâneos: de um lado, um rápido processo de concentração; de outro, a contínua abertura de oportunidade para entrantes, em decorrência da incorporação das inovações disruptivas.
- f) O impacto das inovações disruptivas poderá resultar na criação de um novo setor no sistema produtivo A&D, o setor de **Veículos Aéreos Urbanos Autônomos**. Para tanto, é necessário o desenvolvimento de uma categoria de aeronaves multirrotores de decolagem e aterrissagem vertical com propulsão elétrica, denominadas *electrical vertical take-off and landing vehicles (EVTOL)*. Essas aeronaves serão baseadas nas mais avançadas tecnologias de armazenamento de energia e nos materiais avançados de baixo peso e resistência elevada, com a expectativa de uso crescente dos compósitos nanoestruturados. A nanotecnologia também será empregada, mas de maneira indireta, possibilitando o desenvolvimento de materiais avançados e dos sistemas eletrônicos miniaturizados de elevada capacidade de processamento e armazenamento. Por sua vez, as tecnologias de rede, IA e IoT serão utilizadas para se construir um sistema de pilotagem autônomo que otimize as rotas e permita que mais veículos compartilhem o céu, além de operar com elevado nível de segurança.

No contexto brasileiro, o segmento de aviões comerciais a jato, segmento principal da Embraer, deverá ser um dos mais impactados. Os maiores desafios encontram-se nas áreas em que a empresa apresenta maiores competências: projeto, integração e produção de aviões. É fundamental sua estratégia de ampliar a participação nos mercados de aeronaves militares e executivas, nos quais possui produtos novos com

boas possibilidades, pois tais mercados devem sofrer menos os impactos das novas tecnologias. A incorporação das inovações disruptivas pode ser uma oportunidade para a Embraer consolidar sua posição de terceira maior fabricante mundial de aviões, além de permitir diversificar sua atuação para segmentos que estão sendo criados a partir dessas novas tecnologias, como o do projeto do veículo aéreo autônomo urbano Uber Elevate.

O impacto das inovações disruptivas sobre a cadeia produtiva da Embraer também deverá ser bastante elevado. A área metalmecânica, em que atua a maioria dos fornecedores nacionais da empresa líder, será diretamente afetada pela introdução dos materiais avançados e pelas tecnologias relacionadas à manufatura avançada. Além disso, os fornecedores, particularmente de aeroestruturas, terão de enfrentar a estratégia de reinternalização adotada pela Embraer. As inovações disruptivas também trazem oportunidades de ampliação e diversificação das empresas que se capacitem nessas novas tecnologias, com destaque para algumas de engenharia, que poderiam diversificar suas atividades para o setor produtivo e se consolidarem como fornecedoras de primeiro nível.

### **Desafios e implicações para o Brasil**

Diante desse cenário, o Brasil precisa vencer alguns desafios. O primeiro deles é robustecer sua estrutura produtiva. Para tanto, deve preservar e fortalecer seu conglomerado A&D, nacionalmente concentrado na Embraer. O País deve ainda criar oportunidades para empreendimentos emergentes, desenvolvendo instrumentos de incentivo e suporte à constituição de *startups*, bem como ampliar a competitividade da cadeia de fornecedores das grandes empresas, fortalecendo e modernizando tanto as do setor aeronáutico quanto as dos demais setores que compõem o sistema produtivo A&D. Além disso, deve apoiar o robustecimento e a consolidação das empresas já existentes que atuam em nichos de mercado específicos.

Outra frente importante é o fortalecimento da pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). Nesse sentido, deve-se planejar e coordenar os programas de pesquisa, desenvolvimento e inovação, permitindo uma otimização maior dos recursos destinados aos programas de PD&I. Deve-se também promover o desenvolvimento tecnológico, viabilizando a capacitação das empresas nas tecnologias disruptivas, e ainda fornecer infraestrutura tecnológica, investindo recursos nos centros de pesquisa e universidades, particularmente naqueles voltados para as novas tecnologias.

Além disso, a formação de recursos humanos na área deve ser ampliada com a criação e o fortalecimento de núcleos de excelência em novas tecnologias, bem com o incentivo e o financiamento para o estabelecimento de parcerias nacionais e internacionais. Recomenda-se ainda o fortalecimento e o direcionamento da competência científica e

tecnológica já existentes nas universidades e centros de pesquisa para formação de profissionais qualificados para o sistema produtivo aeroespacial e defesa (A&D).

No sentido de garantir a demanda, é interessante utilizar as aquisições governamentais não só por meio da encomenda de produtos relevantes para os setores de Estado, como as Forças Armadas, mas também por meio de “Encomendas Tecnológicas”, mecanismo recém-regulamentado no Novo Marco de C,T&I, capaz de apoiar e incentivar o ganho de competência tecnológica de alto impacto mercadológico, mas com alto risco de desenvolvimento.

Esse documento está dividido em três partes principais: i) O Capítulo 1 caracteriza o sistema produtivo A&D, com foco no setor aeronáutico, no âmbito internacional e nacional. São apresentadas a importância econômica do sistema, suas principais características estruturais e as principais tendências em curso no Brasil e no mundo; ii) O Capítulo 2 trata dos impactos dos *Clusters* Tecnológicos selecionados no sistema produtivo A&D. São identificadas tecnologias potencialmente disruptivas e analisados seus impactos esperados, com uma investigação mais aprofundada sobre a geração e a difusão das inovações nesse sistema produtivo pela ótica dos *players* internacionais e nacionais; e iii) O Capítulo 3 aborda os principais desafios e as implicações visando à geração, à absorção e à difusão das tecnologias disruptivas pelo sistema produtivo A&D brasileiro.





# 1 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA

## 1.1 Delimitação do sistema produtivo Aeroespacial e do Foco Setorial Aeronáutico

O sistema produtivo aeroespacial e defesa<sup>2</sup> (A&D) combina o conhecimento em aeronáutica e astronáutica para pesquisar, projetar, fabricar, operar e manter veículos que se movam pelo ar e pelo espaço, seja para viagens de passageiros, entregas de fretes e fornecimento de armas, seja para instalação de sistemas de telecomunicações, observação ou navegação. Seus produtos apresentam diversas aplicações – privadas, comerciais, científicas e militares – e sua base tecnológica comum está assentada na aerodinâmica, na termodinâmica, na resistência dos materiais e na eletrônica. Nesse documento, a delimitação do sistema produtivo A&D compreende os seguintes setores:

- **Setor aeronáutico:** englobando desenvolvimento, produção e manutenção de aeronaves de asa fixa e rotativa destinadas aos mercados comercial, executivo e militar, incluindo os sistemas embarcados e componentes.
- **Setor de sistemas e sensores:** incluindo o segmento de sistemas de comando, controle e inteligência (C<sup>2</sup>I), destinados às atividades civis e militares e seus respectivos componentes, englobados no segmento de sensores eletromagnéticos (radares) e ópticos.
- **Setor de armas aéreas:** centrado no segmento de mísseis, foguetes e bombas inteligentes.
- **Setor espacial:** incluindo o desenvolvimento e a produção de satélites, veículos lançadores e respectivos sistemas de controle em terra, tanto às plataformas e equipamentos destinados quanto ao mercado civil (comercial e científico) como militar.

2. Os produtos de defesa (Prode) não são definidos pelas suas características técnicas, mas sim pela demanda, dado que compreendem “todo bem, serviço, obra ou informação, inclusive armamentos, munições, meios de transporte e de comunicações, fardamentos e materiais de uso individual e coletivo utilizado nas atividades finalísticas de defesa, com exceção daqueles de uso administrativo” (BRASIL, 2012). Essa característica é ainda mais imperativa nos produtos estratégicos de defesa (PED), uma parcela dos Prodes, “pelo conteúdo tecnológico, pela dificuldade de obtenção ou pela imprescindibilidade, seja de interesse estratégico para a defesa nacional” (BRASIL, 2012). A Base Industrial de Defesa (BID) “reúne o conjunto das empresas estatais e privadas, bem como organizações civis e militares, que participam de uma ou mais das etapas de pesquisa, desenvolvimento, produção, distribuição e manutenção de produtos estratégicos de defesa” (BRASIL, 2012). Reúne um amplo e heterogêneo conjunto de setores industriais, incluindo desde a produção de armas e munições leves até o desenvolvimento de submarino nuclear.

## Quadro 1 – Sistema produtivo Aeroespacial e Defesa: classificação em setores, segmentos e subsegmentos

Setores	Segmentos e Subsegmentos										
Aeronáutico	Militar				Comercial		Executivo		Asas Rotativas	VANTs	Fornecedores
	Combate	Treina.	Transporte	Vigilância	Jatos	Turbo	Jatos	Leves			
Espacial	Satélites				Veículos lançadores						
Armas	Mísseis, foguetes e bombas inteligentes										
Sistemas e sensores	SC2I				Sensores						

Fonte: Elaboração própria.

O setor aeronáutico, foco desse documento, abrange, além dos fabricantes de aeronaves, uma ampla rede de fornecedores que são classificados em diferentes níveis, de acordo com a sofisticação dos produtos que fornecem. Os de primeiro nível fornecem motores, sistemas e aeroestruturas; os de segundo nível, subsistemas e componentes específicos; e os de terceiro nível, serviços, peças e matérias-primas básicas. O setor é dividido em cinco grandes segmentos: aeronaves de asa fixa comerciais; aeronaves de asa fixa executivos; aeronaves de asa fixa militares; aeronaves de asas rotativas; e veículos aéreos não tripulados. Observa-se que três desses segmentos estão relacionados com os mercados aos quais se destinam as aeronaves de asa fixa. Cada um desses segmentos é dividido em diferentes subsegmentos, que, por sua vez, se dividem em diversas categorias de aeronaves, relacionadas às suas características técnicas.

O segmento de aviões comerciais é o mais amplo da indústria aeronáutica e envolve o transporte, regular ou contratado, de passageiros e cargas por meio de companhias aéreas, o que o torna relativamente homogêneo. Esse segmento pode ser subdividido de acordo com o porte das aeronaves, englobando desde os aviões turboélices ATR-42, com capacidade para transportar 50 passageiros, até os grandes jatos intercontinentais de fuselagem larga (*widebody*), como o Airbus A380, com capacidade para transportar até 850 passageiros.

Os aviões executivos estão divididos em dois grandes subsegmentos: i) O primeiro compreende os aviões executivos de propulsão a jato, incluindo desde os sofisticados aparelhos da categoria *ultra long range*, como o recém-lançado Dassault Falcon 8X, até os pequenos aviões da categoria *very light jets*, entre eles o Embraer Phenom 100, de apenas seis lugares; e ii) O segundo subsegmento – chamado aviação geral – engloba aeronaves de pequeno porte – monomotores e bimotores movidos a hélice – utilizadas na maioria das vezes em caráter privado, além dos táxis aéreos, clubes aéreos e aviação agrícola.

O segmento militar abrange o conjunto de aviões empregados em atividades militares, desde os aviões de combate utilizados para garantir o poder dissuasório até as aeronaves



de apoio, como os de transporte, treinamento, busca e salvamento. Esse segmento é caracterizado pela elevada amplitude, variedade e heterogeneidade das plataformas aeronáuticas, sendo essas agrupadas em quatro grandes subsegmentos: aviões de combate, treinamento, transporte e vigilância (FERREIRA, 2016).

O segmento de helicópteros engloba todas as categorias de aeronaves de asas rotativas, independentemente da categoria técnica ou do mercado de destino. Deve ser tomado em separado, visto que apresenta um grande diferencial tecnológico no que se refere ao projeto das aeronaves e ao seu emprego – para fins comerciais, privados, militares e serviços públicos, como aeronaves de patrulhamento aéreo e resgate.

O segmento de veículos aéreos não tripulados (VANT) está centrado nas aeronaves remotamente pilotadas (ARP), controladas a distância por um operador humano, com algumas etapas podendo ser realizadas de forma autônoma. A incorporação de novas tecnologias e o desenvolvimento de projetos inovadores vêm resultando numa ampla diversificação das categorias de uso dessas aeronaves, abrangendo desde pequenos VANT portáteis empregados em atividades comerciais e recreativas, como o DJI Phantom, utilizado para captura de imagens, até os VANT de categorias estratégicas, como o Global Hawk, que opera em grandes altitudes e com ampla autonomia, sendo capaz de vigiar cerca de 100 mil km<sup>2</sup> de terreno por dia.

O setor aeronáutico alcança todo o ciclo de vida dessas aeronaves, que se divide em nove fases: concepção, viabilidade, definição, desenvolvimento, produção, implantação, manutenção, modernização e desativação (FERREIRA, 2016). As cinco primeiras fases são desenvolvidas pelas fabricantes de aeronaves para atender às demandas existentes ou propiciar a geração de novas. A fase de implantação é realizada pelo cliente em conjunto com o fabricante. As fases de manutenção, modernização e desativação, que eram realizadas pelos próprios operadores – Forças Armadas e grandes companhias aéreas –, vêm sendo crescentemente exploradas pelas fabricantes de aeronaves ou por empresas especializadas. A fase de desativação está cada vez mais vinculada à questão da sustentabilidade.

## 1.2 Panorama internacional

O sistema produtivo A&D caracteriza-se pela elevada concentração em grandes e poucas empresas: em 2015, os 100 maiores conglomerados do mundo faturaram US\$ 674,4 bilhões e empregaram 2.048 mil pessoas (DELOITTE, 2016). Os 20 maiores responderam por 67,6% da receita total, tiveram receita média de US\$ 22,8 bilhões e empregaram em média 77,4 mil funcionários.

**Tabela 1 – Vinte maiores conglomerados aeroespaciais e de defesa do mundo<sup>1</sup>: faturamento, funcionários e país de origem, 2015 (em US\$ milhões)**

Empresas	País	Classificação		Receita (US\$ milhões)		Funcionários
		A&D <sup>2</sup>	Defesa <sup>3</sup>	Total	Defesa	
The Boeing Company	EUA	1	2	96.114	27.960	161.400
Airbus Group	Europa	2	7	71.611	12.860	136.570
Lockheed Martin	EUA	3	1	46.132	36.440	126.000
General Dynamics	EUA	4	6	31.469	19.240	99.900
United Technologies, UTC	EUA	5	8	27.797	9.500	197.200
BAE Systems	Reino Unido	6	3	25.826	25.510	82.500
Northrop Grumman	EUA	7	5	23.526	20.060	65.000
Raytheon	EUA	8	4	23.247	21.780	61.000
Safran	França	9	14	20.111	5.020	70.090
Leonardo	Itália	10	9	14.439	9.300	47.160
Thales Group	França	11	11	13.850	8.100	62.190
L-3 Communication	EUA	12	10	10.466	8.770	38.000
Bombardier Aerospace <sup>4</sup>	Canadá	13	Ausente	9.891	Ausente	25.550
Textron	EUA	14	21	9.796	3.650	35.000
MHI Aerospace	Japão	15	28	8.540	2.970	nd
Embraer	Brasil	16	88	5.828	810	19.167
United Aircraft Corp.	Rússia	17	17	5.774	4.610	nd
Dassault	França	18	47	4.631	1.850	12.150
AVIC <sup>5</sup>	China	19	nd	4.180	nd	nd
KHI Aerospace Co	Japão	20	37	2.880	2.300	nd
<b>Média</b>				<b>22.805</b>	<b>12.263</b>	<b>77.430</b>

Notas: (1) Estão contabilizadas apenas as fabricantes de produtos finais (OEM). (2) Classificação de acordo com as cem maiores empresas aeroespaciais e de defesa (DELOITTE, 2016). (3) Classificação de acordo com as 100 maiores empresas de defesa do mundo (SIPRI, 2016). (4) A empresa não participa da base industrial de defesa. (5) Dados da empresa chinesa AVIC, disponíveis em *Flight Global* (2016).  
Fonte: Elaboração própria com base em dados de Deloitte (2016) e Sipri (2016).

Observa-se a preponderância das fabricantes de produtos finais (OEM), que vêm aumentando sua participação na receita do sistema aeroespacial, passando de US\$ 309,4 bilhões em 2011 (53% do total) para US\$ 370,8 bilhões em 2015 (55% do total) (DELOITTE, 2016). A maior importância das OEM não está apenas no porte e na maior participação dessa categoria de empresas, mas também no fato de comandarem e coordenarem toda a cadeia global de suprimentos do sistema produtivo A&D.

Os grandes conglomerados A&D têm uma atuação bastante diversificada, participando de diferentes segmentos do sistema produtivo, conforme ilustrado no Quadro 2. Essa diversificação é um movimento estratégico que visa a avançar para mercados em que as competências empresariais, particularmente as tecnológicas, possam ser utilizadas para construir novas vantagens competitivas (FERREIRA, 2009).

## Quadro 2 – Vinte maiores conglomerados aeroespaciais e de defesa do mundo\*: segmentos de atuação, 2015

Empresas	Aviões			Helicópteros	VANT	Mísseis	Sistemas C21 e Sensores	Espaço
	Comerciais	Executivo	Militar					
The Boeing Company	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦
Airbus Group	♦	♦	♦	♦	♦	◊	♦	♦
Lockheed Martin			♦	◊	♦	♦	♦	♦
General Dynamics		♦	♦			♦	♦	◊
United Technologies, UTC				♦			♦	◊
BAE Systems			♦		♦	◊	♦	◊
Northrop Grumman			◊		♦		♦	♦
Raytheon						♦	♦	◊
Safran					♦	◊	♦	◊
Leonardo			♦	♦	♦	◊	♦	◊
Thales Group					♦	◊	♦	♦
L-3 Communication			◊				♦	◊
Bombardier Aerospace	♦	♦	◊					
Textron		♦	♦	♦	♦	◊	♦	
MHI Aerospace	♦		♦	♦		♦	♦	♦
<b>Embraer</b>	♦	♦	♦				♦	◊
United Aircraft Corp.	♦		♦		♦			
Dassault		♦	♦		♦			◊
AVIC	♦	♦	♦	♦	♦	♦		
KHI Aerospace Co.	◊		♦	♦		♦	♦	◊

Notas: (\*) Estão contabilizadas apenas as fabricantes de produtos finais (OEM).  
Fonte: Elaboração própria com base nos relatórios anuais das empresas e no relatório da Deloitte (2016).

Pode-se constatar ainda que as empresas do sistema produtivo A&D apresentam uma atuação dual (militar e civil), sendo que, em média, pouco mais da metade da receita dos cem maiores conglomerados provém de produtos de defesa (Tabela 2). A busca por essa atuação dual permite ampliar as vendas, mitigar os riscos com maior diversidade de operações e ampliar os ganhos provenientes da sinergia entre os diferentes negócios.

Dada essa atuação dual, os grandes grupos passaram a ser denominados de conglomerados aeroespaciais e de defesa. Trata-se, porém, de um indicador de média, existindo situações divergentes, como os grupos industriais voltados quase que exclusivamente para o segmento militar – BAE Systems e Raytheon – e aqueles em que o segmento de defesa apresenta pequena ou nenhuma participação. A Bombardier é o único grande conglomerado aeroespacial que não atua no mercado de defesa.

**Tabela 2 – Cem maiores conglomerados aeroespaciais e de defesa do mundo: distribuição da receita por país/região e por segmento de mercado (comercial/defesa) e número de funcionários, 2015 (em US\$ bilhões e %)**

Países/ regiões	Comercial		Defesa		Total	Funcionários
	(US\$ bilhões)	(%)	(US\$ bilhões)	(%)	(US\$ bilhões)	(mil)
EUA	194,2	29%	229,9	34%	424,1	1.194
Europa	107,0	16%	96,9	14%	203,9	610
Outros	24,3	4%	22,1	3%	46,4	244
<b>Total</b>	<b>325,5</b>	<b>48%</b>	<b>348,9</b>	<b>52%</b>	<b>674,4</b>	<b>2.048</b>

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Deloitte (2016).

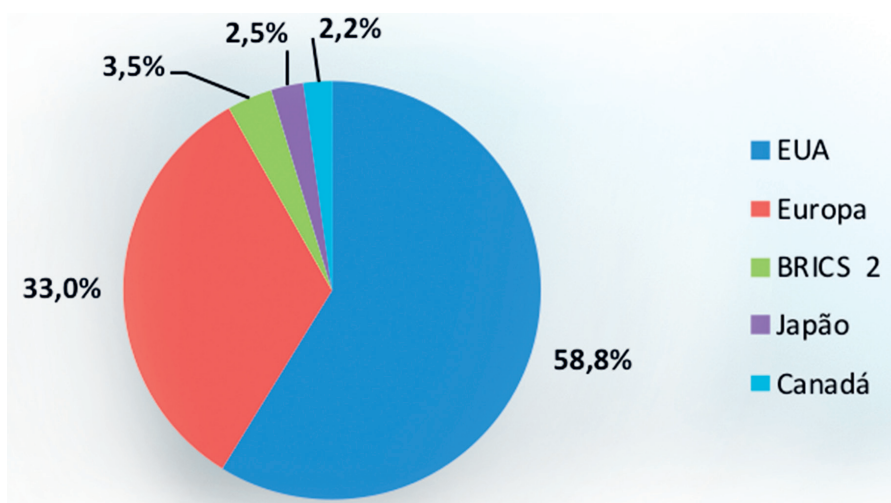
Há um elevado grau de intersecção entre os conglomerados A&D e as empresas que participam da Base Industrial de Defesa. Os 11 maiores fabricantes de armamentos são conglomerados A&D, sendo sete deles produtores de aeronaves militares (SIPRI, 2016). Além disso, as três maiores empresas de defesa do mundo – as estadunidenses Lockheed Martin e Boeing e a britânica BAE Systems – tiveram suas origens na indústria aeronáutica.

Apesar dos diferentes modelos empresariais, constata-se que todos os grandes conglomerados de A&D são formados por algumas empresas que são consideradas estratégicas para seus países, sobretudo no quesito de defesa e segurança nacionais, restando assim algum tipo de controle dos Estados sobre elas quanto à deliberação de assuntos que afetem a soberania nacional. Ainda é incomum a presença de subsidiárias estrangeiras com operação de peso em outros territórios<sup>3</sup>. A internacionalização do sistema produtivo A&D é restrita, pois esses conglomerados são também responsáveis pelo fornecimento de produtos estratégicos de defesa (PED), devendo garantir autonomia operacional e tecnológica das suas respectivas Forças Armadas. Nos casos em que ocorrem, a participação das subsidiárias estrangeiras tende a se limitar aos fornecedores de sistemas embarcados e componentes específicos destinados a aeronaves, satélites, mísseis ou sistemas de C2I. Além disso, o sistema produtivo A&D, tanto na sua parcela civil quanto militar, é importante criador e indutor de inovações tecnológicas nas estruturas produtivas dos seus respectivos países.

Há uma elevada concentração nesse sistema produtivo de grandes conglomerados estadunidenses e europeus, que respondem, em conjunto, por mais de 90% das receitas dos 20 maiores. Em 2015, a receita proveniente dos países emergentes (Brasil, Rússia e China) representou apenas 3,5% do total. Apesar da pequena participação, esses países vêm apresentando uma posição de destaque em segmentos específicos. Notadamente o Brasil, com a Embraer, se consolidou como o terceiro maior fabricante de aeronaves comerciais do mundo.

3. Exemplos incluem a P&W americana operando no Canadá; a BAE inglesa, nos EUA; e a própria Embraer produzindo nos EUA e em Portugal.

**Gráfico 1** – Vinte maiores conglomerados aeroespaciais e de defesa do mundo<sup>1</sup>: distribuição da receita por região/país, 2015 (em %)



Notas: (1) Estão contabilizadas apenas as fabricantes de produtos finais (OEM). (2) Brasil (Embraer), Rússia (UAC), China (AVIC).  
Fonte: Elaboração própria com base em dados da Deloitte (2016) e Sipri (2016).

Três reflexões merecem destaque no contexto desse setor.

Primeiro, não se pode deixar de reconhecer a complexa dinâmica competitiva nas cadeias produtivas do setor de A&D. Como em outros setores dependentes de alta tecnologia e de altos investimentos, a cadeia produtiva de A&D pode ser caracterizada por movimentos velozes e significativos de união e consolidação de *players* estabelecidos e esse processo deve continuar no futuro. Ao mesmo tempo, novos entrantes, alguns fortemente apoiados por seus Estados, esforçam-se por obter competência tecnológica e mercadológica. Cada vez mais, a busca incessante de escala produtiva e tecnológica, que só se viabiliza em mercados globais, faz com que a otimização da cadeia ocorra para além das fronteiras nacionais, adquirindo sua força competitiva em aspectos advindos da diversidade geopolítica, como competências técnicas complementares, penetração em mercados protegidos, mais fontes e recursos de apoio à P&D, diferenciais competitivos locais, como acesso a tecnologias críticas etc.

Segundo, a participação estatal no sistema produtivo A&D é notável e remonta às origens da indústria em cada país, pois na quase totalidade dos casos as grandes empresas foram criadas pelo Estado ou tiveram grande apoio governamental, por meio de encomendas militares e de programas de incentivo ao desenvolvimento tecnológico (CROUCH, 2008). As políticas públicas têm sido direcionadas para o suporte ao desenvolvimento tecnológico e ao processo de consolidação das estruturas produtivas. Os principais instrumentos de política pública utilizados para atender a esses dois objetivos são: poder de compra do Estado; instrumentos de suporte às atividades de P&D; incentivo à constituição e fortalecimento dos grandes conglomerados A&D; e apoio às exportações.

Terceiro, a estrutura de mercado do sistema produtivo A&D, em cada um de seus segmentos, é marcada por muito poucos concorrentes. Cada *player* se posiciona

(inclusive criando alianças técnicas/comerciais/estratégicas) para ter capacidade de negociação e influência sobre os demais (fornecedores, clientes e relativamente aos concorrentes), de modo a capturar valores e taxas de retorno para viabilizar investimentos em gerações futuras de produtos/serviços. Isso é ainda mais relevante pelas características intrínsecas da atividade: forte regulação, investimentos constantes, principalmente em inovação, ritmo acelerado de progresso técnico e incerteza tecnológica, alta qualificação técnica. Desse modo, o sistema produtivo A&D não comporta um número grande de *players*, não apenas por lidar com aspectos estratégicos para os países, mas também a partir de uma perspectiva econômico-financeira de negócio.

### 1.2.1 Setor aeronáutico

O Quadro 3 apresenta de forma resumida a estrutura de mercado existente em cada um dos segmentos e subsegmentos que compõem o setor aeronáutico, apontando as empresas líderes e evidenciando as principais tendências de mercado em âmbito global. A seguir, apresentam-se as principais características de cada um desses segmentos.

**Quadro 3 – Setor aeronáutico: estrutura de mercado, principais empresas e tendências por segmento e subsegmento**

Segmentos	Subsegmentos	Estruturas de Mercado	Empresas Líderes	Tendências
Comerciais	Grandes	Duopólio	Boeing e Airbus	Entrada da China
	Médios	Duopólio de fato	Embraer e Bombardier	(Airbus + Bombardier) e novos concorrentes
	Turboélices	Mercado estagnado e duopólio	ATR e Bombardier	Novos projetos (novos entrantes)
Executivos	Jatos	Oligopólio concentrado	Bombardier, Gulfstream e Dassault	Manutenção dos atores
	Aviões leves	Pulverizada em médias empresas	Cirrus, Grob e Cessna	Avanço dos países emergentes
Militares	Combate	Alta concentração e fronteira tecnológica	Lockheed Martin	Entrada da Rússia e China
	Treinamento	Alianças estratégicas	Boeing + Saab, Lockheed + KAI, UAC + Leonardo	Pacotes completos de treinamento
	Transporte e reabastecimento	Concentrado: Mercado estável (reposição)	Airbus, UAC e Antonov	Novos projetos (novos entrantes)
	Vigilância e inteligência	OEMs e integradoras de sistemas	Boeing, Airbus, Raytheon e IAI	Redução de custos e expansão do mercado
Helicópteros	Helicópteros	Altamente concentrado	Airbus, Sikorsky, Leonardo e Russian Helicopter	Maior concentração (F&A)
VANTs	VANTs	Estrutura pouco consolidada e elevado crescimento	General Atomics e DJI	Consolidação e avanço da China

Fonte: Elaboração própria.

### 1.2.1.1 Aviões comerciais

A competição neste segmento dá-se com base nas inovações introduzidas nas aeronaves, principalmente as tecnologias que possibilitam: a) redução de custos operacionais, como combustíveis e manutenção; b) maior disponibilidade de aeronaves; c) maior conforto para os passageiros; e d) maior segurança para o voo. Os elevados investimentos na geração, na integração e na certificação dessas inovações, somados com as grandes escalas produtivas e financeiras necessárias para operar em dimensão global, resultam em importantes barreiras à entrada, reforçadas pela exigência de confiabilidade das aeronaves e dos fabricantes, que somente pode ser conquistada ao longo do tempo. Destaca-se o caráter estratégico desse segmento, um dos principais setores de alta tecnologia da indústria mundial.

As aeronaves comerciais podem ser jatos ou aviões turboélices. Entre os jatos, na categoria dos grandes aviões, há um duopólio entre a Boeing e a Airbus. Já na categoria de aviões médios, a Embraer e a Bombardier concentram a produção, sendo que esta última teve o controle do seu principal programa de aeronave comercial, o C-Series<sup>4</sup>, adquirido pela Airbus, no final de 2017. Nesse segmento também se observam dois novos atores: em 2011 entrou a russa Sukhoi, com o modelo SSJ-100, e em 2016, a chinesa Comac, com o jato ARJ-21.

O mercado de aviões turboélices apresentou uma pequena diminuição nos últimos anos, pois a queda do preço dos combustíveis provocou a transferência de parte da demanda para os jatos comerciais. A empresa europeia ATR<sup>5</sup> e a canadense Bombardier atuam praticamente em condições de duopólio na produção de grandes aviões turboélices na categoria de 45 a 90 assentos. No entanto, desde 2012 observa-se uma expansão da ATR, que passou a responder por cerca de 70% das vendas e uma consequente redução da participação da empresa canadense. A produção de ambas está concentrada em duas famílias de aeronaves tecnologicamente defasadas e não há sinais de que serão lançados novos modelos ou mesmo versões inovadoras dos modelos atuais (FLIGHT GLOBAL, 2017). A maior novidade é a entrada da chinesa Avic, com o modelo Xian MA700, voltado para o mercado local e que também não incorpora significativas inovações tecnológicas.

### 1.2.1.2 Aviões executivos

Nesse segmento existe um número maior de empresas concorrentes por categoria, particularmente no subsegmento de aviões leves. Os aviões executivos são fabricados quase que unitariamente para seus clientes, de forma que a exclusividades e o conforto, aliados à tradição da marca, se tornam fatores competitivos fundamentais,

4. Em outubro de 2017, a Bombardier anunciou a venda da participação maioritária (50,01%) no programa C-Series para a Airbus. No entanto, a Bombardier permanecerá com 31% do programa e o governo de Quebec com 19% (Oliveira, 2017).

5. A ATR é uma *joint venture* entre dois grandes conglomerados aeroespaciais europeus, a Airbus e a Leonardo.

principalmente para os modelos mais sofisticados. Além disso, as fabricantes precisam estabelecer uma rede de suporte e assistência técnica em escala mundial, pois a quase totalidade dos seus operadores, por serem quase sempre individuais, não possuem estrutura própria de manutenção.

As aeronaves executivas dividem-se em jatos e aviões leves. O mercado de jatos executivos apresenta uma elevada volatilidade, dado que depende de aquisições individuais. A crise econômica de 2008 levou a uma significativa retração desse mercado, que passou de 1.154 unidades entregues naquele ano para um patamar de 700 nos anos seguintes (EMBRAER DAY, 2017). Na última década, as vendas estiveram em torno de US\$ 20 bilhões ao ano, mas com a retomada do crescimento econômico mundial há uma expectativa de expansão para US\$ 29 bilhões ao ano nos próximos cinco anos. O mercado norte-americano, que vinha respondendo por mais da metade da demanda mundial, atingiu a participação de 66% em 2016, em grande parte devido ao recuo dos mercados emergentes (PELLEGRINI e AMALFITANO, 2017; AWIN, [s.d.]).

Esse segmento está dividido entre cinco grandes empresas: as categorias que incluem as maiores e mais sofisticadas aeronaves são dominadas pela Bombardier, Gulfstream e Dassault, enquanto as de menor porte são controladas pela Cessna, Bombardier (Learjet) e Embraer, a qual vem avançando para as categorias intermediárias (*mid-sizejets* e *supermid-sizejets*). Em 2016, duas novas empresas entraram na categoria *very light jet*: a estadunidense Cirrus<sup>6</sup>, uma das líderes de mercado de aviões convencionais de pequeno porte, e a Honda Aviation Jet, do grupo japonês Honda, mas sediada nos Estados Unidos. Destacam-se ainda os aviões comerciais de grande porte produzidos pela Boeing, pela Airbus e pela Embraer e adaptados para uso privado.

Uma das mais importantes características desse mercado observada recentemente é a crescente participação de empresas de compartilhamento de propriedade das aeronaves e das que prestam serviços de transporte aéreo executivo<sup>7</sup>.

O segmento dos aviões de pequeno porte é o que apresenta a estrutura de mercado mais pulverizada do setor aeronáutico em âmbito mundial. A baixa sofisticação tecnológica, a pequena importância estratégica e o reduzido volume de capital requerido resultam em menores barreiras à entrada. Conseqüentemente, observam-se tanto a criação de novas empresas quanto um elevado número de operações patrimoniais (fusões e aquisições). Há um significativo número de empresas produtoras e essas podem ser divididas, numa primeira aproximação, em dois grupos: o primeiro, composto pelas fabricantes tradicionais (as estadunidenses Cessna, Beechcraft e Piper Aircraft<sup>8</sup>, a francesa Daher-Socata<sup>9</sup>, a suíça Pilatus Aircraft, a italiana Piaggio Aeros-

6. Em 2011, a Cirrus foi vendida por US\$ 210 milhões para a China Aviation Industry General Aircraft (Caiga), subsidiária da Aviation Industry Corporation (Avic).

7. As empresas vêm oferecendo serviços de transporte aéreo executivo que podem ser pagos por viagem, por hora ou por assento. Com relação à periodicidade, pode ser anual, mensal ou um serviço específico.

8. Em 2011, a Piper Aircraft foi adquirida pelo Ministério das Finanças de Brunei.

9. *Joint venture* entre o grupo francês Daher (70%) e a Airbus (30%).



pace<sup>10</sup>, a australiana Gipps Aero<sup>11</sup> e a neozelandesa Pacific Aerospace); o segundo, formado por empresas mais novas, com projetos inovadores baseados em maior utilização de materiais compostos (as estadunidenses Cirrus e Quest Aircraft<sup>12</sup>, a canadense-austríaca Diamond Aircraft<sup>13</sup> e as alemãs Grob Aircraft e Aquila Aviation).

### 1.2.1.3 Aviões militares

Os aviões militares são divididos nas categorias: aviões de combate, de treinamento militar, de transporte militar e abastecimento aéreo, de vigilância e inteligência. A primeira delas, **aviões de combate**, necessita apresentar um desempenho equivalente ou superior aos dos seus reais ou potenciais oponentes; assim, a competição nesse mercado é determinada por fatores estratégicos. O padrão de concorrência baseia-se na contínua incorporação de inovações tecnológicas, e essa dinâmica da inovação posiciona os aviões de caça na fronteira da trajetória tecnológica (FERREIRA, 2009).

Nos anos 2000, os grandes produtores de aviões de combate – Estados Unidos e Rússia – concentraram 76% das vendas internacionais (SIPRI, 2010), sendo não apenas os maiores exportadores, mas também os maiores consumidores. Sua estrutura de mercado é concentrada, em razão dos notáveis desafios tecnológicos relacionados ao desenvolvimento das novas aeronaves e seus respectivos custos. A empresa líder atual é a estadunidense Lockheed Martin, a única fabricante de aviões de caça de quinta geração. Entretanto, a Rússia e a China em breve estarão iniciando a produção de aviões de caça de quinta geração (GADY, 2015; CHAN, 2017).

O mercado de **aviões de treinamento avançado** movimenta menos de US\$ 1 bilhão ao ano, mas tem um crescimento esperado para US\$ 2 bilhões anuais entre 2016-2020 e 2,9 bilhões ao ano entre 2021-2025 (G2 SOLUTIONS, 2011). A estrutura de mercado está concentrada em alianças estratégicas constituídas para o desenvolvimento de projetos específicos:

- O T-50 Golden Eagle, desenvolvido pela Korea Aerospace Industries (KAI) em parceria com a estadunidense Lockheed Martin.
- O T-X, desenvolvido pela Boeing em parceria com a sueca Saab.
- O italiano Aermacchi M-346, do grupo Leonardo, e o russo Yakovlev Yak-130, do grupo UAC, desenvolvidos em conjunto a partir de um mesmo projeto-base.
- O chinês Hongdu L-15 Falcon, desenvolvido pela Avic.

10. Em 2015, a Piaggio Aerospace foi adquirida pela Mubadala Development Company, de propriedade do governo do Emirado de Abu Dhabi, dos Emirados Árabes Unidos.

11. Em 2009, a Mahindra Aerospace Pvt. Ltd. (MAPL), pertencente ao grupo indiano Mahindra, adquiriu uma participação majoritária de 75% no capital da GippsAero.

12. Em 2015, a Quest Aircraft foi adquirida pela Setouchi Holdings, parte do grupo japonês Tsuneishi.

13. Em 2016, 60% do capital da Diamond Aircraft foi vendido para a Wanfeng Aviation, parte do grupo privado chinês Wanfeng Auto Holdings Group Co. Ltd.

Destaca-se a participação da Embraer no segmento de aviões de treinamento avançado com motor turboélice, com o Super Tucano, destacando que este é demandado principalmente como avião de ataque leve, cujo mercado é ocupado quase que exclusivamente pela empresa brasileira.

Diante dos elevados custos operacionais e da crescente sofisticação tecnológica, a tendência é oferecer pacotes completos de treinamento que abranjam as diferentes etapas – inclusive com simuladores – e não apenas a venda de plataformas isoladas. Nesse contexto, somente as empresas que participarem de alianças que ofereçam pacotes completos de soluções em treinamento devem manter uma participação significativa nesse mercado (LEBOULANGER e KIMLA, 2013).

O segmento de **aviões de transporte militar e reabastecimento aéreo** tem apresentado uma demanda relativamente estável, voltada para a reposição das frotas atuais com aviões mais eficientes. Esse mercado movimentou cerca de US\$ 6 bilhões ao ano entre 2009-2011 e recuou para pouco mais de US\$ 5 bilhões nos últimos dois anos, em decorrência do agravamento da crise financeira internacional. No entanto, existe a perspectiva de superar os US\$ 7 bilhões ao ano antes de 2020 (TEAL GROUP, 2013).

A produção das médias e grandes aeronaves de transporte militar<sup>14</sup> esteve concentrada nos Estados Unidos, com a Boeing e a Lockheed Martin; na Rússia, com a Ilyushin (grupo UAC) e na Ucrânia, com a Antonov<sup>15</sup>. Nos últimos anos observou-se a entrada de novos fabricantes, com quatro novos projetos: o A-400M Atlas da Airbus e o C-2 da Kawasaki Heavy Industries (KHI), ambos na categoria 40 toneladas; e, em fase de desenvolvimento final na categoria até 25 toneladas o KC-390 da Embraer, que possui um acordo de comercialização com a Boeing (EMBRAER, [s.d.]), e o Multirole Transport Aircraft (MTA) da indiana HAL, desenvolvido em parceria com a Ilyushin (grupo UAC).

Com relação às aeronaves de transporte militar de pequeno porte, na categoria de 10 toneladas vem se destacando a participação das empresas europeias – Airbus Military (grupo Airbus), Alenia (grupo Leonardo) e Antonov.

Por sua vez, os grandes aviões de reabastecimento em voo (Revo) vêm utilizando plataformas de aeronaves comerciais, seja em projetos novos, como os recém-lançados Boeing KC-46 Pegasus e Airbus A330 MRTT, seja pela adaptação de plataformas comerciais usadas, feita por empresas independentes como a Israel Aerospace Industries (IAI).

A quase totalidade das aeronaves de vigilância e inteligência são adaptações de plataformas comerciais, executivas ou mesmo de transporte militar, em que foram integrados equipamentos e sensores de uso específicos. Nas últimas duas décadas, a incorporação de sistemas embarcados com tecnologias inovadoras vem propiciando

14. De acordo com algumas classificações, as aeronaves de transporte militar de médio porte são as que têm capacidade de transportar acima de 20 toneladas e as de grande porte, acima de 40 toneladas.

15. “A despeito de estar sediada na Ucrânia, os projetos da Antonov ainda continuavam a ser apoiados, tanto técnica quanto financeiramente, pela Rússia. Neste sentido, a recente e grave crise entre Rússia e Ucrânia poderá comprometer a própria sobrevivência da empresa Antonov” (FERREIRA, 2016).

uma significativa redução dos custos e maior eficiência dessas plataformas aeronáuticas, resultando numa crescente ampliação da oferta de aeronaves<sup>16</sup> (AWIN, [s.d.]). De um lado, os grandes demandantes, como Estados Unidos, Rússia e Reino Unido, passam a ter um número maior de capacitações trazidas pelas novas aeronaves. De outro, alguns países emergentes, como Brasil, Índia e Paquistão, passam a ter plataformas mais acessíveis.

A estrutura de mercado é concentrada em dois tipos de empresas: o primeiro é formado pelas grandes fabricantes de aviões, que oferecem versões já adaptadas, como Boeing, Airbus e Embraer, além da russa UAC; um segundo tipo é o das empresas que adquirem as plataformas dos fabricantes, ou mesmo unidades usadas, e realizam o projeto e a integração dos equipamentos e sistemas, como Raytheon, L-3 Crestview Aerospace (L3 Communications), Beriev (UAC) e a israelense IAI.

#### 1.2.1.4 Helicópteros

Em 2012, o mercado de aeronaves de asas rotativas movimentou cerca de US\$ 31 bilhões, com a expectativa de atingir um patamar superior a US\$ 40 bilhões em 2022 (LEBOULANGER, 2012). O mercado militar ainda é predominante, respondendo naquele ano por 72,3% das vendas mundiais. Os mercados comercial e governamental (policiamento e resgate) representaram, respectivamente, 18,5% e 9,2% das vendas mundiais em 2012, mas há uma perspectiva de expansão do segmento governamental, que deve atingir a participação de 13,8% em 2021(LEBOULANGER, 2012).

A estrutura produtiva dessa indústria é caracterizada como um oligopólio concentrado em nível mundial, resultado tanto das especificidades técnicas das aeronaves de asas rotativas quanto de um amplo processo de fusões e aquisições. Mais de 90% da produção mundial está restrita a cinco grandes empresas, sendo duas estadunidenses e três europeias.

As empresas líderes desse segmento fazem parte de grandes conglomerados aeroespaciais, mas preservam sua autonomia operacional, dado que as atividades de desenvolvimento, produção e comercialização são realizadas de maneira independente.

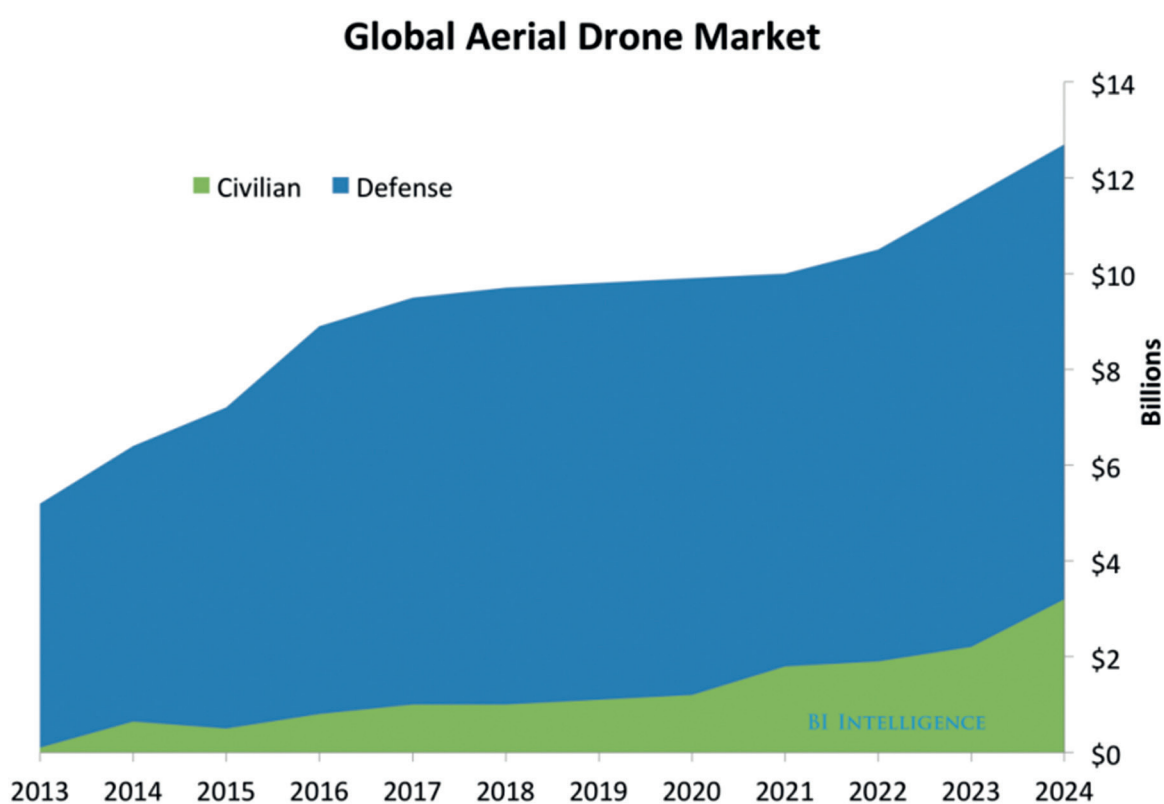
A produção para o segmento militar está concentrada nos Estados Unidos e na Rússia, enquanto as empresas da Europa Ocidental se destacam pela expressiva participação no mercado civil e pela elevada internacionalização de suas estruturas produtivas. Já a participação no mercado mundial de empresas de países fora do eixo Europa-Estados Unidos tem sido muito marginal.

16. O resultado disso é a criação de diversas categorias de aeronaves: busca e salvamento (SAR), patrulha marítima (MPA), antissubmarino (ASW), alerta aéreo antecipado (Awacs), sensoriamento remoto (ISR), guerra e inteligência eletrônica (Elint), inspeção em voo (FIS).

### 1.2.1.5 Veículos aéreos não tripulados (VANT)

Conhecidos como VANT ou drones, esses veículos aéreos têm apresentado uma rápida e ampla difusão. A incorporação de novas tecnologias embarcadas e de projetos inovadores tem diversificado as categorias de VANT para o mercado civil, abrangendo o uso recreativo, atividades de vigilância urbana, monitoramento de grandes áreas, inspeção de linhas de energia e tubulações, além de fotografia aérea. Apesar do grande avanço, o mercado civil responde por menos de 15% das receitas do segmento (BI INTELLIGENCE, 2017).

**Gráfico 2 – Mercado mundial de VANT: expectativa de distribuição da receita entre os segmentos civil e de defesa, 2013/2024 (em US\$ bilhões)**



Fonte: BI Intelligence (2017).

Mais de 50 países estão desenvolvendo cerca de 900 diferentes modelos de VANT, a grande maioria voltada para o desenvolvimento de plataformas muito simples, de baixo custo e reduzido conteúdo tecnológico, sendo muitos de caráter experimental (GAO, 2012).

Quando se analisa a estrutura de oferta pelo volume de recursos desembolsado, verifica-se uma estrutura produtiva altamente concentrada em poucos países, poucas empresas e poucos projetos (FERREIRA, 2016). A oferta mundial está concentrada nos Estados Unidos e em Israel, que em conjunto respondem por mais de 80% das exportações de VANT militares do mundo (SIPRI, [s.d.]). Destaca-se também o extraordinário avanço da China, com um grande número de empresas públicas, privadas, centros

de pesquisa e universidades que vêm desenvolvendo uma ampla variedade de VANT (CHASE *et al.*, 2015). A Europa, por sua vez, está atrasada, e para recuperar essa defasagem prioriza o desenvolvimento de equipamentos militares mais sofisticados, por meio de alianças estratégicas entre suas tradicionais empresas aeroespaciais.

## 1.2.2 Fornecedores

A indústria aeronáutica abrange uma ampla rede de fornecedores, que podem ser classificados em diferentes níveis. A estrutura de mercado dos de primeiro nível, que são os sistemas mais sofisticados fornecidos diretamente para as OEM, é analisada em seus três segmentos, descritos a seguir.

### 1.2.2.1 Motores

Esse segmento vem ganhando importância ainda maior no setor aeronáutico em razão das novas gerações de turbinas destinadas aos médios e grandes aviões comerciais, com destaque para as tecnologias *Geared Turbofan* (GTF), desenvolvida pela Pratt & Whitney<sup>17</sup>, e *Leap*, da CFM International<sup>18</sup>, que possibilitam a redução do ruído e do consumo de combustível e são consideradas as mais importantes inovações da indústria aeronáutica comercial na última década. Como resultado, as receitas do segmento passaram de US\$ 51,3 bilhões em 2011 para US\$ 67,6 bilhões em 2015, uma expansão de 32% em cinco anos (DELOITTE, 2016).

Sua estrutura produtiva é bastante estratificada. Na primeira posição estão as três grandes empresas líderes: as estadunidenses General Electric Aviation e Pratt & Whitney (grupo United Technologies Corp.) e a britânica Rolls-Royce. Em 2015, essas empresas faturaram US\$ 24,6 bilhões, US\$ 15,1 bilhões e US\$ 13,7 bilhões, respectivamente, situando-se entre as 13 maiores companhias do sistema produtivo A&D mundial. Em posição intermediária, estão a norte-americana Honeywell Engines e a francesa Safran Aircraft Engines. Já na terceira posição se encontram as empresas criadas para atender aos respectivos mercados nacionais, particularmente no segmento de defesa, que também atuam como fornecedoras de componentes e subsistemas de elevada complexidade tecnológica: MTU (Alemanha), IHI (Japão), Saturn (Rússia), Aviadvigatel (Rússia), Avic Commercial Aircraft Engine Company – Acae (China), GKN Aerospace Engine Systems (Reino Unido) e Williams International<sup>19</sup> (Estados Unidos).

As empresas líderes têm estabelecido alianças estratégicas entre si ou com as da segunda ou terceira posições, em forma de consórcios ou *joint ventures*, para o

17. A tecnologia *Geared Turbofan* (GTF), desenvolvida pela Pratt & Whitney e utilizada nos motores PW 1000G, consiste na incorporação de um sistema de engrenagem que permite diferenciar a velocidade de rotação do *fan* (ventilador) e do compressor (PRATT e WHITNEY, [s.d.]).

18. As inovações introduzidas pela turbina *Leading Edge Aviation Propulsion* (Leap) estão concentradas nos novos materiais, com destaque para o uso de compósitos de matriz de cerâmica (CMC). Além disso, essa turbina tem alguns dos primeiros componentes impressos em 3D aprovados pela FAA (CFM INTERNATIONAL, [s.d.]).

19. Fabricante de turbinas de pequeno porte para pequenos aviões executivos e mísseis de cruzeiro.

desenvolvimento e a fabricação da maioria dos novos modelos de turbina. Dentre essas alianças estratégicas, destacam-se as seguintes: CFM International (GE e Safran), Engines Alliance (GE e Pratt & Whitney), International Aero Engines (Rolls-Royce, Pratt & Whitney, MTU, Japanese Aero Engine Corporation) e PowerJet (Safran e Saturn). Já o mercado de pequenos motores convencionais está dividido entre as firmas estadunidenses Lycoming (grupo Textron) e Continental, e a austríaca Rotax.

### *1.2.2.2 Sistemas aeronáuticos embarcados e interiores*

A crescente sofisticação dos sistemas aeronáuticos, particularmente os centrados nas TIC e em conjunto com as elevadas economias de escala e escopo, fazem com que esse segmento apresente um alto grau de concentração, havendo poucos e grandes fornecedores em escala mundial para cada categoria.

O segmento de controles de voo (aviônicos) vem apresentando uma grande expansão ao longo dos anos por conta da crescente incorporação das inovações vindas das TIC. Três empresas destacam-se: as estadunidenses Honeyweel Aerospace e Collins Aerospace Systems (grupo UTC) e a francesa Thales. No entanto, observa-se a entrada crescente de novos participantes em nichos de mercados, como as estadunidenses Esterline Technologies e L-3 Communications (militar), a suíça Garmin (aviação geral) e a israelense Elbit Systems (militar).

Quanto aos outros sistemas embarcados, nota-se que os sistemas hidráulicos e pneumáticos estão sendo substituídos por sistemas eletrônicos, de maneira que as empresas que atuam nessa última categoria vêm ampliando sua participação de mercado. Atualmente esse segmento é liderado pelas estadunidenses UTC Aerospace Systems, Parker Hannifin Aerospace e Eaton Aerospace e pela alemã Liebherr.

O segmento de trens de pouso passou por um amplo processo de consolidação. Atualmente as principais fabricantes são as estadunidenses UTC Aerospace Systems e Circor Aerospace, a francesa Safran Landing Systems, a alemã Liebherr e a canadense Heroux-Devtek.

Já o segmento voltado para o interior das aeronaves não sofreu grandes alterações, sendo que atualmente as firmas B/E Aerospace (Estados Unidos), Zodiac Aerospace (França) e Diehl Stiftung (Alemanha) controlam mais de 70% do mercado mundial (FMI, 2016).

### *1.2.2.3 Aeroestruturas*

Os grandes fabricantes de aeronaves transferiram para seus fornecedores uma parcela significativa da produção de aeroestruturas, inclusive estruturas críticas, como asas e seções completas da fuselagem. Em razão disso, as receitas desse segmento passaram de US\$ 24,7 bilhões em 2011 para US\$ 32,7 bilhões em 2015, um crescimento de 33%

em apenas cinco anos, o maior dentre os segmentos que compõem a indústria aeronáutica (DELOITTE, 2016).

Esse processo permitiu o robustecimento dos fornecedores tradicionais e a entrada de novos atores, alguns deles subsidiárias ou *spin-offs* de grupos aeronáuticos. Destacam-se as estadunidenses Spirit Aero Systems e GKN Aerospace, a europeia Stelia (grupo Airbus), a italiana Alenia (grupo Leonardo) e a francesa Latécoère. Numa posição secundária, encontram-se a espanhola Aernnova e a belga Sonaca. Essa expansão também possibilitou que tivessem uma participação significativa fornecedores fora do eixo Atlântico Norte – América do Norte e Europa Ocidental –, como as japonesas Mitsubishi, Kawasaki e Fuji. Cabe destacar ainda que o segmento vem sofrendo grandes mudanças em função da crescente utilização de compósitos em vez de componentes metálicos.

Os fornecedores de segundo e terceiro níveis têm um elevado grau de dependência das empresas contratantes, sejam estas fabricantes de aeronaves, sejam fornecedoras de primeiro nível. As firmas subcontratadas, particularmente as de terceiro nível (fornecedoras de materiais semiacabados, peças fundidas e usinadas e componentes em geral), apresentam pequena escala produtiva e baixo grau de internacionalização. Já as principais matérias-primas utilizadas na indústria aeronáutica estão concentradas em grandes grupos econômicos de outros setores produtivos, como Alcoa (Estados Unidos), que fornece alumínio aeronáutico, e Hexcel (Estados Unidos) e Toray (Japão), fornecedoras de compósitos.

### 1.2.3 Demais setores A&D

#### 1.2.3.1 Setor de sistemas e sensores

As grandes empresas integradoras – contratadas para desenhar todo o sistema e realizar sua integração sob um comando, controle e inteligência unificados – têm a responsabilidade de comandar uma ampla e diversificada cadeia de fornecedores, buscando aproveitar a somatória de capacidades e promover as oportunidades de sinergia. Na maioria dos casos, essas empresas também acumulam as funções de produtoras de *softwares* e alguns sensores estratégicos para a integração dos respectivos sistemas de sistemas. Como resultado, as empresas líderes buscam ofertar soluções prontas e integradas (*turn-key*).

A estrutura do mercado está concentrada nos grandes conglomerados A&D, pois a quantidade e a diversidade de sistemas, sensores e componentes que precisam ser integrados em uma arquitetura unificada demanda um elevado nível de competência técnica e mercadológica. Dessa maneira, as empresas integradoras precisam ter domínio da complexidade e da transversalidade dos conhecimentos e das tecnologias envolvidas na integração dos sistemas, necessitando, por isso, de uma ampla escala produtiva, comercial e financeira. Conforme apresentado no Quadro 2, 16 dos 20 maiores conglomerados A&D atuam no setor de sistemas e sensores.

### 1.2.3.2 Setor de armas aéreas

A estrutura de mercado do setor de mísseis está consolidada num pequeno número de grandes empresas, que apresentam elevada proximidade com os fabricantes de plataformas, particularmente as fabricantes de aeronaves, visto que os mísseis são oferecidos em pacotes completos de sistemas de armas. Os fabricantes fazem parte, ou possuem alianças estratégicas, com os grandes conglomerados A&D. As duas maiores empresas do setor são as estadunidenses Raytheon e Lockheed Martin, seguidas da europeia MBDA. Essa última vem perdendo posições para as empresas russas Tactical Missiles Corporation (KTRV) e Mashinostroyeniya, e para as chinesas China Aerospace Science and Technology Corporation (Casc) e China Precision Machinery Import-Export Corporation (CPMIEC).

### 1.2.3.3. Setor espacial

Esse setor agrega uma vasta rede de instituições públicas e empresas, envolvendo produtos e serviços com aplicações em diferentes campos, desde a transmissão de dados, previsões meteorológicas e controle de tráfego aéreo até a defesa nacional (MATOS, 2016). A presença do Estado é fundamental para o desenvolvimento e a competitividade da indústria espacial, com incentivo à demanda por meio de financiamento público, proteção seletiva e apoio a segmentos de mercado, e fornecimento de praticamente todos os recursos e a infraestrutura necessários ao desenvolvimento tecnológico.

Sua estrutura de mercado é hierarquizada e orquestrada. No vértice superior encontram-se as agências espaciais, que implementam as políticas públicas e coordenam o setor. Abaixo estão as grandes empresas integradoras, que realizam o desenvolvimento e a manufatura dos satélites e veículos lançadores, em muitos casos em parceria com as agências espaciais. Na base, encontra-se um amplo conjunto de empresas de alta tecnologia, que fornecem os sistemas, os componentes e as partes utilizadas nas plataformas espaciais. O mercado concentra-se nas grandes empresas dos Estados Unidos, da Europa e da Rússia, observando-se uma crescente participação das empresas chinesas e japonesas.

No segmento de produtor de satélites, as principais fabricantes são as europeias Thales Alenia Space e Airbus, as estadunidenses Space Systems Loral, Boeing, Lockheed Martin e Orbital ATK, a russa ISS Reshetnev, a chinesa China Aerospace Science and Technology Corporation (Casc) e a japonesa MHI. Com relação ao segmento de veículos de lançamento, os principais competidores mundiais são a estadunidense United Launch Alliance, a europeia Arianespace, as russas Khrunichev e TsSKB-Progress, a chinesa CALT e a japonesa MHI.

Por fim, cabe ressaltar o avanço de grandes empreendimentos espaciais com financiamento privados, denominados NewSpace. Apesar da grande diversidade de

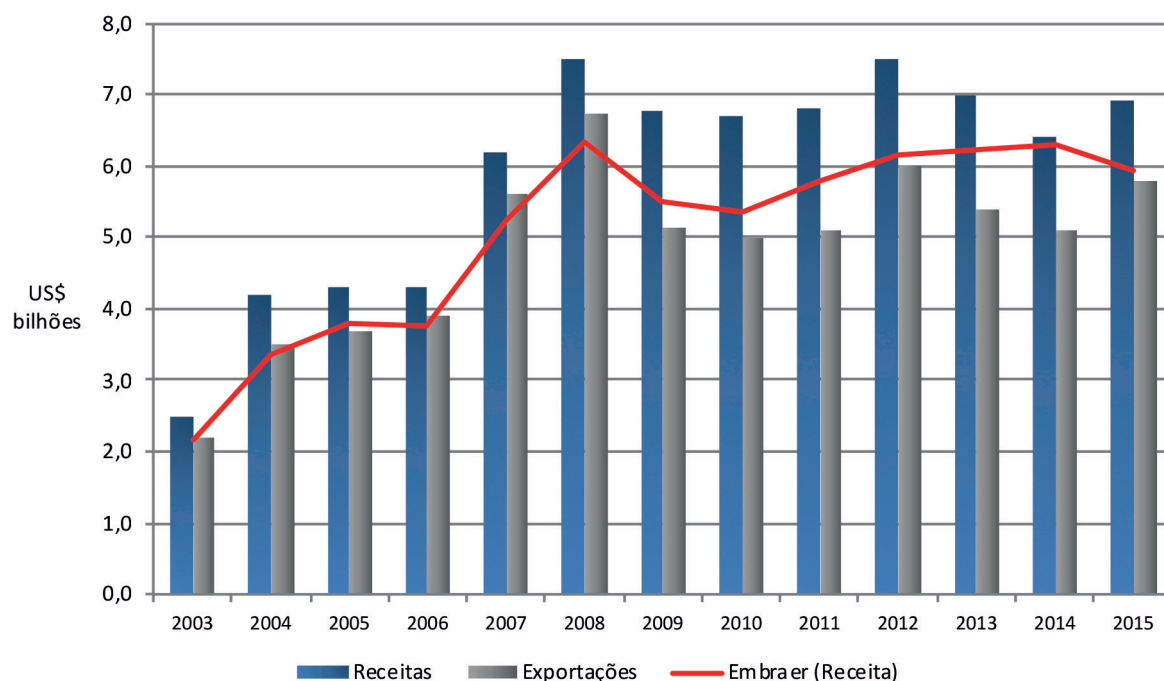


projetos, caracterizam-se por serem iniciativas privadas – em geral, comandadas por grandes bilionários – que visam a introdução de projetos ou serviços inovadores, com significativa autonomia em relação aos programas governamentais e aos tradicionais conglomerados A&D. As principais empresas são as estadunidenses Space X, Bigelow Aerospace e Virgin Galactic, com destaque para a primeira que lançou, em 2018, o veículo de lançamento orbital com maior capacidade da história, o FalconHeavy, além de ser o primeiro a usar foguetes reutilizáveis.

### 1.3 Panorama brasileiro

Entre 2003 e 2015, o sistema produtivo A&D brasileiro passou por uma notável expansão: sua receita saiu de US\$ 2,5 bilhões em 2003 para atingir o ápice de US\$ 7,5 bilhões em 2008. Nesse período, 82,7% das receitas foram obtidas por meio de exportações, o que evidencia o alto valor agregado e a inserção internacional ativa do sistema produtivo, especialmente se comparada com o restante da indústria nacional de transformação.

**Gráfico 3 – Sistema produtivo A&D brasileiro: evolução das receitas e das exportações das companhias associadas à AIAB, com ênfase na Embraer (receitas), 2003/2015 (em US\$ bilhões)**

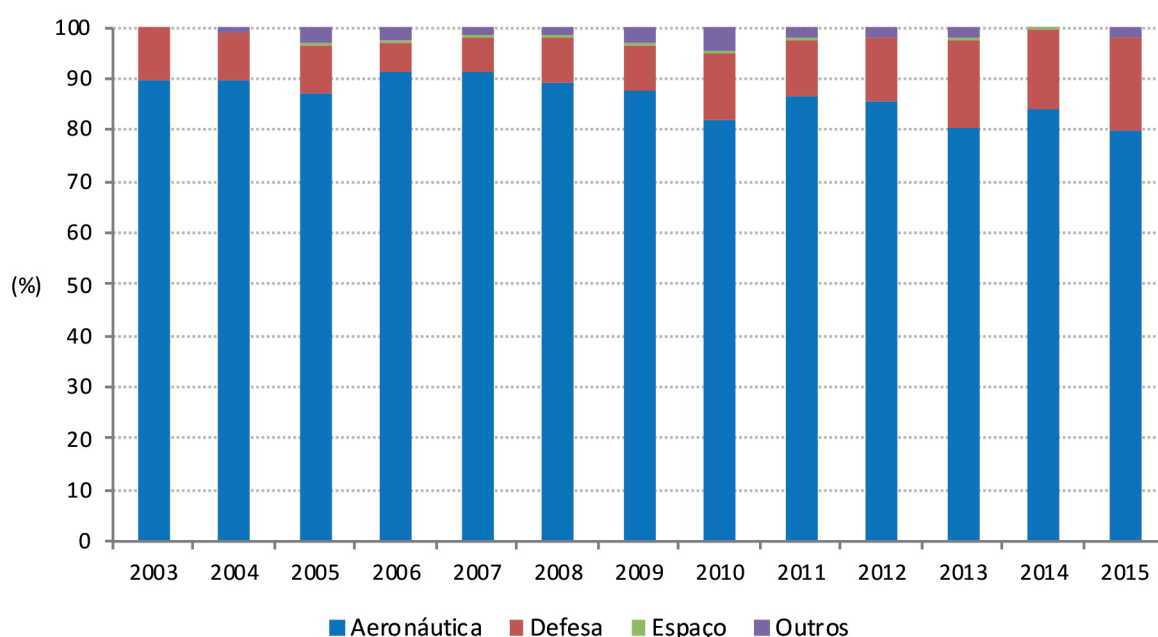


Fonte: Elaboração própria com base em dados da AIAB ([s.d.]) e da Embraer ([s.d.]).

Esse crescimento foi propiciado pela expansão da demanda de aeronaves comerciais, particularmente com a entrada em operação, em 2004, da família de aviões E-Jets, da Embraer. Secundariamente, também se verificou uma ofensiva da Embraer no

mercado de aeronaves executivas, com o lançamento dos novos e modernos modelos da família de jatos executivos Phenom, o que explica a elevada participação do setor aeronáutico na receita total do sistema produtivo A&D brasileiro, na ordem de 90% até 2008. Desde então, a indústria aeronáutica manteve sua posição preponderante no sistema produtivo A&D brasileiro. Porém, sua participação nas receitas caiu para cerca de 80%, devido à crise econômica internacional de 2008, que afetou o mercado mundial de aeronaves e, consequentemente, o brasileiro, dada sua orientação exportadora.

**Gráfico 4 – Sistema produtivo A&D brasileiro: evolução das receitas das companhias associadas à AIAB por setor, 2003/2015 (em %)**



Fonte: Elaboração própria com base em dados da AIAB ([s.d.]) e da Embraer ([s.d.]).

Nesse período também houve uma gradual e contínua expansão do setor de defesa, cuja participação passou de 10% para 18% da receita total do sistema produtivo A&D, em função dos investimentos realizados pelo Ministério da Defesa, particularmente pela Força Aérea Brasileira (FAB). Ela foi responsável por implementar diversos projetos estratégicos de grande porte, voltados para a aquisição dos mais variados tipos de aeronaves militares, armas aéreas e a implantação de sistemas de C2I, sendo uma parcela significativa dessa demanda destinada às empresas brasileiras. Já a participação do setor espacial nas receitas se manteve insignificante ao longo do período.

A principal característica da estrutura produtiva nacional é o fato de estar concentrada em uma única empresa, a Embraer, que evoluiu de empresa aeronáutica para conglomerado aeroespacial e de defesa, seguindo a estratégia das principais empresas mundiais. Como resultado, a Embraer lidera três dos quatro setores, sendo a única empresa brasileira a atuar nos principais segmentos desse sistema produtivo: aeronaves

comerciais, executivas, militares e sistemas de comando, controle e inteligência (C2I), radares e *prime contractor* (contratante principal) do programa de satélites geoestacionários. No segmento de VANT, a Embraer constituiu uma *joint venture*, a Harpia, que foi encerrada por falta de demanda das Forças Armadas brasileiras, podendo vir a ser retomado o projeto, caso surja interesse. A Embraer não atua somente no setor de armas aéreas, mas sim no segmento de helicópteros. Sua posição hegemônica é reforçada pela inexistência de outra grande empresa integradora no Brasil – as que existem atuam em nichos específicos de mercado, como a Avibras, em armas aéreas, e a Helibras, em helicópteros. Além disso, a cadeia produtiva A&D brasileira é muito restrita, formada majoritariamente por fornecedores de segundo e terceiro níveis, altamente dependentes da Embraer.

### 1.3.1 Setor aeronáutico brasileiro

No período de 2007 a 2014, o número de empresas do setor (com 30 funcionários ou mais) aumentou em 67%, um crescimento acima do observado no total da indústria brasileira. O crescimento decorreu, em grande parte, do aumento do porte de algumas pequenas empresas, que ampliaram suas estruturas produtivas e contrataram mais funcionários. Apesar disso, a participação das empresas do setor aeronáutico no total da indústria de transformação foi relativamente pequena, oscilando entre 0,06% e 0,08% em razão do pequeno número de empresas, particularmente de médio e grande porte, que integram o setor. No mesmo período, houve uma redução de 4% do pessoal ocupado no setor: o porte médio das empresas reduziu-se de 1.231 empregados por empresa em 2007 para 709 em 2014. Em resumo, o período foi marcado pela diminuição do número de funcionários das grandes empresas decorrentes da crise de 2008 e a entrada de novas empresas de pequeno porte na amostra.

**Tabela 3 – Setor aeronáutico brasileiro\*: empresas, pessoal ocupado e porte médio, 2007-2014 (em %)**

Anos	Empresas			Pessoal Ocupado (PO)			Porte Médio (PO/Empresas)	
	Aeronáutica	Total da Indústria	%	Aeronáutica	Total da Indústria	%	Aeronáutica	Total da Indústria
2007	18	32.188	0,06	22.165	5.534.452	0,40	1231	172
2008	21	34.554	0,06	23.651	5.764.319	0,41	1126	167
2009	26	35.421	0,07	19.186	5.801.561	0,33	738	164
2010	27	35.768	0,08	20.428	6.208.722	0,33	757	174
2011	26	38.278	0,07	20.405	6.445.905	0,32	785	168
2012	28	38.633	0,07	19.979	6.616.200	0,30	713	171
2013	27	37.655	0,07	21.124	6.701.085	0,32	782	178
2014	30	38.118	0,08	21.278	6.566.525	0,32	709	172
$\Delta$ (%)	66,6	18,4		-4,0	18,6		-42,4	0,2

Nota: (\*) Empresas com 30 funcionários ou mais.  
Fonte: Elaboração própria com base em dados da RAIS.

Ainda nesse período, a receita líquida de vendas do setor aeronáutico teve uma retração de 9,4%, na contramão do conjunto da indústria de transformação brasileira, que teve um aumento de 24,4%. Como resultado, houve uma queda na participação do setor na receita líquida de vendas total da indústria brasileira de 0,7% em 2007 para 0,5% em 2014. Essa queda é explicada, fundamentalmente, pela crise econômica internacional de 2008, que afetou o mercado mundial de aeronaves e, conseqüentemente, o setor aeronáutico brasileiro.

**Tabela 4 – Setor aeronáutico brasileiro\*: Receita Líquida de Vendas (RLV) e tamanho médio das empresas, 2007-2014 (em R\$ milhões\*\* e %)**

Anos	Receita Líquida de Vendas (milhões R\$ e %)			Tamanho Médio das Empresas (RLV/Empresas)	
	Aeronáutica	Total da Indústria	%	Aeronáutica	Total da Indústria
2007	15.577	2.268.161	0,69	865	70
2008	17.293	2.397.334	0,72	823	69
2009	14.942	2.252.279	0,66	575	64
2010	12.735	2.468.787	0,52	472	69
2011	12.319	2.586.633	0,48	474	68
2012	14.245	2.717.501	0,52	509	70
2013	14.103	2.816.026	0,50	522	75
2014	14.118	2.822.060	0,50	471	74
$\Delta$ (%)	-9,4	24,4		-45,6	5,1

Notas: (\*) Empresas com 30 funcionários ou mais. (\*\*) Valores constantes de 2016.  
Fonte: Elaboração própria, com base em dados da RAIS.

A produtividade do setor aeronáutico, medida pelo valor bruto da produção industrial (VBPI) sobre o pessoal ocupado (PO), aumentou consideravelmente no período de 2007 a 2014, desempenho bastante acima do observado no conjunto da indústria de transformação. O setor também se distingue em seu grau de agregação de valor, medido pela relação entre o valor da transformação industrial e o valor bruto da produção industrial (VTI/VBPI). No mesmo período, enquanto no setor aeronáutico houve um aumento de 33,2%, a indústria de transformação manteve-se praticamente estagnada. Nota-se, uma vez mais, a natureza das atividades das empresas do setor aeronáutico, mais intensivas em tecnologia, mão de obra qualificada e geração de valor baseada no conhecimento.

**Tabela 5 – Setor aeronáutico brasileiro\*: produtividade e grau de agregação de valor, 2007-2014 (em %)**

Anos	Produtividade (VBPI/PO)		Grau de agregação de Valor (VTI/VBPI) (%)	
	Aeronáutica	Total da Indústria	Aeronáutica	Total da Indústria
2007	236,8	160,9	34,1	41,7
2008	247,5	166,6	33,2	42,4
2009	200,5	152,3	27,8	43,0
2010	231,8	160,8	37,8	43,7
2011	241,2	159,5	41,0	43,7
2012	272,7	158,0	41,9	42,9
2013	278,8	160,5	48,4	42,4
2014	302,6	161,1	45,4	41,8
$\Delta$ (%)	27,8	0,1	33,2	0,3

Nota: (\*) Empresas com 30 funcionários ou mais.  
Fonte: Elaboração própria, com base em dados da RAIS.

O setor produz no Brasil um grande número de plataformas aeronáuticas, que abrange as famílias de aeronaves comerciais de portes variados, além de jatos executivos, aviões de emprego militar e helicópteros, como pode ser observado no Quadro 4. No entanto, sua estrutura é altamente concentrada e segmentada no vértice, dado que todos os aviões são produzidos pela Embraer, enquanto todos os helicópteros são manufaturados pela Helibras – as duas empresas são as OEM brasileiras que realmente produzem aeronaves de maneira regular.

**Quadro 4 – Setor aeronáutico brasileiro: principais plataformas aéreas, 2017**

Segmento de Mercado	Fabricante	Plataforma	Categoria	Ano de introdução
Comercial	Embraer	ERJ (135/145/145X)	35-50 assentos	1997
	Embraer	E-Jets (E 170/E 175/E 190/E 195)	70-118 assentos	2004
	Embraer	E-2 (E2 175/E2 190/E2 195)	80-132 assentos	Em fase de certificação
Executivo	Embraer	Phenom 100E/300	Very Light Jet/ Light Jet (4/6 assentos)	2008
	Embraer	Legacy 450/500	Midsize/Super Midsize (8/12 assentos)	2014
	Embraer	Legacy 600/650	Large Jet (14 assentos)	2002
	Embraer	Linage 1000E	VIP Airline (19 assentos)	2007
Militar	Embraer	EMB 314 Super Tucano	Treinamento militar e Ataque leve	2004
	Embraer	EMB 145 AEW&C / Multi Intel	AEW&C / Sensoreamento remoto	2002
	Embraer	KC-390	Avião de transporte militar	Em fase de certificação
Aviação Geral	Embraer	Ipanema	Avião agrícola	1971
	Novaer Craft	Stardream / Pilgrim	Avião leve / Treinamento militar	Em fase de certificação
Helicópteros	Helibras	HB 350 e HB 355	Helicóptero utilitário leve	1980
	Helibras	EC-725	Helicóptero tático de transporte	2013

Fonte: Elaboração própria com base em informações dos fabricantes de aeronaves.

A última década foi marcada por diversas iniciativas de estudos e projetos voltados para o desenvolvimento de VANT experimentais, que resultaram na constituição de novas empresas brasileiras de pequeno porte que visavam tanto ao mercado civil quanto ao militar. Duas delas se destacam, particularmente na área militar: a Santos Lab e a Flight Technologies. No entanto, as restrições orçamentárias – que impactam tanto nas compras públicas quanto no suporte ao desenvolvimento tecnológico – fazem com que o Brasil perca a oportunidade de se inserir de maneira ativa nesse segmento, dado que é um mercado ainda emergente cuja estrutura produtiva está se consolidando rapidamente.

O restante do setor aeronáutico brasileiro abrange um restrito, mas diversificado conjunto de atividades produtivas. O estudo da estrutura de mercado desse amplo grupo de empresas concentra-se na análise das principais atividades produtivas por elas realizadas.

A competência em **engenharia aeronáutica** foi construída em um longo processo de aprendizagem, inicialmente no CTA e, posteriormente, na própria Embraer. A partir da década de 1990, observou-se um transbordamento dessa competência, com a criação e a gradual expansão de algumas empresas nacionais especializadas em serviços de engenharia aeronáutica, em geral *spin-offs* da Embraer, dentre as quais se destacam: a Akaer, que vem participando de forma ativa da quase totalidade dos projetos aeronáuticos nacionais e de alguns projetos internacionais<sup>20</sup>; a Archo Solutions, que vem apresentando uma grande expansão nos últimos anos; e a Ambra Solutions (FERREIRA e SABBATINI, 2013). Somam-se a estas as unidades de engenharia aeronáutica estabelecidas no Brasil no início da presente década pelas subsidiárias da Aernnova, da Latécoère e da Safran. Os serviços de engenharia oferecidos por essas empresas especializadas, tanto nacionais quanto de capital estrangeiro, abrangem desde complexos projetos estruturais até a programação dos sistemas de automação das máquinas-ferramentas em que são fabricados os componentes e as peças.

O Programa de Expansão da Indústria Aeroespacial Brasileira (Peiab), implementado pela Embraer no início da década de 2000, permitiu aos principais fornecedores de **aeroestruturas** da empresa líder instalar unidades produtivas no Brasil, com destaque para as europeias Aernnova, Sobraer (grupo Sonaca), Latécoère e Alestis.

Inicialmente essas subsidiárias concentravam-se nas etapas finais, mas com o passar dos anos observou-se um robustecimento da estrutura de algumas delas, que passaram a realizar mais etapas produtivas no Brasil. A maioria também passou a destinar uma parte da produção para a exportação. Contudo, as recentes estratégias de reinternalização de uma parcela significativa da produção de aeroestruturas, somada à substituição dos principais fornecedores brasileiros por estrangeiros no

20. A Akaer foi fundada em 1992, como um *spin-off* da Embraer. Foi contratada para elaboração do projeto da fuselagem traseira do avião de caça Gripen NG quatro anos antes de o avião ser selecionado pela FAB, o que demonstra a elevada competência da empresa brasileira. Em razão disso, em 2015, a empresa sueca Saab adquiriu 15% do capital da Akaer, e essa participação chegou a 25% em 2016 (AKAER, [s.d.]).

programa E2, acarretarão a redução das atividades, colocando em risco a manutenção dessas subsidiárias em território nacional.

No segmento de **peças, componentes e estruturas metálicas**, a maior parte das pequenas e médias fornecedoras está concentrada nas atividades relativamente simples da área metalmeccânica, como usinagem, tratamento de superfície, montagem de componentes primários e produção de ferramental. A quase totalidade dessas empresas foi criada por ex-funcionários da Embraer (empresas que poderiam ser consideradas *startups* da época) e a maioria delas concentra suas vendas no setor aeronáutico, operando como subcontratadas das fornecedoras de primeiro nível de aeroestruturas, ou mesmo da empresa líder. Possuem elevada especialização e capacitação em atividades metal-mecânicas, de maneira que seus recursos humanos e materiais estão voltados para atender às demandas de pequena escala e alto valor agregado. Essa elevada especialização resulta em empresas com estruturas produtivas modestas e limitações financeiras significativas. Contudo, observa-se que algumas empresas nacionais, como a Globo Usinagem e a Massucato Ind. e Com., conseguiram construir um diferencial competitivo, centrado em técnicas de gestão modernas e eficientes e em estruturas fabris mais robustas e avançadas.

Além disso, nos últimos anos algumas empresas estrangeiras instalaram unidades produtivas no Brasil, como a Liebherr Aerospace, ou adquiriram participação (geralmente majoritária) em conceituados fornecedores brasileiros. Assim, passaram a ter unidades produtivas no país, como a Thyssen Krupp Autômata e a Magnaghi Friuli Aeroespacial.

A produção de componentes aeronáuticos em **compósitos** tradicionais é bastante restrita no Brasil e está concentrada na fabricação de peças e partes de baixa complexidade tecnológica. A automação da produção é praticamente inexistente e todas as matérias-primas utilizadas nesses processos são importadas. A despeito dessas limitações, duas empresas nacionais de médio porte vêm produzindo peças e componentes aeronáuticos em compósitos, a Inbra Aerospace e a Alltec Materiais Compósitos. Destaca-se também a Plasmatec, na fabricação de peças em acrílico de alta resistência.

Quanto aos **sistemas eletrônicos embarcados**, a indústria aeronáutica brasileira apresenta severas limitações no desenvolvimento e na produção de sistemas baseados nas TIC, em razão das deficiências da estrutura produtiva da indústria de transformação brasileira como um todo. Apesar dessas limitações, a AEL Sistemas, subsidiária do grupo israelense Elbit, vem se destacando ao longo da última década no desenvolvimento e na produção local de sistemas aviônicos de alta complexidade destinados a aeronaves, essencialmente de emprego militar. Nesse mesmo segmento, mas numa posição secundária, encontra-se a brasileira Avionics Services. A empresa nacional Mectron, que atuava no desenvolvimento e na fabricação de radar embarcado e do sistema de comunicações seguras de dados<sup>21</sup>, encerrou suas atividades e todos seus projetos foram colocados à venda.

21. Sistema de comunicação segura por enlace de dados (*datalink*) da FAB, denominado Link BR2 (VINHOLES, 2015).

Embora a maior parte dos **sistemas aeronáuticos embarcados específicos** seja adquirida no mercado internacional, alguns grandes *players* mundiais instalaram unidades produtivas no Brasil, incentivadas pelo Peiab, a fim de atender às demandas da Embraer nas etapas finais de produção, testes, comercialização e assistência. Algumas das principais empresas instaladas no Brasil ao longo das últimas décadas são: Parker Aerospace (sistemas hidráulicos e elétricos, incluindo sensores e atuadores), GKN Aerospace Transparency Systems (vidros) e Zodiac Aerospace (interior)<sup>22</sup>. Destaca-se a brasileira Eleb Equipamentos, subsidiária integral da Embraer, que atua no desenvolvimento e produção de trens de pouso e sistemas hidráulicos.

Quanto aos **sistemas de propulsão**, não se observa a produção de turbinas aeronáuticas no país. Além disso, a produção de peças, componentes e subsistemas para motores aeronáuticos é praticamente inexistente no Brasil, sendo quase todos esses itens importados. No entanto, duas subsidiárias estrangeiras se destacam nos serviços de montagem e manutenção de turbinas de aviões e helicópteros, respectivamente, a GE Celma – segunda maior unidade de manutenção de motores aeronáuticos do grupo GE Aviation – e a Safran Helicopter Engines Brasil. A Polaris, localizada em São José dos Campos, desenvolveu a inovadora miniturbina TJ200<sup>23</sup> para impulsionar os mísseis de cruzeiro terra-terra AV-TM 300 a serem produzidos pela Avibras. Variações dessa turbina podem ser utilizadas no setor aeronáutico para impulsionar VANT e até mesmo aviões leves.

A **manutenção e a modernização de aeronaves** ocupam cerca de 10% das atividades do setor aeronáutico brasileiro (FERREIRA, 2016). A maior parte dos programas de revitalização e modernização de aeronaves, particularmente militares, vem sendo realizado pelas próprias fabricantes, no caso Embraer e Helibras. Dentre as empresas que atuam especificamente nesse setor e que possuem capacitação para realizar amplos projetos de modernização destacam-se a portuguesa TAP M&E<sup>24</sup> e as brasileiras TAM MRO e Digex Aircraft Maintenance.

## 1.3.2 Demais setores A&D brasileiros

### 1.3.2.1 Setor de sistemas e sensores

A Embraer vem ocupando uma posição central no setor, tendo adquirido, em 2011, as duas principais empresas: a Atech e a Bradar (antiga OrbiSat), além de constituir,

22. A maior parte da produção local da Zodiac Aerospace foi transferida para uma *joint venture* constituída com a Embraer e que está localizada no México. Essa nova empresa é a responsável pela fabricação de componentes de interiores da cabine da família E-Jet (EMBRAER, [s.d.]).

23. A turbina TJ200 pesa menos de 10 kg e tem apenas 16 cm de diâmetro, e é capaz de impulsionar um míssil de 500 kg. Num voo de 250 km, consumindo apenas 50 litros de querosene de aviação (GREGO, 2017).

24. A TAP Manutenção & Engenharia S.A. foi constituída em 2005, quando a companhia aérea estatal portuguesa TAP Air Portugal adquiriu as unidades de manutenção da antiga companhia aérea brasileira Varig, localizadas nas cidades do Rio de Janeiro e de Porto Alegre (TAP M&E, [s.d.]).



em 2012, a Savis. A empresa-chave é a Atech Tecnologias Críticas, que vem buscando posicionar-se como a “*System House* brasileira”, participando de praticamente todos os grandes projetos nacionais de sistemas de C2I voltados para os segmentos de tráfego aéreo, defesa e segurança pública, além de ter uma crescente participação no mercado corporativo nas áreas de logística e gestão de ativos. Como resultado, a Atech é uma das poucas empresas do mundo que dominam a tecnologia de projeto e integração de amplos sistemas de controle de tráfego e defesa aérea.

A Savis Tecnologia e Sistemas foi criada pela Embraer para gerenciar a implantação do Sisfron, enquanto a Bradar vem produzindo diversos modelos de radares de vigilância aérea e terrestre, desenvolvidos em parceria com o Centro de Tecnologia do Exército (CTEx), sendo a principal empresa do segmento no Brasil. As empresas brasileiras buscam produzir equipamentos com um grau maior de maturidade tecnológica e, portanto, as inovações observadas nessas empresas são incrementais. Destaca-se ainda a significativa participação das empresas e dos centros de pesquisa do setor TIC no desenvolvimento de *softwares* avançados de comunicação e segurança de dados.

### 1.3.2.2 Setor de armas aéreas

A demanda nacional por mísseis caracteriza-se pela grande variedade, baixo volume e intermitência, fatores que vêm dificultando o desenvolvimento e a produção local desses equipamentos, sendo a maior parte da demanda atendida por importações. Apesar das limitações, a recuperação do orçamento militar a partir de 2006 e as diretrizes estabelecidas pela Estratégia Nacional de Defesa (END) levaram ao lançamento de novos programas visando ao desenvolvimento de novas categorias de mísseis nacionais: míssil ar-ar de quinta geração A-Darter; míssil antinavio nacional de superfície (MAN-SUP, Astros 2020). Esse segmento apresenta uma estrutura de mercado fragmentada, com cada empresa atuando em sistemas ou componentes específicos. A maioria dos programas é realizada por meio de consórcios de empresas, inclusive estrangeiras, e coordenada por cada uma das Forças demandantes, contando com decisivo apoio dos seus respectivos centros de pesquisa<sup>25</sup>. Como resultado, as escalas empresariais são muito pequenas se comparadas com as concorrentes no mercado internacional. Dentre as empresas se destacam: i) a Mectron, que buscava consolidar-se como a *missile-house* brasileira, mas recentemente encerrou suas atividades em razão dos graves problemas jurídico-econômicos de seu controlador, o grupo Odebrecht; e ii) a Avibras, que vem ocupando uma expressiva participação no mercado internacional com o sistema de artilharia por saturação de foguetes Astros II, sendo um importante indutor no desenvolvimento de turbinas aeronáuticas nacionais.

25. O CTA da Aeronáutica, o CTEx do Exército e o IPqM/Casnav/Casop da Marinha.

### 1.3.2.3 Setor espacial

A capacitação desenvolvida pelo setor espacial no Brasil é heterogênea e centrada em atividades específicas, vinculadas aos principais projetos espaciais, particularmente os mais bem-sucedidos. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) são as instituições responsáveis pela execução dos programas industriais, realizando, respectivamente os projetos, a montagem, a integração de sistemas e os testes dos satélites e veículos lançadores. Essas instituições não apenas fazem a maior parte dos investimentos, como comandam as atividades realizadas pelo restante da cadeia produtiva. A participação das empresas privadas está restrita ao fornecimento de subsistemas, componentes e peças encomendadas por essas instituições de pesquisa. Como resultado, as empresas privadas apresentam uma participação bastante reduzida, respondendo por cerca de 20% a 30% do orçamento destinado ao setor espacial brasileiro (FERREIRA, 2010).

A estrutura produtiva das empresas fornecedoras é muito segmentada, pulverizada – refletindo a especialização de cada uma destas – e heterogênea em termos de porte. Essas empresas são especializadas em produtos de mesma base tecnológica, mas possuem pequeno volume de produção, apresentando baixas economias de escalas, mas razoáveis economias de escopo. A quase totalidade opera como laboratórios de P&D altamente especializados em uma determinada tecnologia.

A mudança mais importante na estrutura produtiva do setor teve início em 2012, com a criação da Visona Tecnologia Espacial SA, constituída como *joint venture* entre a Embraer (51%) e a estatal Telebras (49%). Ela foi concebida a partir da iniciativa do Governo Federal de estabelecer uma empresa integradora nacional na indústria espacial que atendesse às demandas públicas, civis e militares. Além disso, em 2016, a Akaer adquiriu a divisão de negócios espaciais e de defesa da Opto Eletrônica e a Equatorial Sistemas, contribuindo para a consolidação do setor.

### 1.3.3 Embraer

A Embraer comanda todo o processo de inovação do setor aeronáutico brasileiro. De acordo com os dados publicados pela empresa, a participação dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) sobre a receita líquida cresceu de 2,8% em 2010 para 6,8% em 2016 (EMBRAER, [s.d.]). A empresa vem avançando na implementação dos conceitos e das tecnologias da manufatura avançada – IA, redes, IoT e PIC – tanto no desenvolvimento de novas aeronaves quanto no de processo produtivo em si.

**Figura 1** – Embraer: caráter transversal das inovações (Indústria 4.0), 2017



Fonte: Zerbini (2017).

De acordo com Mauro Kern, vice-presidente executivo de Operações, “hoje a Embraer possui nível de automação similar ao dos outros grandes fabricantes, o que a posiciona na vanguarda da indústria aeronáutica mundial” (CNI DIGITAL, 2017).

Seu Centro de Realidade Virtual (CRV), um moderno sistema interativo idealizado para auxiliar no desenvolvimento da nova família de jatos, começou a ser implantado no ano 2000, sendo inicialmente utilizado no desenvolvimento da família de aviões comerciais E-Jets. Atualmente, a empresa estadunidense SGI<sup>26</sup> é a responsável pela integração dos equipamentos do CRV. A unidade de supercomputação do sistema processa simultaneamente, e em tempo real, modelos tridimensionais, imagens e gravações em vídeo. Além disso, o CRV dispõe de um capacete visualizador *head-mount display* para imersão total com efeitos estereoscópicos, associado a luvas e sensores de movimento para uma eficaz interface homem-máquina. De acordo com Bordeaux-Rego (2017, p.122), “o investimento na tecnologia de modelagem digital que a Embraer realizou permite um desenvolvimento rápido e de baixo custo, onde inúmeras partes da aeronave são criadas e testadas virtualmente”, sem a necessidade da montagem de réplicas dos vários sistemas para testes. Eventuais falhas e montagens incorretas, por exemplo, podem ser detectadas, corrigidas e eliminadas antes que qualquer peça ou conjunto seja produzido. As principais áreas beneficiadas serão a engenharia, a manufatura e o suporte ao cliente.

26. Conhecida anteriormente como Silicon Graphics Inc.

A Embraer vem buscando agregar serviços aos produtos, em uma estratégia de servitização, isso é, as aeronaves serão ofertadas com um conjunto de serviços para seus clientes. As novas tecnologias, centradas na coleta de informações por meio de sensores e no processamento dessas informações, possibilitam a oferta de uma ampla variedade de serviços, que proporcionam uma otimização na operação com as aeronaves e uma maior flexibilidade para as companhias aéreas. Como afirmou Mauro Kern:

O número de parâmetros medidos a bordo multiplicou por 10 mil do primeiro modelo da Embraer até hoje. O sistema *smart integration* está crescendo muito. Hoje, se uma aeronave apresenta algum problema durante o voo já conseguimos conectar com a equipe em terra e quando o avião pousa a peça já está pronta para ser trocada. (DOMÍNIO FEI, 2016, p.38)

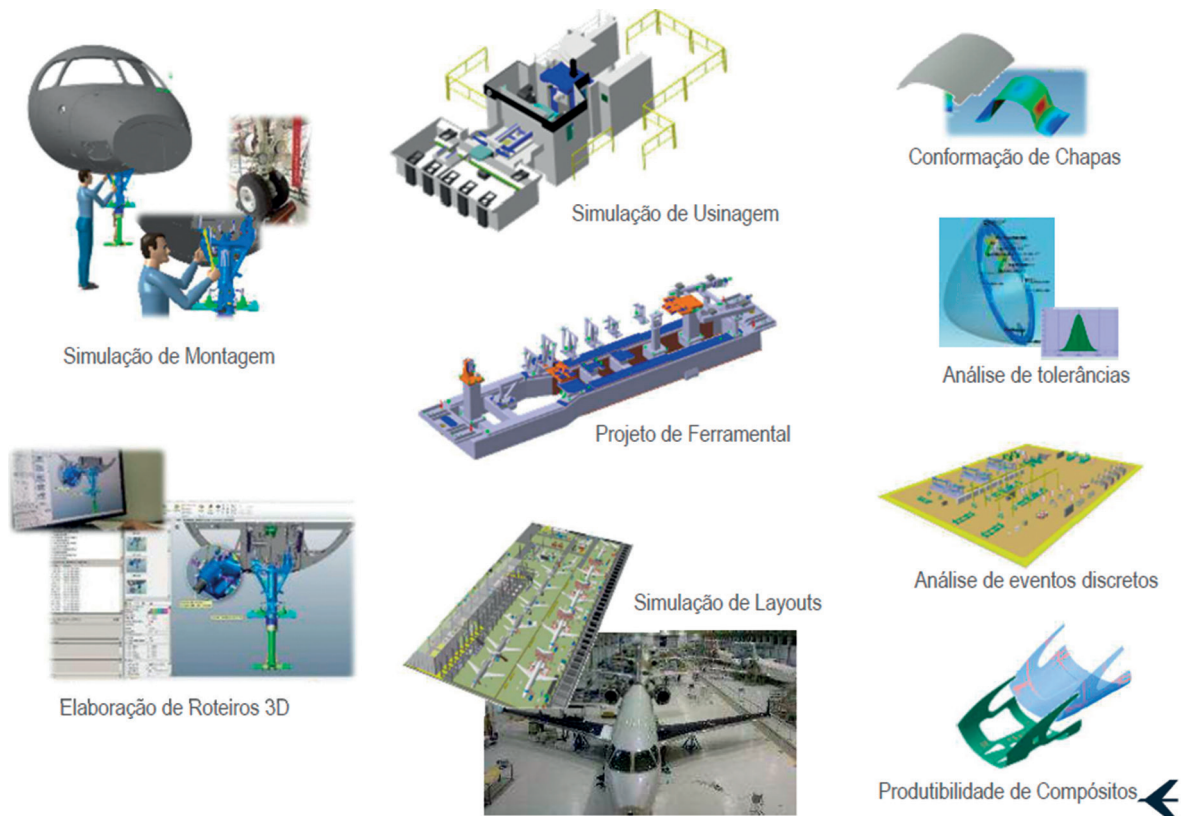
A empresa também vem adotando tecnologias de IA nos processos de manutenção de aeronaves, utilizando tecnologias de aprendizado de máquina (*machine learning*) para automatizar a classificação dos eventos ocorridos na frota. Esse projeto teve apoio da empresa brasileira Algar Tech, que trabalhou em parceria no desenvolvimento da solução.

A iniciativa trouxe ganhos qualitativos e quantitativos na operação de manutenção de aeronaves, bem como reduziu o tempo gasto com processos manuais. Os modelos alcançaram assertividade na previsão da falha de quase 80%, para um contexto com mais de 700 classes a serem previstas. (COMPUTER WORLD, 2014)

Seguindo essa estratégia de servitização, a Embraer inaugurou, em 2015, um novo Centro de Engenharia e Tecnologia, localizado no estado da Flórida, Estados Unidos, com cerca de 200 funcionários e voltado para a customização das aeronaves executivas de acordo com a necessidade dos seus clientes. Ainda seguindo essa estratégia, a empresa reuniu e centralizou, em 2016, as atividades de prestação de serviços aos clientes, transformando-as na sua quarta área de negócios, denominada Embraer Serviços & Suporte. As outras três áreas estão diretamente relacionadas com os produtos finais: aviação comercial, aviação executiva e defesa (EMBRAER, [s.d.]).

As inovações introduzidas no processo produtivo visam a aperfeiçoar a fabricação das aeronaves pela redução de consumos de materiais, insumos e horas de trabalho, resultando na minimização dos erros a praticamente zero. As tecnologias de realidade virtual utilizadas no CRV para desenvolver aeronaves expandiram-se para o processo produtivo, na denominada “simulação de processo, em que a simulação 3D criada na engenharia está disponível até a ponta, isso é, o operador da produção pode acessar o modelo 3D com as instruções de como montar a peça ou o sistema do qual ele é responsável” (CNI DIGITAL, 2017). Nesse sentido, a Embraer vem utilizando sistemas que possibilitam a simulação das atividades produtivas, como usinagem, conformação de chapas e montagem.

**Figura 2 – Embraer: simulação de processo, 2017**

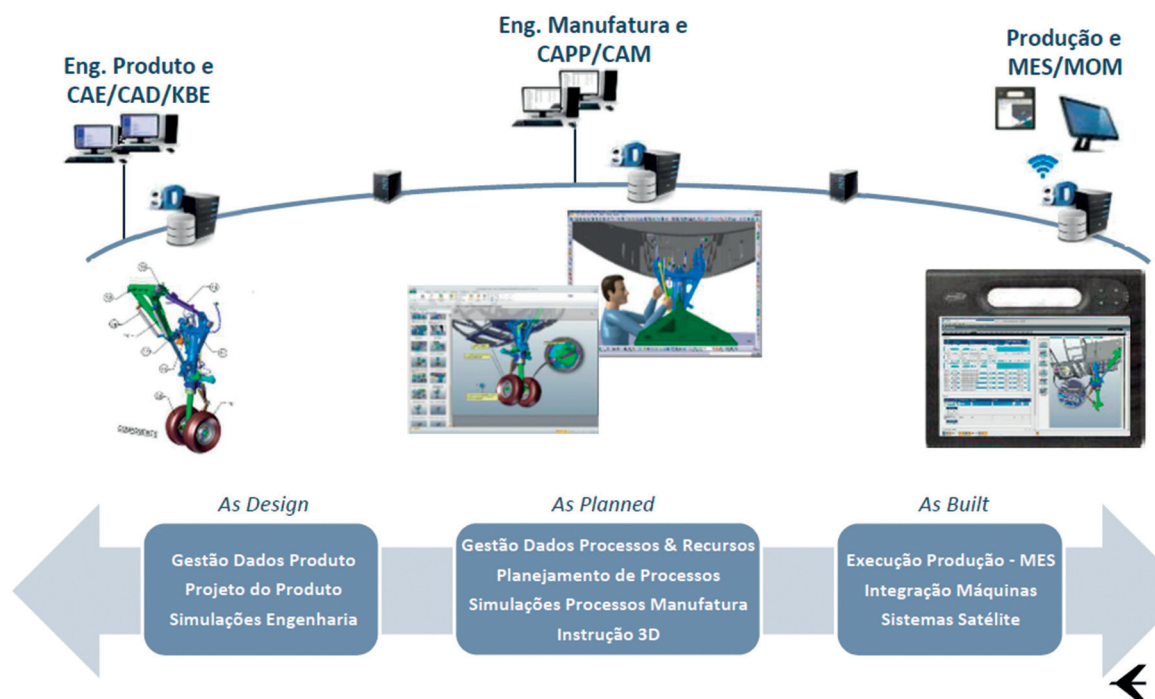


Fonte: Zerbini (2017).

É importante ressaltar que a simulação é apenas uma das faces da digitalização de todo o processo produtivo no plano de implantação da “Fábrica Digital”. Toda a engenharia de produtos, de manufatura e de produção vem sendo digitalizada pela empresa. A ação iniciou-se na engenharia de produtos, com a constituição do “Avião Digital” e no desenvolvimento da família de aeronaves comerciais E-Jets, no início do século XXI, e vem sendo estendida para todo o processo produtivo. Dentre as principais inovações recentemente implantadas na engenharia de produtos, destaca-se a introdução do sistema de conhecimento baseado na engenharia (*knowledge based engineering – KBE*).

Figura 3 – Embraer: esquema da Fábrica Digital, 2017

## FÁBRICA DIGITAL



Fonte: Zerbini (2017).

Ainda seguindo a estratégia de digitalização, desde 2012, com a produção dos jatos executivos Legacy 450 e Legacy 500, a Embraer está implantando o Sistema de Execução de Manufatura (*manufacturing execution system* – MES) que faz com que as informações dos projetos dos aviões, desenvolvidos num ambiente Catia<sup>27</sup>, passem a ser interligadas com a área de manufatura. O MES permite aos profissionais da linha de produção prescindir das instruções em papel (*paperless*) e acessar os modelos 3D e as instruções mais recentes em tempo real, garantindo a precisão do produto final e do conjunto de instruções. Antônio Carmesini, diretor de Engenharia de Manufatura da Embraer, afirma que anteriormente eram necessários de 80 mil a 100 mil desenhos para a construção de um avião de grande porte, os quais eram manuseados na produção. Segundo ele, além de reduzir custos, há uma precisão maior da leitura com a digitalização, já que os desenhos são em 3D, e não mais em 2D como no papel, possibilitando ajustes em tempo real nos desenhos que estão na fábrica (BORDEAUX-REGO, 2017).

Além dessa rede corporativa voltada diretamente para o processo produtivo, a Embraer iniciou a implantação, no mesmo período, de uma ampla rede de comunicação aberta, que também engloba os principais clientes e fornecedores. Atualmente, o uso dos dispositivos pessoais conectados na rede própria da empresa abrange um

27. Computer Aided Three-dimensional Interactive Application

universo de 23 mil pessoas, entre colaboradores, empresas prestadoras de serviços e clientes. A rede apresenta elevado grau de segurança, sendo criados diversos níveis de permissão para o acesso aos dados corporativos. De acordo com Alexandre Baulé, gestor de Tecnologia da Embraer, “montamos uma estrutura para permitir o fluxo controlado de informações fora da empresa. Deixamos bem claro que tipo de usuário teria acesso à rede corporativa e à estrutura aberta” (LISKAUKAS, 2013). Ademais, como envolve trabalho à distância, foi necessário adequar o sistema às regras da legislação trabalhista brasileira<sup>28</sup>.

A introdução de robôs iniciou-se em 2007 e vem avançando de maneira mais intensa ao longo dos últimos anos, tanto na automação da montagem estrutural quanto na automação de processos especiais, como pintura<sup>29</sup>, fabricação de componentes para o interior e movimentação de ferramentas (ZERBINI, 2017). Atualmente, as linhas de produção dos aviões mais modernos, como o Legacy 450 e 500, apresentam um elevado nível de automação. A linha de produção do E2 será a mais automatizada da Embraer e uma das mais avançadas do setor aeronáutico mundial: até o alinhamento e o nivelamento do processo de junção de fuselagem será executado de forma automática. A partir dessa nova linha de produção, a Embraer será a primeira grande empresa aeronáutica a adotar gabaritos móveis na montagem das asas.

Assim como a linha de produção da indústria automotiva, as asas agora são montadas em uma linha móvel, equipada com robôs que fazem o processo de rebiteamento completo (furos e inserção de prendedores), incluindo a inspeção de qualidade. “Cada asa do E2 tem por volta de 15 mil furos. O robô não erra. O nível de qualidade do processo chega a ser mil vezes melhor do que se fosse feito manualmente”, afirma o vice-presidente de suprimentos da Embraer, Francisco Soares. (SILVEIRA, 2015)

Desde 2013, a empresa vem utilizando a tecnologia da impressão 3D para prototipagem de peças de suas futuras aeronaves e realizando um grande esforço para ampliar a capacitação na manufatura aditiva, que deve ser utilizada de forma crescente na produção de peças e componentes de elevada complexidade. Destacam-se os investimentos em máquinas-ferramentas híbridas, que realizam as operações tradicionais de usinagem em conjunto com a manufatura aditiva<sup>30</sup> (ZERBINI, 2017).

De maneira progressiva, a Embraer também tem instalado sensores nos equipamentos já utilizados nas suas linhas de produção para monitorar seu funcionamento. “Evitamos paradas não programadas, por exemplo, que podem atrasar a entrega de uma aeronave. Se o sensor indica um nível de trepidação ou temperatura mais elevada, já sabe que há problema e o que fazer para saná-lo”, diz Carmesini (BORDEAUX-REGO, 2017, p.123). Segundo Kern, o próximo grande desafio da Embraer “é investir mais no

28. Em razão das limitações legais, os interessados em utilizar o sistema de comunicação da Embraer tiveram de assinar um termo de adesão que também inclui cláusula de confidencialidade.

29. A Embraer tem quatro patentes de robótica aplicadas à pintura de fuselagem (ZERBINI, 2017).

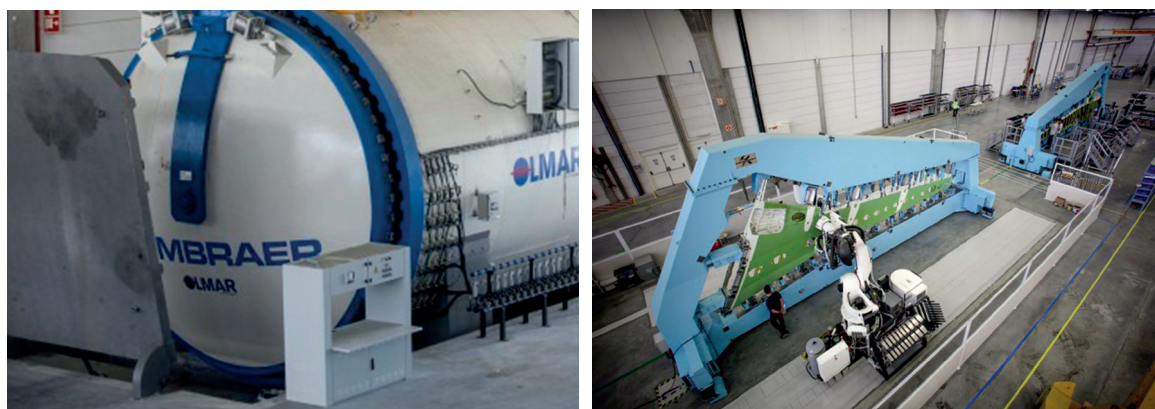
30. As peças são manufaturadas a partir da deposição do material em uma pré-forma e depois é feito o acabamento, apenas realizando o desbaste dessa pré-forma com uso da tecnologia tradicional de usinagem (ZERBINI, 2017).

sensoriamento do parque industrial para que a produção possa ter acesso às informações em tempo real, aumentando a velocidade na tomada de decisão e tornando a operação mais eficiente” (CNI DIGITAL, 2017). Corroborando a análise de Bordeaux-Rego (2017), pode-se constatar que a Embraer foi uma das empresas que mais investiu em processos de manufatura avançada no Brasil nos últimos anos.

Em relação à tecnologia de materiais, a empresa está mais defasada que seus principais concorrentes na utilização de compósitos tradicionais, pois não desenvolveu nenhum avião que utilizasse grandes aeroestruturas – asas ou fuselagem – em compósitos, apesar de ter ampliado gradualmente a utilização desses materiais nas suas novas aeronaves. Essa estratégia conservadora vem se mostrando acertada, dado o recuo das competidoras na utilização desse tipo de material em grandes aeroestruturas.

A Embraer está empenhada em se capacitar nas novas tecnologias de materiais e, seguindo a sua atual estratégia de verticalização do desenvolvimento e da produção de estruturas críticas, em 2012 constituiu duas novas e sofisticadas unidades produtivas na cidade de Évora, em Portugal. Uma é a Embraer Compósitos, voltada para a produção de peças, componentes e aeroestruturas em compósitos; outra, a Embraer Estruturas Metálicas, destinada à produção de aeroestruturas e montagem de conjuntos, incluindo as asas dos aviões Legacy 450 e 500, que têm produção automatizada. Ambas as unidades, nas quais foram investidos cerca US\$ 340 milhões<sup>31</sup> (EMBRAER, [s.d.]), se posicionam como centros de excelência em âmbito mundial, com elevado grau de sofisticação tecnológica incorporada nos processos produtivos.

#### Figura 4 – Embraer (compósitos) e Embraer (estruturas metálicas)



Fonte: PEMAS – Associação da Indústria Aeroespacial Portuguesa [s.d.].

A empresa vem utilizando de maneira crescente ligas metálicas mais avançadas em suas novas aeronaves. Em 2011, realizou um importante acordo com a Alcoa

31. Esses investimentos contaram com recursos e incentivos públicos europeus, repassados pela União Europeia por meio do *Structural Funds for Innovation Support*, no âmbito do *National Strategic Reference Framework (NSRF)*.



visando à utilização das ligas de alumínio de alto desempenho – principalmente as de alumínio-lítio – na nova família de aeronaves comerciais E2 (JACOB, 2011).

Também busca acompanhar a aplicação da nanotecnologia no desenvolvimento de novos materiais. De acordo com entrevista realizada na empresa, a utilização de nanotubos de carbono para reforço de estruturas em compósitos ou ligas metálicas vem se consolidando cada vez mais na indústria aeronáutica, devendo ser incorporada pela Embraer. No entanto, a utilização dos materiais de dimensão 2D, particularmente o grafeno, ainda não apresenta uma trajetória consolidada, havendo um elevado grau de incerteza quanto aos seus resultados.

Em 2014, a Embraer criou o Fundo Aeroespacial (*venture capital*) em conjunto com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e a Agência de Fomento do Estado de São Paulo S.A. (Desenvolve SP). O objetivo desse Fundo é o de investir em empresas emergentes de base tecnológica (*startups*) que atuam no sistema produtivo A&D. O Fundo possuía um patrimônio inicial de R\$ 131 milhões, grande parte investido em oito empresas, todas relacionadas com tecnologias avançadas aplicadas ao sistema A&D: FT Sistemas (VANT), Orbital (engenharia) e Clavis (segurança da informação), Geocontrol (comando e controle), Tempest (cybersegurança), Victor Alfa (simuladores de voo), Desh Tecnologia (TIC) e Aquarela Inovação (*big data*) (FUNDO AEROESPACIAL, [s.d.]).

Ainda dentro do esforço para se capacitar nas novas tecnologias, em 2017, a Embraer inaugurou nos Estados Unidos o Centro de Inovação de Negócios (*Business Innovation Center*), voltado para identificar inovações disruptivas que possam impactar o setor aeronáutico.

O Centro conta com duas equipes para monitorar as principais inovações que vêm sendo desenvolvidas nos centros de pesquisa e nas universidades dos Estados Unidos, uma no Vale do Silício (Califórnia) e outra em Boston (Massachusetts) (LYNCH, 2017). “Como uma empresa global, num ambiente altamente competitivo, temos nossa base no Brasil e centros de pesquisa também na Ásia, na Europa e nos Estados Unidos”, diz Mauro Kern, vice-presidente executivo de operações da Embraer, que explica: “Temos de estar presentes nos lugares onde esse tipo de inovação acontece” (O TEMPO, 2017). Por sua vez, Antônio Campello, diretor de inovação da Embraer, citou “tecnologias como inteligência artificial, robótica, realidade virtual e veículos autônomos ao citar o foco do programa que tem como objetivo transformar o transporte aéreo global” (HAYNES, 2017).

Em 2017, a empresa firmou acordo com a estadunidense Uber, visando a participar do revolucionário projeto Uber Elevate de desenvolvimento e implantação de pequenos veículos elétricos com decolagem e aterrissagem verticais para deslocamentos curtos no espaço urbano denominados *electrical vertical take-off and landing vehicles* (EVTOL). A Embraer será a principal empresa aeronáutica a participar desse projeto,

concentrando-se no desenvolvimento do EVTOL. Mark Moore, responsável pelo Uber Elevate, afirmou:

A Embraer é a maior fabricante de jatos comerciais de até 130 assentos e um dos parceiros mais experientes da Uber nesse segmento. Seu conhecimento de certificação de aeronaves com tecnologia *fly-by-wire* embarcadas e sua confiança de que eles podem igualmente tornar essa tecnologia acessível a aeronaves muito menores é um ingrediente essencial para o nosso sucesso. (AERO MAGAZINE, 2017)

### 1.3.4 Cadeia de fornecedores e nichos de mercado

A quase totalidade das médias e pequenas empresas do setor aeronáutico faz parte da cadeia de suprimentos da Embraer. Não obstante, há um número restrito que opera de forma independente em segmentos de mercado específicos. Os principais avanços tecnológicos relacionados ao desenvolvimento de peças, componentes ou mesmo algum produto final, como aviões leves ou VANT, estão concentrados nas empresas de engenharia de projetos, que vêm realizando investimentos significativos em *softwares*, como os sofisticados sistemas de realidade virtual para a elaboração de maquetes digitais 3D (*digital mock up* – DMU). Dentre essas se destaca a Akaer, que está oferecendo soluções customizadas de engenharia simultânea que integram projeto, manufatura e montagem.

Com relação aos produtos, destaca-se a AEL Sistemas, responsável pelo sistema de interface homem-máquina dos aviões de caça Gripen NG que integrarão a FAB, especialmente o *Wide Area Display* (WAD) – considerado um dos mais sofisticados do mundo –, cuja fase final de desenvolvimento está sendo realizada no Brasil com suporte da matriz israelense.

As tecnologias relacionadas com a manufatura avançada restringem-se às empresas que integram a cadeia de suprimentos da Embraer, em geral de maior porte, que já possuíam capacitação prévia diferenciada e, conseqüentemente, um significativo volume de produção.

Os maiores avanços estão relacionados com a digitalização das informações, pois os projetos a serem executados são concebidos nesse formato. No entanto, são poucas as empresas cujas máquinas e equipamentos estão conectados em rede; muitas não possuem processos automatizados ou, quando o possuem, estão concentrados em atividades específicas. Cabe ainda ressaltar o interesse de algumas empresas na introdução de equipamentos de manufatura aditiva, particularmente em máquinas-ferramenta híbridas.

Com relação aos materiais, constata-se que a cadeia de suprimentos do setor aeronáutico apresenta uma significativa competência na tecnologia metalmeccânica, desde a fabricação de peças e tratamento de metais até a montagem de aeroestruturas, inclusive o trabalho com ligas metálicas de maior desempenho. Por outro lado, a capacitação em compósitos, mesmo os mais tradicionais, está restrita à produção de peças e componentes mais simples.

Com o objetivo de desenvolver a cadeia de fornecedores, a Embraer lançou, em 2011, um programa que mais tarde ganhou a parceria da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e do Parque Tecnológico de São José dos Campos, e foi denominado Programa de Desenvolvimento da Cadeia Aeronáutica (PDCA). As ações são construídas valendo-se da aplicação de modelos de excelência em gestão, *learn manufacturing*, práticas de *kaizen* (melhoria contínua) e planejamento estratégico. Como resultado, a cadeia nacional de empresas fornecedoras do setor aeronáutico apresentou crescimento nas vendas para a Embraer (CNI DIGITAL, 2017).



## 2 OS *CLUSTERS* TECNOLÓGICOS RELEVANTES

### 2.1 Identificação das tecnologias relevantes

#### 2.1.1 Materiais avançados

A tecnologia de materiais apresenta uma significativa importância no sistema produtivo A&D, particularmente no setor aeronáutico, em decorrência do baixo peso e elevada resistência que proporciona, sendo imprescindível na segurança que as aeronaves precisam demonstrar. Os materiais avançados deverão ser utilizados de maneira combinada, aproveitando-se ao máximo as características técnicas de cada um. Logo, o principal fator de competitividade do setor estará na capacidade de projetar, integrar e manufaturar novas aeronaves que combinem os diferentes tipos de materiais, possibilitando o desenvolvimento de novos projetos de peças, componentes e, em última instância, aeronaves. Os materiais avançados também têm uma importância crescente no segmento de sensores eletromagnéticos (radares), optoeletrônicos e acústicos.

A seguir, é apresentada uma análise mais detalhada das inovações que vêm sendo introduzidas nas tecnologias de materiais.

##### 2.1.1.1 Novas ligas metálicas

Os avanços técnicos das novas ligas metálicas, associados aos baixos custos de produção desses materiais em relação aos custos produtivos dos compósitos convencionais, colocam em xeque a crescente utilização desses últimos. As inovações em ligas metálicas avançaram nas últimas décadas, mesmo com a crescente introdução dos compósitos. É o caso das ligas de alumínio-lítio de terceira geração, no que se refere à redução do peso e ao aumento da resistência das estruturas de uma aeronave (RIOJA, 2012). Observam-se duas trajetórias evolutivas, que podem constituir uma terceira: desenvolvimento das ligas de alta entropia (HEA), que combinam múltiplos elementos, e as ligas leves de metais, como alumínio e magnésio, reforçadas com nanotubos de carbono (ligas metálicas nanoestruturadas), ambas utilizadas de forma crescente (CARVALHO, 2017). Os avanços nos materiais metálicos também estão relacionados com as inovações de processo, dentre as quais se destacam as tecnologias *laser beam welding* (LBW) e *friction stir welding* (FSW), que permitem a junção de partes metálicas sem necessidade de rebites ou soldagem<sup>32</sup> (SIQUEIRA, 2014; KALLEE, 2010).

32. A *friction stir welding* (FSW) foi patenteada por The Welding Institute (TWI), na Inglaterra, em 1991. É um processo de soldagem no estado sólido que utiliza severa deformação plástica localizada para produzir juntas de solda entre uma variedade de materiais diferentes, com propriedades mecânicas mais altas que as alcançadas com soldas por fusão (ALUAUTO, 2008).

### 2.1.1.2 Compósitos nanoestruturados

Espera-se que os compósitos convencionais continuem a ser utilizados em componentes específicos que não possam ser substituídos pelas ligas metálicas por razões técnicas, como os *winglets* e estabilizadores dos grandes aviões comerciais, superfícies refletivas de radar nos aviões de combate, estruturas de aviões leves e veículos aéreos não tripulados de pequeno porte. Entretanto, nesses casos, os compósitos convencionais deverão ser gradualmente substituídos pelos compósitos nanoestruturados.

Os grandes avanços nas tecnologias de materiais no setor aeronáutico deverão ocorrer com a introdução dos compósitos nanoestruturados (compósitos hierárquicos), que combinam a tecnologia dos compósitos convencionais com os nanocomponentes, especialmente os nanotubos de carbono. Secundariamente, também existe a possibilidade de haver estruturas em fibras de carbono produzidas a partir de compósitos de lignina. Porém, devem ser mais utilizadas em setores menos exigentes do que a indústria aeronáutica, como a indústria automobilística (CARVALHO, 2017).

Apesar do grau de maturidade tecnológica desses compósitos ser ainda muito baixo e os custos bastante elevados, deverá haver uma rápida difusão, uma vez que eles utilizam a mesma base produtiva dos compósitos convencionais e têm a vantagem de incorporar maiores avanços técnicos. Além disso, deverá haver uma redução dos custos, em razão do aumento das escalas produtivas das plantas de seus fornecedores. Essa tecnologia está sendo utilizada em componentes mais simples que requerem qualidades técnicas específicas, ainda que com custos mais elevados. A expectativa é que sua difusão para componentes mais sofisticadas ocorra nos próximos dez anos.

### 2.1.1.3 Manufatura aditiva (impressão 3D)

Essa tecnologia vem apresentando um elevado grau de difusão e tende a avançar ainda mais, com a diminuição dos custos dos equipamentos e das matérias-primas. Deverá ser empregada na produção de peças e componentes específicos, de elevada complexidade de projeto ou que tenham baixa escala produtiva. Recentemente, a GE Aviation desenvolveu o projeto de uma nova peça por manufatura aditiva, o bocal difusor (denominado T25), que integra as principais turbinas aeronáuticas produzidas pela empresa<sup>33</sup>. Foi a primeira peça obtida por manufatura aditiva certificada pela Federal Aviation Association (FAA) dos Estados Unidos para aeronaves civis comerciais.

33. O antigo bocal difusor era produzido a partir da montagem de 18 itens separados.

#### 2.1.1.4 Terras raras

Destaca-se a crescente importância das terras raras<sup>34</sup> como insumo na produção de ímãs de elevada capacidade, utilizados nos inovadores motores elétricos de baixo peso e alto desempenho (CARVALHO, 2017). Também são os insumos básicos dos sistemas de comunicação, navegação embarcados, telemetria, sensores eletromagnéticos – particularmente radares – e equipamentos optrônicos (TRIGAUX, 2012).

#### 2.1.1.5 Materiais vitrocerâmicos

Observa-se uma crescente utilização das vitrocerâmicas como material de proteção balística em aeronaves que realizam operações táticas de baixa altitude, particularmente aviões de ataque leves e helicópteros empregados em operações de combate e segurança pública.

### 2.1.2 Nanotecnologia

Essa tecnologia, que compreende a manipulação da matéria numa escala atômica e molecular, é bastante abrangente e apresenta elevada capacidade disruptiva sobre a estrutura industrial. No entanto, os impactos no sistema produtivo A&D são predominantemente indiretos, pois repercutem antes sobre outros sistemas produtivos, podendo resultar em transformações significativas ou moderadas no setor. A maior parte das inovações apresenta um baixo nível de maturidade tecnológica, estando ainda em escala experimental e requerendo elevados investimentos em pesquisa básica e aplicada.

As áreas da nanotecnologia com maior importância para o sistema produtivo A&D são descritas a seguir.

#### 2.1.2.1 Nanoeletrônica (incluindo nanofotônica)

Essa tecnologia vem apresentando uma importante evolução ao longo dos últimos anos, trazendo uma série de inovações incrementais nos sistemas eletrônicos embarcados, particularmente aqueles que requerem uma elevada capacidade de armazenamento e processamento de informações em um espaço físico restrito. Dentre esses sistemas embarcados, destacam-se:

34. Terras raras: conjunto de 17 elementos químicos, 15 deles da série dos lantanídeos: lantânio (La), cério (Ce), praseodímio (Pr), neodímio (Nd), promécio (Pm), samário (Sm), európio (Eu), gadolínio (Gd), térbio (Tb), disprósio (Dy), hólmio (Ho), érbio (Er), túlio (Tm), itérbio (Yb) e lutécio (Lu), somados ao escândio (Sc) e ao ítrio (Y).

- Sistemas de interface homem-máquina (*human machine interface*), também conhecidos como aviônicos. A nanotecnologia possibilitará o desenvolvimento de *displays* de maior porte, com elevada capacidade de processamento.
- Sistemas de entretenimento e conforto das aeronaves civis, tanto comerciais quanto executivas, com destaque para os *displays* de atividades utilizados pelos passageiros, a iluminação interior por sistemas LED<sup>35</sup> e as janelas eletrocrômicas<sup>36</sup>.
- Sistemas de armazenamento e segurança de dados, cada vez mais relevantes, principalmente em aviões menores que necessitam operar um amplo conjunto de sistemas embarcados de alta sofisticação tecnológica, como os aviões de caça.

Destaca-se o crescente emprego da nanoeletrônica no desenvolvimento de sensores e atuadores embarcados, com dimensões reduzidas, maior capacidade e menores custos. Os circuitos eletrônicos poderão ser impressos em uma grande variedade de substratos, de maneira que as peças e os componentes da aeronave já poderão vir com sensor de identificação impresso em sua estrutura. Alguns desses sensores poderão ser mais sofisticados, possibilitando verificar o desempenho dos componentes ao longo da vida útil da aeronave para, por exemplo, acompanhar o nível de fadiga estrutural e, assim, indicar manutenções preditivas das aeronaves.

A nanoeletrônica é importante também nos sistemas de realidade virtual, sendo cada vez mais empregada pelas grandes fabricantes de aeronaves, especialmente na elaboração de novos projetos. Também é essencial para o desenvolvimento de uma nova geração de simuladores centrados na realidade virtual, que serão empregados para a formação não apenas de futuros pilotos, mas também de toda a equipe técnica responsável pela manutenção e pela operação das aeronaves em solo.

### 2.1.2.2 Nanomateriais

A tecnologia de materiais vem apresentando uma importante evolução nos últimos anos com a utilização das nanoestruturas de carbono (dimensões em 3D) para elaboração tanto de novas ligas metálicas quanto de compósitos nanoestruturados. Em ambos os casos, os materiais avançados são obtidos a partir dos reforços conferidos pelas nanoestruturas. Os avanços mais disruptivos serão propiciados pelos nanomateriais mais sofisticados, denominados materiais de dimensão 2D, particularmente o grafeno, já chamado de “material mágico do século XXI”, nanoestrutura formada por uma camada de átomos de carbono com a espessura de um a dez átomos. Em laboratório, o material tem apresentado qualidades técnicas revolucionárias, dado que conduz a eletricidade melhor do que o cobre, oferece em torno de 300 vezes mais resistência do que o aço e, além disso, é leve e flexível. Em tese, o grafeno poderá substituir os compósitos e as ligas de metais na produção das estruturas aeronáuticas (CARVALHO, 2017; KLOTZEL, 2015). No entanto, ainda se encontra numa fase muito

35. As *light-emitting diode* (LED) utilizadas no Boeing 787 permitem a combinação de 128 tipos de cores (WEBAVIATION, 2008).

36. As janelas podem ser escurecidas sem perder a transparência, por meio de um sistema eletrocrômico.



inicial de desenvolvimento técnico e somente deverá apresentar impactos disruptivos num prazo bastante longo, superior a 20 anos (OLIVEIRA JR., 2017).

A nanotecnologia também está sendo empregada no desenvolvimento de nanotintas aeronáuticas, com elevada resistência e qualidade de cores, possibilitando a inscrição de imagens mais precisas e de maior qualidade das impressões. Destaca-se a utilização de tintas com nanocompostos metálicos, que possibilitam uma furtividade maior às aeronaves de combate (BOURZAC, 2011).

### 2.1.2.3 Energia

No que concerne à geração de energia a partir de combustíveis, ou biocombustíveis, muitos processos de biotecnologia são inextricavelmente relacionados com a nanotecnologia. Destaque para o bioquerosene, desenvolvido a partir da cana-de-açúcar<sup>37</sup> pela Amyris no Brasil, em parceria com a empresa francesa Total (SANTOS, 2015). No entanto, os maiores esforços estão voltados para o desenvolvimento de novos materiais para baterias e células de combustível, pois espera-se reduzir custo com a utilização de nanocatalisadores e de novos nanomateriais constituintes das células. Nesses casos, observa-se que o impacto sobre o sistema produtivo A&D será de forma indireta.

A nanotecnologia já vem sendo empregada no desenvolvimento dos biocombustíveis e deverá permitir avanços significativos nas novas gerações de baterias em médio prazo, enquanto os impactos sobre células de combustíveis devem trazer implicações para o sistema produtivo A&D apenas a partir da década de 2030 (OLIVEIRA JR., 2017).

### 2.1.3 Armazenamento de energia

O principal objetivo do conjunto de tecnologias de armazenamento de energia voltadas para o setor é possibilitar o desenvolvimento de aeronaves de propulsão elétrica buscando atender a duas importantes demandas: de um lado, aumentar a eficiência energética, resultando em menores custos operacionais; de outro, reduzir as emissões dos gases de efeito estufa (GEE), uma vez que o setor tem como meta a redução até 2050 de 50% nas emissões líquidas de CO<sub>2</sub> sobre os níveis de 2005<sup>38</sup> (IATA, 2012). Essas metas foram reforçadas no Acordo de Paris em 2015, de maneira que as grandes empresas aeronáuticas e seus respectivos governos comprometeram-se com investimentos bilionários em desenvolvimento tecnológico para energia limpa. Adicionalmente, essas tecnologias também serão importantes para suprir o consumo de energia interno das aeronaves, que tem crescido significativamente.

37. A versão do biocombustível apresentada em 2014 podia ser adicionado na proporção de até 10% ao querosene de aviação de origem fóssil, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

38. O transporte aéreo mundial é responsável por aproximadamente 2% das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que agravam o aquecimento global (RIBEIRO, 2015).

O primeiro veículo aéreo não tripulado de propulsão elétrica, um modelo de rádio controle, voou em 1957. Já o primeiro avião elétrico tripulado a realizar um voo foi o modelo experimental austríaco Militky MB-E1, que utilizava baterias níquel-cádmio (Ni-Cad) e foi construído a partir da estrutura de um planador (TAYLOR, 1977). Desde então, verifica-se apenas o desenvolvimento de modelos experimentais, com crescente participação de grandes *players* globais não apenas do setor aeronáutico, mas também do setor elétrico. Os principais modelos experimentais desenvolvidos nos últimos anos são: o Boeing Fuel Cell Demonstrator, em 2008; o Airbus E-Fan, em 2014; e o monoplano acrobático Extra 330LE da Siemens, em 2017 (SIEMENS, 2017; AIRBUS, [s.d.]; KOEHLER, 2008).

Os motores elétricos abastecidos por baterias recarregáveis vêm sendo utilizados nos VANT de pequenas dimensões, como o chinês DJI Phantom 4, de uso comercial, ou o brasileiro FT-100, de uso militar. Com o avanço das tecnologias de baterias recarregáveis, espera-se que os novos VANT de médias dimensões, principalmente os utilizados em missões táticas de curta e média duração, comecem a ser equipados com motores elétricos nos próximos cinco anos (TORRESI, 2017). Outra categoria de aeronaves que, nos próximos cinco anos, deverá começar a substituir os motores convencionais pelos elétricos é a dos aviões leves, utilizados nas fases iniciais de treinamento ou em atividades recreativas. A quase totalidade desses aviões tem baixo peso e pequena autonomia de voo, condições técnicas e econômicas ideais para a utilização dos motores elétricos abastecidos por baterias recarregáveis de alto desempenho. Não por acaso, essa é a categoria em que todas as grandes fabricantes de aeronaves vêm desenvolvendo aviões experimentais.

As necessidades de reduzir o consumo de combustíveis – seja pela eficiência econômica, seja pelas restrições ambientais – deverão levar os motores elétricos gradualmente para os aviões de maior porte até atingir a categoria dos grandes aviões comerciais, que atualmente utilizam turbinas a jato. No entanto, mesmo com os avanços tecnológicos esperados, as novas baterias não terão a capacidade técnica de prover, sozinhas, a propulsão necessária para novas aeronaves comerciais grandes. A evolução tecnológica está caminhando para o desenvolvimento de sistemas híbridos, os sistemas de propulsão turboelétricos, que buscam eliminar as limitações das baterias com a utilização conjunta de um sistema convencional de geração de energia (KLOTZEL, 2015).

Jim Heidmann, gerente do *Advanced Air Transport Technology Project*, da NASA, afirma que essa mudança requer a criação de novos modelos de aeronaves, bem como sistemas de propulsão que integram tecnologias de baterias e máquinas eletromagnéticas como motores e geradores mais eficientes (GONZALES, 2016).

Destaca-se que as novas baterias e células voltaicas são essenciais para fornecer energia aos sensores utilizados de forma integrada nos sistemas de C2I, mas se encontram isolados fisicamente. É o caso dos radares portáteis, como o Sentir-M20, desenvolvido pela Bradar, instalados em determinados perímetros para a realização de operações táticas.

## 2.1.4 Inteligência artificial

O sistema produtivo A&D é um dos que tem maior interesse em incorporar as tecnologias relacionadas com a IA. Contudo, seus rigorosos processos de certificação dos produtos e processos resultam numa lentidão maior na incorporação dessas tecnologias. A seguir, são apresentadas as principais tecnologias de IA que estão sendo incorporadas ou se pretende incorporar nos próximos dez anos, com base nas inovações estudadas pelos principais centros de pesquisa do sistema produtivo A&D.

### 2.1.4.1 Análise de dados das aeronaves e sistemas embarcados

A crescente instalação de sensores cada vez mais sofisticados vem gerando um volume exponencial de dados sobre o desempenho das aeronaves e de seus principais sistemas, possibilitando que os instrumentos de IA otimizem sua operação e segurança, permitindo a racionalização do seu emprego, a realização de manutenções preditivas e a identificação de causas raízes correlacionadas com as anomalias das aeronaves. Por exemplo, no Boeing 787, “146 mil pontos de dado são continuamente monitorados por sistemas de bordo e transmitidos automaticamente para o solo” (BOEING, 2013b *apud* OCDE, 2017). Com relação à aplicação dessas informações, destacam-se o *Aerospace Data Analytics Lab*, que vem sendo desenvolvido pela Boeing, e o *Airbus Smarter Fleet*, desenvolvido pela própria Airbus com suporte da IBM (que utiliza a plataforma de IA IBM Watson). A IA propicia também que esse elevado volume de informações seja utilizado no desenvolvimento de projetos das futuras aeronaves (BOEING, [s.d.]; AIRBUS [s.d.]) e retroalimentem o processo de inovações incrementais.

Além do uso interno, há uma tendência a transformar esse amplo conjunto de dados em mercadoria. A Boeing, por exemplo, fornece produtos que combinam um bem físico (aeronave) e serviços digitais (dados). Trata-se da estratégia de servitização, que aumenta a oferta de pacotes combinados de produtos e serviços com foco nas necessidades dos clientes. Para tanto, a empresa criou um sistema baseado em computação em nuvem, o *Digital Aviation Platform* (Plataforma em Nuvem), cuja sigla é PaaS. Este sistema permite aos desenvolvedores de aplicativos criarem *softwares* com base em componentes hospedados nessa plataforma, que é interativa e conecta as companhias aéreas, disponibilizando informações sobre manutenção, passageiros e voos da aeronave, tais como horários, cobrança ou liquidação, autorizações e manutenção de registro (CRABBE, 2013 *apud* OCDE, 2017).

### 2.1.4.2 Identificação e tratamento de imagem

As tecnologias de IA são utilizadas em diversas categorias de equipamentos – *hardware* e *software* – que realizam o reconhecimento de imagens, com destaque para:

- Sistemas de reconhecimento de solo para auxílio à navegação de aeronaves tripuladas ou não tripuladas, incluindo mísseis de cruzeiro que operam a baixa altitude – em que se destaca a parceria da Airbus com o Centro Alemão de Pesquisa de Inteligência Artificial (DFKI).
- Reconhecimento de alvos a serem monitorados ou eliminados por veículos aéreos não tripulados ou mísseis.
- Computação gráfica utilizada em sistemas de simulação civil e, principalmente, militar.
- Refinamento de imagens obtidas por meio de aviões de vigilância e, principalmente, satélites de sensoriamento terrestre.
- Sistemas biométricos utilizados como chaves de segurança.

#### 2.1.4.3 Interface homem-máquina

A IA é utilizada, basicamente, em três casos: i) realizar o processamento e a análise das informações que serão disponibilizadas aos pilotos, de maneira que estes possam ter uma ampla consciência situacional; ii) oferecer aos pilotos sistemas de suporte, utilizados para corrigir eventuais falhas humanas, ampliando a segurança de voo, principalmente em casos de emergência que envolvam maior estresse, sendo esta uma das áreas de pesquisa de ponta Darpa, centrada na tecnologia de *reinforcement learning*; e iii) desenvolver sistemas de reconhecimento de voz, com destaque para o avançado sistema Tellingence, da Garmin, que utiliza comandos de voz para efetuar centenas de tarefas comuns na cabine de comando.

#### 2.1.4.4 Pilotagem autônoma

Esta é, com certeza, a inovação com impacto mais disruptivo nesse sistema produtivo. Inicialmente, a IA será utilizada para complementar e auxiliar a pilotagem humana dos veículos aéreos, e apenas a longo prazo substituirá totalmente a atividade dos pilotos. Destaca-se a utilização da IA nos veículos aéreos autônomos de uso urbano, como o Uber Elevate e o Vahana, da Airbus. A automatização deverá ocorrer de maneira gradual, iniciando-se com pilotos embarcados, vindo depois a pilotagem remota (humana), seguida da pilotagem autônoma assistida por um piloto remoto (humano), que seria acionado apenas em situações críticas. Cabe ressaltar a importância da evolução da tecnologia de rede, que deve ter plena disponibilidade, estabilidade e confiabilidade. As aplicações da IA na pilotagem autônoma devem ocorrer num prazo mínimo de dez anos, podendo ultrapassá-lo. Além dos desafios técnicos, a IA terá de enfrentar desafios de natureza ética, social e legal (MOBILE TIME, 2017; UBER ELEVATE, 2016).

A IA será cada vez mais utilizada para guiar armas inteligentes e pilotagem de veículos aéreos não tripulados automatizados. Mesmo as aeronaves remotamente pilotadas (ARP) terão cada vez mais operações controladas pela IA (POTT, 2017; CHAMAYOU, 2015).

Atualmente destaca-se o projeto Thor (*Test of Hi-tech Objectives in Reality*), da Airbus, que realizou seu primeiro voo em 2015, fazendo história como o primeiro avião de impressão 3D. Estima-se que sua próxima versão terá capacidade de voar totalmente pilotado pela IA (AIRBUS, [s.d.]).

#### 2.1.4.5 Otimização dos sistemas de sistemas

A aplicação da IA contribuirá para a otimização dos sistemas de sistemas, tanto de controle de tráfego aéreo quanto em defesa aérea e missões táticas. Essa tecnologia permite que os tomadores de decisão humanos aumentem a eficiência e lidem com ambientes complexos e sensíveis no tempo. Em relação ao seu desenvolvimento, destaca-se o Laboratório de Inteligência Artificial da Lockheed Martin, que possui parceria com o Massachusetts Institute of Technology (MIT), particularmente na segurança dos sistemas (*cyber security*).

#### 2.1.4.6 Otimização das atividades empresariais

A utilização da IA pode ser usada para otimizar as atividades operacionais das empresas, tanto internamente, no controle das atividades produtivas, quanto externamente, no comando sobre a cadeia produtiva. Essa aplicação está diretamente relacionada com o *Cluster* Produção Integrada e Conectada. No sistema produtivo A&D, destaca-se o projeto Planejamento Automatizado (*Remote Agent*) da Nasa.

### 2.1.5 Redes

As tecnologias de redes têm um papel-chave no sistema produtivo A&D, pois permitem a integração tanto em nível das plataformas aeronáuticas e espaciais quanto em nível dos sistemas de sistemas. Estão também cada vez mais presentes no processo produtivo das plataformas, desde o âmbito da fábrica até as internacionalizadas cadeias de suprimentos. Dada a sua importância, o desempenho e a segurança das redes (*cyber security*) passam a ser requisitos-chave. As tecnologias que envolvem a segurança na transmissão dos dados passam a ser fundamentais, particularmente a criptografia, que utiliza tecnologias e algoritmos específicos. Além disso, outras tecnologias de segurança de rede, como os *firewalls*, podem ser utilizadas de forma complementar. Dentre as empresas que mais têm avançado na utilização da IA em *cyber security* destaca-se a Lockheed Martin, que desenvolveu um dos produtos mais avançados para identificação e prevenção de invasões cibernéticas em redes sensíveis e abrangentes, o denominado *Intelligence Driven Defense* (LOCKHEED MARTIN, [s.d.]).

Os principais impactos dessas tecnologias sobre as plataformas e os sistemas de sistemas são descritos a seguir.

### 2.1.5.1. Plataforma aeroespacial

A tecnologia de rede embarcada é parte essencial das aeronaves, sendo um dos seus elementos constitutivos. Entretanto, as novas tecnologias embarcadas, particularmente na aviação civil, somente podem ser empregadas após longo processo de certificação e demonstração de confiabilidade, o que deve resultar em ritmo de introdução de inovações mais lento.

Dada sua importância, as redes embarcadas de controle da aeronave usam um padrão próprio para o protocolo de comunicação interna, a família de protocolos Arinc, com destaque para o sistema ARINC-664 Data Network (comercialmente denominado *Avionics Full Duplex Switched Ethernet – AFDX*).

Há uma crescente utilização da fibra óptica, pois ela é imune às interferências eletromagnéticas e tem maior capacidade de transmissão, além de apresentar custos decrescentes. Uma das principais inovações é o *fly-by-light*, um sistema de controle das aeronaves por meio de fibras ópticas, em vez da tradicional rede de cabos dos sistemas *fly-by-wire*. As redes de fibras ópticas também vêm sendo utilizadas de forma crescente, interligando os pequenos sensores instalados a bordo para verificar o desempenho das aeronaves, bem como a distribuição de entretenimento na cabine de passageiros.

### 2.1.5.2 Sistema de sistemas

No âmbito militar, observa-se a introdução do *Network Centric Warfare (NCW)*, que sintetiza os esforços no sentido de possibilitar que as várias plataformas militares compartilhem informações em tempo real por meio de comunicação por dados (*data link*), utilizando uma ampla variedade de conexões (DOD, 2017; GHOLZ, 2006). Este modelo vem sendo utilizado nos sistemas de defesa aérea continentais, como o *North American Aerospace Defense Command (Norad)*<sup>39</sup>, e em pequenas redes de operações militares que combinam diferentes categorias de plataformas para um fim específico. Ainda no âmbito militar, também se destaca o rádio definido por *software (RDS)*, que visa a substituir a transmissão analógica pela digital e vem sendo a plataforma mais adequada para o desenvolvimento de rádios cognitivos (PAIVA JR. *et al.*, 2012).

No âmbito civil, destacam-se os novos modelos de controle de tráfego aéreo, baseados em satélite (GPS), comunicação por dados (*data link*) em tempo real e controle por voz, que devem ser implantados nos próximos dez anos nos Estados Unidos (*Next Generation Air Transportation System – NextGen*) e na União Europeia (*Single European Sky ATM Research – Sesar*).

39. Norad: sistema de defesa aeroespacial conjunto e integrado entre Estados Unidos e Canadá, constituído na década de 1960 e que vem incorporando as mais avançadas tecnologias. O maior exemplo é a Internet, cuja origem remonta ao *Semi-Automatic Ground Environment (SAGE)*, a rede de computadores criada para o controle automatizado dos radares do Norad.

As inovações da tecnologia de rede vêm sendo introduzidas de maneira incremental e já possibilitam a implementação da Produção Integrada e Conectada (*smart factory*), permitindo também a integração de toda a cadeia de fornecedores de uma determinada empresa.

Com relação às possíveis inovações a serem incorporadas nas tecnologias de rede, destaca-se a tecnologia de *blockchain*<sup>40</sup>, que permite o rastreamento na cadeia de fornecimento e em projetos complexos de engenharia, que envolvem muitas atividades e transações entre fornecedores. Os avanços das tecnologias de rede também são viabilizadores do uso da Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) e da Produção Integrada e Conectada (*smart factory*), que são analisados nos tópicos a seguir.

### 2.1.6 Internet das Coisas (IoT)

Constata-se uma crescente introdução e difusão das tecnologias relacionadas com a IoT nas principais empresas da indústria aeronáutica mundial, sendo aplicada nas atividades produtivas propriamente ditas e também nas atividades externas, como logística e serviços pós-venda. Já a difusão da IoT embarcada nos produtos aeroespaciais é mais lenta, pois necessita passar por um longo e rigoroso processo de certificação que demonstre a sua confiabilidade. Destaca-se a inovadora tecnologia dos sensores *flexible hybrid electronics* (FHE), que são impressões nos componentes e partes estruturais durante o próprio processo produtivo. A implementação e a difusão dessa tecnologia na indústria aeronáutica é bastante promissora, dado que os dois maiores conglomerados A&D dos Estados Unidos, Lockheed Martin e Boeing, são os dois únicos participantes de primeiro nível da NextFlex<sup>41</sup>.

O elevado volume de informações captadas pelos modernos sensores, processadas e transmitidas aos atuadores, possibilita melhor desempenho e maior segurança das aeronaves, além de reduzir os custos operacionais, bem como otimizar as manutenções, informando qual o tipo de intervenção necessária e quando deve ser realizada. Destaca-se a Taleris, uma *joint venture* entre a Accenture e a GE Aviation, que oferta serviços de otimização de frotas aéreas por meio da manutenção preditiva possibilitada pela IoT (BORDEAUX-REGO, 2017).

O segmento mais impactado atualmente é o de VANT, pois os crescentes avanços tecnológicos vêm possibilitando uma crescente automatização nas operações desses veículos (ICAO, 2011). Destaca-se a empresa estadunidense *Intelligent Flying Machines*, que criou um *drone* que pode navegar de forma autônoma por meio de um armazém

40. "O *blockchain* é um tipo de banco de dados que toma uma série de registros e coloca-os em um bloco. Cada bloco é então 'encadeado' para o próximo, usando-se uma assinatura criptografada. Isso permite que essa cadeia de blocos seja compartilhada e corroborada por qualquer pessoa com as permissões apropriadas" (LORAL, 2017, p.54-55). Essa tecnologia poderá servir para o acompanhamento de produtos ao longo do seu ciclo de vida e ser uma ferramenta essencial ao processo de orquestração das redes de produção.

41. NextFlex: associação criada em 2015, em um acordo de cooperação entre o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) e um consórcio de empresas, instituições acadêmicas, organizações sem fins lucrativos e governos estaduais e locais, com o objetivo compartilhado de avançar na tecnologia FHE, definir suas regras e promover sua difusão (NEXTFLEX, [s.d.]).

e transferir o que está nas prateleiras. A também estadunidense Aerialtronics está produzindo um modelo de drone autônomo para inspeção industrial. Destaca-se também a participação da Nvidia, que constituiu uma unidade específica, a Nvidia Jetson, voltada para o desenvolvimento de um sistema de navegação autônoma para drones, e ainda os pequenos drones Perdix, de apenas 16 centímetros, que operam em forma de enxame (*swarm*) e foram criados por alunos de engenharia do MIT. Em 2016, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos realizou uma operação de teste com o lançamento de um enxame composto por 103 desses drones.

Já setor de sistemas e sensores deve receber o maior impacto da IoT ao longo dos próximos anos. As inovações trazidas por essa tecnologia, juntamente com as de rede e de inteligência artificial, deverão promover avanços disruptivos neste setor: de um lado, a ampla difusão dos sensores, em razão da maior confiabilidade e dos menores custos, inclusive dos amplos sensores eletromagnéticos (radares) e optrônicos; de outro, a possibilidade de que uma grande parcela das atividades atualmente decididas e implementadas pela intermediação humana possa ser realizada de forma automatizada.

Observam-se também alguns avanços disruptivos no setor espacial, com destaque para os projetos de satélites miniaturizados que operam em formação, constituindo redes de comunicação ou monitoramento localizadas e especializadas.

Também se espera que a aplicação da IoT provoque inovações disruptivas nos futuros veículos aéreos autônomos urbanos. Dentre os projetos que vêm sendo apresentados pelas líderes do mercado, destacam-se o Vahana e o Uber Elevate. No entanto, a tecnologia automatizada da IoT somente deverá estar acessível a longo prazo, seja por razões técnicas, seja por restrições legais.

### 2.1.7 Produção Integrada e Conectada (PIC)

A introdução da PIC pode ser vista como uma resposta aos crescentes problemas que as principais fabricantes de aeronaves estavam tendo diante do intenso processo de terceirização (*outsourcing*). Tais tecnologias permitem reinternalizar a produção – particularmente de componentes críticos e processos que envolvam tecnologias avançadas – e visam, em última instância, a preservar e fortalecer a capacidade das grandes fabricantes na integração produtiva e no comando da cadeia de fornecedores. Em razão desses pontos, já se constata o início de uma reversão desse amplo processo de terceirização.

Nos novos projetos da Boeing e da Embraer, respectivamente o 777X e o E2, as duas empresas internalizaram a produção de importantes componentes estruturais, dentre eles as asas, mas incorporando avanços relacionados às tecnologias da PIC. Mesmo fornecedores de primeiro nível, como a GE Aviation e a Pratt & Whitney, vêm internalizando as atividades produtivas que incorporam novas tecnologias,



como a manufatura aditiva. As principais tecnologias diretamente incorporadas no sistema produtivo A&D, ou como se pretende incorporá-las nos próximos dez anos, são descritas a seguir.

#### 2.1.7.1 Robótica

Observa-se uma crescente utilização dos robôs no setor aeronáutico, principalmente para executar atividades repetitivas e que necessitam de elevada precisão, como a furação e a colocação de rebites nas aeroestruturas, dado o baixo número de falhas e menores custos de retrabalho. Também há uma crescente utilização de *automated guided vehicle* (AGV) em diferentes funções, possibilitando uma flexibilidade maior na fabricação das aeronaves e dos seus principais sistemas. Os AGV são utilizados em pequenas plataformas para distribuição de peças, componentes e ferramentas na linha produtiva, assim como em grandes plataformas automatizadas, que possibilitam a movimentação das principais aeroestruturas nas fases finais de montagem das aeronaves.

A automação vem sendo utilizada nas unidades produtivas que apresentam maiores escalas, produtos padronizados e elevada carga de trabalho humano. Daí seu avanço no segmento de grandes aviões comerciais, com destaque para as unidades produtivas da Boeing, da Airbus e da Embraer que estão sendo automatizadas. Importantes fornecedores de primeiro nível, como a GE Aviation, Honeywell, Rockwell Collins, Spirit Aero Systems, GKN Aerospace e UTC Aerospace Systems, também estão realizando altos investimentos em automatização de suas unidades produtivas.

#### 2.1.7.2 Manufatura aditiva (impressão 3D)

Trata-se de uma das tecnologias que vem apresentando maior grau de difusão no sistema produtivo A&D. No entanto, sua utilização deverá continuar restrita à produção de peças e componentes específicos, de elevada complexidade de projeto e alto valor agregado, como a fabricação do bocal difusor das novas turbinas Leap da CFM<sup>42</sup>. Também deverá se consolidar em atividades produtivas que tenham baixas escalas, como a fabricação de peças e componentes utilizados em satélites e veículos lançadores, além da prototipagem de aeronaves.

Diversas empresas têm adotado a manufatura aditiva em seus projetos, como GE Aviation, Lockheed Martin, Safran e Rolls-Royce. Além dessas, a Boeing já substituiu a usinagem pela impressão 3D em mais de 20 mil unidades de 300 partes distintas (DAVIDSON, 2012), e a Airbus está usando o projeto de uma miniaeronave, a *Testing High-tech Objectives in Reality* (Thor), com o objetivo de testar desde partes estruturais impressas em 3D até aerodinâmica avançada, utilizando inteligência artificial.

42. A nova turbina Leap incorpora diversas inovações, entre elas o bico de combustível, uma das partes mais críticas da turbina, impresso em 3D. Cada motor tem 19 bicos, o que significa que o CFM vai produzir cerca de 45 mil bocais impressos em 3D ao ano (CROCHET, 2015).

Atualmente, a manufatura aditiva utiliza polímeros, metais ou cerâmicas como matérias-primas, existindo perspectiva de que se avance na utilização de todos os materiais, particularmente cerâmicas e metais de alta resistência como o titânio. Neste último caso, destaca-se o uso da tecnologia *rapid plasma deposition*<sup>43</sup> (RPD).

### 2.1.7.3 Friction stir welding (FSW)

Esta tecnologia permite a junção de partes metálicas sem a necessidade de rebites ou soldagem. Vem alcançando escala industrial e pode apresentar um impacto disruptivo, particularmente quando utilizada em conjunto com as novas ligas metálicas. Está concentrada na produção de componentes especiais de altíssimo valor agregado para o setor espacial. As principais empresas aeronáuticas – Boeing, Airbus e Embraer, dentre outras – vêm apostando na incorporação dessa tecnologia para fabricação de aeroestruturas.

### 2.1.8 Virtualização do desenvolvimento

As tecnologias descritas acima vêm permitindo o desenvolvimento de modelos de simulação extremamente precisos, que possibilitam a construção de protótipos praticamente prontos, reduzindo tempo e custos (UBIRATAN, 2016). Dentre as principais tecnologias de simulação utilizadas no desenvolvimento de novas aeronaves, destacam-se: *mock-up digital* (realidade virtual), simuladores de tensão estrutural e *computational fluid dynamics* (CFD). Destacam-se também o *iron bird* e o *integration test facility* (ITF), que possibilitam a integração e o teste de praticamente todos os sistemas de uma aeronave, reunindo, assim, o mundo real e o virtual (sistemas ciberfísicos).

Na produção, os sistemas de simulação são utilizados para avaliar, aperfeiçoar e validar o planejamento e controle de praticamente todo o processo produtivo: controle de máquinas CNC, sistemas para verificar ergonomia no processo produtivo, *layout* da manufatura e *layup* dos compósitos. Portanto, a virtualização não trata da simples “substituição de papéis por *tablets*”: ela permite a utilização de dados em contexto. Isso é, que a execução de tarefas seja constantemente revisada durante o processo, tornando-os mais eficientes e aumentando, assim, a produtividade.

Nesta área de virtualização, destaca-se o recém-criado *Center for Applied Simulation and Analytics* (Casa) da Boeing, que será utilizado como centro de pesquisa da empresa, dos seus parceiros de pesquisa e dos seus colaboradores acadêmicos para criar e desenvolver tecnologias de simulação e análise, fornecendo simulação avançada para a maioria das aeronaves Boeing, desde os conceitos até a operação.

43. Processo de manufatura aditiva que viabiliza a produção de peças e componentes estruturais com tempo e custos reduzidos.

## 2.2 Experiência internacional

### 2.2.1 Impacto no setor aeronáutico

O Quadro 5 resume os impactos dos *Clusters* Tecnológicos selecionados em cada segmento do setor aeronáutico. A descrição desses impactos será dada a seguir.

**Quadro 5 – Setor aeronáutico: impacto das novas tecnologias e contestação de mercado por segmento e subsegmento**

Tecnologias	Militar				Comercial		Executivo		Asas Rotativas	VANTs
	Combate	Treina.	Transporte	Vigilância	Jatos	Turbo	Jatos	Leves		
MA	T	T	T	M	D	T	T	T	T	T
AE	M	M	M	M	D	D	M	D	M	D
IA	D	D	M	D	T	T	T	T	T	D
Rede	T	T	T	T	T	T	T	M	T	D
IoT	T	T	T	T	T	T	T	M	T	D
PIC	T	T	T	M	T	T	T	T	T	T
Nano	T	T	M	M	M	M	M	M	M	D
Contestação	Média	Alta	Baixa	Baixa	Alta	Alta	Média	Alta	Baixa	Alta

Notas: TECNOLOGIAS. MA – Materiais Avançados; AE – Armazenamento de Energia; IA – Inteligência Artificial; Rede – Tecnologias de Redes; IoT – Internet das Coisas; PIC – Produção Integrada e Conectada; e Nano – Nanotecnologia. Conceitos sobre o impacto das tecnologias: M – Moderado; T – Transformador; e D – Disruptivo.

Fonte: Elaboração própria.

#### 2.2.1.1 Aviões militares

No segmento dos aviões de combate, atualmente apenas dois aviões de caça de quinta geração estão operacionais, o F-22 Raptor e o F-35 Lightning II, ambos desenvolvidos nos Estados Unidos pela Lockheed Martin. Esse monopólio temporário americano deve ser contestado nos próximos anos, com a entrada em operação dos aviões da Rússia e da China, respectivamente, o Sukhoi PAK FA e o Chengdu J-20. As empresas aeronáuticas europeias, por sua vez, têm adotado uma estratégia defensiva, centrada na melhoria das plataformas e na incorporação das inovações tecnológicas nos aviões de caça da geração 4.5, em vez de desenvolverem os sofisticados e dispendiosos aviões de quinta geração (FERREIRA, 2016). Não se devem observar nos próximos dez anos mudanças disruptivas decorrentes do lançamento de uma sexta geração desses aviões e, portanto, o nível de contestação dos líderes deste mercado pode ser considerado médio.

Os avanços disruptivos devem se concentrar nas tecnologias relacionadas com a IA, particularmente no que se refere à interface homem-máquina, com a adoção de tecnologias que possibilitem uma completa consciência situacional, maior segurança e redução na carga de trabalho, destacando-se o comando por voz.

A IA também será essencial para a avaliação contínua do desempenho da aeronave por meio dos dados coletados pelos inúmeros sensores. Juntamente com a IA, as tecnologias de rede e IoT devem ser incorporadas nos modernos aviões de combate, aprimorando a realização de operações conjuntas e coordenadas em ambientes de rede, denominadas *network-centric operations*.

Nos processos produtivos, a incorporação das tecnologias da IoT e da PIC devem promover avanços transformadores. Apesar de serem baixas as escalas de alguns modelos, as exigências técnicas devem ampliar a automatização de diversas etapas, além de intensificar o uso da manufatura aditiva. Com relação aos materiais avançados, os novos modelos devem introduzi-los de maneira progressiva e de forma combinada – uma estratégia que já vem sendo adotada nos aviões de caça das gerações atuais. A incorporação da nanotecnologia também deve ter um papel transformador, pois os aviões de caça necessitam de crescente capacidade de armazenamento e processamento de dados em um espaço físico bastante restrito. No que diz respeito ao armazenamento de energia, os impactos devem ser muito moderados, pois os atuais sistemas de propulsão com turbinas supersônicas movidas a querosene ou biocombustível devem ser mantidos, por não existirem tecnologias substitutas.

Não devem ser observados grandes avanços tecnológicos na categoria dos aviões de treinamento militar, pois existem diversos modelos recém-lançados aguardando a definição das concorrências em curso nos Estados Unidos e na Europa Ocidental. No entanto, deve ocorrer um significativo impacto das novas tecnologias, principalmente da IA, no desenvolvimento de sistemas de treinamento virtual cada vez mais realistas, confiáveis, eficientes e baratos. Os simuladores de voo devem apresentar uma grande difusão, sendo uma parcela crescente do treinamento dos pilotos realizada nesses equipamentos. Os simuladores virtuais, os aviões de treinamento de alta sofisticação e os de treinamento básico deverão ser vendidos de forma conjunta, em pacotes de treinamento, em razão das necessidades técnicas de se uniformizarem as diferentes etapas de formação dos pilotos. Como resultado, deverá existir uma mudança no modelo de negócio, e somente as empresas, ou consórcios de empresas, que oferecerem soluções completas e integradas deverão manter uma parcela significativa desse mercado. Existe, ainda, a possibilidade de as empresas assumirem essas atividades de forma direta ou por meio de parcerias público-privadas (PPP), vendendo serviços de formação de pilotos para uma determinada força militar.

No segmento de aviões de transporte militar e reabastecimento aéreo, o impacto das tecnologias relacionadas com IA deve ser mais moderado. Por sua vez, as tecnologias

de rede e IoT devem ter um impacto transformador ao longo do tempo. Os materiais avançados devem ser incorporados de forma progressiva, mas não em grandes estruturas. As tecnologias de processo relacionadas a IoT e a PIC também devem continuar a ser incorporadas. As possibilidades de mudanças na estrutura de mercado para os próximos dez anos são baixas.

Os avanços proporcionados pela IA devem ter um impacto disruptivo no segmento de aviões de vigilância e inteligência, substituindo parte das tarefas realizadas pela tripulação e, com isso, ampliando a capacidade das plataformas de coordenarem operações militares em rede. As tecnologias de rede e IoT também são transformadores, mas estão sendo introduzidas de maneira incremental, ampliando a capacidade operacional das aeronaves. Tais inovações deverão reduzir os custos, possibilitando a difusão das aeronaves de vigilância para mais forças aéreas. No entanto, a capacidade de integrar esse amplo conjunto de tecnologias, cada vez mais sofisticadas, deverá continuar restrita ao pequeno número de conglomerados A&D que já operam no segmento, sejam eles fabricantes das plataformas aeronáuticas, sejam apenas integradores. Assim, a possibilidade de contestação do mercado nos próximos dez anos é muito baixa.

### 2.2.1.2 Aeronaves comerciais

No segmento de aeronaves comerciais, as grandes OEM recuaram em relação à estratégia anterior de avanço disruptivo – como do modelo Boeing 787, produzido em compósitos –, pois estão aguardando a maturidade das novas tecnologias para introduzir um projeto realmente inovador, que venha a ser o novo modelo dominante do segmento comercial da indústria aeronáutica mundial.

Nessa direção, os governos dos Estados Unidos e da Europa lançaram, recentemente, seus respectivos projetos demonstradores de tecnologia, o *Green Aviation* e o *Clean Sky*. Esses novos projetos buscam melhor desempenho, isso é, aeronaves mais econômicas e menos poluentes. A possibilidade de contestação desse segmento é bastante elevada, uma vez que as empresas que não acompanharem as inovações estarão fora do mercado. Além disso, a entrada de um novo e poderoso concorrente, a empresa chinesa Comac, deve promover a introdução de um novo projeto dominante por parte das empresas já estabelecidas, porém num prazo superior ao analisado neste documento (entre 2030-2035). Esse novo projeto deve ser um “avião híbrido”, cujos principais sistemas apresentam essa característica. Os maiores impactos no desenvolvimento de um novo projeto dominante da aviação comercial se darão nas seguintes áreas:

- **Projetos:** a adoção de projetos de configuração não convencional, como do projeto híbrido BWB (*blended wind body* – asa-fuselagem híbrida) permitirá maior eficiência no consumo de combustível.

- **Materiais:** as novas aeronaves comerciais utilizarão materiais combinados ou híbridos. As partes e os componentes estruturais deverão ser produzidos por meio da combinação de novas ligas metálicas com compósitos nanoestruturados, enquanto os componentes de elevada complexidade deverão ser confeccionados por manufatura aditiva.
- **Propulsão:** todos os novos projetos conceituais indicam a utilização dos sistemas de propulsão híbridos, denominados sistemas de motores turboelétricos, que combinam as propulsões convencional ou a gás, utilizados nas etapas que necessitam de maior empuxo (decolagem), com a propulsão elétrica, utilizada quando se atinge o voo de cruzeiro.
- **Sistemas embarcados:** os avanços proporcionados pelas novas tecnologias digitais embarcadas – IA, redes e IoT – devem ser incorporados aos projetos das novas aeronaves. Tais tecnologias deverão ser usadas no monitoramento detalhado e no controle de desempenho das aeronaves, possibilitando não apenas a realização de manutenção preditiva, mas que ela seja realizada de maneira cada vez mais eficiente. O monitoramento do desempenho das aeronaves também pode ser utilizado para se avaliar o desempenho da tripulação, particularmente dos pilotos, corrigir eventuais falhas e utilizar esses dados no treinamento de futuras gerações. Os elevados volumes de dados produzidos pela operação das próprias aeronaves serão cada vez mais utilizados no desenvolvimento dos futuros aviões comerciais. Além disso, há a possibilidade de se captarem dados operacionais relacionados aos passageiros, como suas preferências em relação aos voos, suas críticas e sugestões. Dessa maneira, estratégia de servitização deve se intensificar, particularmente nas áreas relacionadas com a operacionalidade das aeronaves: manutenção, passageiros e voos. A crescente servitização ampliará o poder das grandes fabricantes de aviões frente aos seus clientes – as companhias aéreas –, derrubando as barreiras à entrada no setor de transporte aéreo, ampliando a competitividade entre as companhias já existentes e possibilitando a criação de novos modelos de negócio. As tecnologias de IA também são fundamentais para o avanço dos sistemas de interface homem-máquina, com destaque para a introdução de sistemas que operem por reconhecimento de voz e também para um maior processamento de informações, que possibilite mais consciência situacional e sistemas de suporte aos pilotos, visando a corrigir eventuais falhas humanas e ampliar a segurança de voo. Essas tecnologias também deverão ser usadas para operar as aeronaves por meio dos novos sistemas de controle de tráfego aéreo, e também nos sistemas de entretenimento de bordo, que devem se tornar cada vez mais sofisticados, demandando, assim, um maior consumo de energia.
- **Produção:** esse deve ser o setor mais impactado pelas novas tecnologias de rede, IA, IoT e PIC, viabilizando a crescente introdução de sistemas automatizados ao longo de todas as etapas da cadeia produtiva, particularmente na produção das aeroestruturas e na montagem final das aeronaves.

- **Operação otimizada e serviços:** avanços em inteligência artificial e IoT permitirão o desenvolvimento de soluções de operação e manutenção cada vez mais sofisticadas, como o gerenciamento da saúde da aeronave, automação e otimização de pousos e decolagens em aeroportos, operação *single pilot* etc.

As futuras aeronaves do segmento de aviões turboélices comerciais devem incorporar parte das tecnologias introduzidas pelas grandes aeronaves comerciais, mas com uma defasagem temporal. As inovações a serem incorporadas estão relacionadas com a introdução de materiais avançados, dado que os atuais aviões turboélices ainda são produzidos quase que exclusivamente com ligas de alumínio. As inovações de IA e redes também devem ser incorporadas, por conta da necessidade de adequar as futuras aeronaves comerciais aos novos sistemas de controle de tráfego aéreo. Também devem ser introduzidas inovações incrementais no processo produtivo, visando à crescente automatização das unidades fabris. Com relação ao sistema de propulsão, deverá haver incorporação de motores híbridos tuboelétricos e provavelmente será concomitante à introdução desses motores no segmento de aeronaves comerciais. Apesar do baixo crescimento do mercado de aviões turboélices, o desinteresse dos atuais *players* abre a possibilidade para a entrada de novos modelos – que incorporem, pelo menos, algumas inovações tecnológicas –, produzidos por empresas que busquem se deslocar para o segmento. Dessa maneira, a possibilidade de contestação nos próximos dez anos é bastante elevada.

### 2.2.1.3 Aviões executivos

No segmento de jatos executivos, os avanços tecnológicos devem apresentar um impacto transformador, com destaque para: i) a crescente integração de sensores que permitam monitorar o desempenho das aeronaves e, conseqüentemente, a realização das manutenções preditivas; ii) a incorporação de materiais avançados não apenas nas estruturas, mas principalmente no interior das aeronaves; e iii) a crescente participação das tecnologias relacionadas com a IoT e a PIC nas unidades produtivas.

Os avanços da tecnologia de inteligência artificial poderão ter um impacto disruptivo nos modelos de negócio de seus principais clientes e, conseqüentemente, de todo o segmento. A elevada capacidade de armazenamento e processamento inteligente das informações permitirá a constituição de um sistema de gerenciamento das grandes frotas de aeronaves executivas, possibilitando a otimização de suas operações.

Em paralelo, o avanço das tecnologias de rede ampliará esse mercado com a difusão de programas (aplicativos) que possibilitem conectar as demandas dos clientes com as ofertas de aeronaves. O resultado será uma grande ampliação da oferta de serviços de transporte com custos bastante reduzidos, pela expansão das companhias de propriedade compartilhada e, principalmente, pela criação de empresas voltadas exclusivamente para prestação desse serviço de forma customizada e personalizada.

Caso as empresas prestadoras de serviços de transporte aéreo executivo se consolidem, é possível que, a longo prazo, os próprios fabricantes de jatos executivos tenham interesse em oferecer diretamente o serviço. Assim, a possibilidade de contestação desse segmento é média, não pela entrada de novas fabricantes, mas em decorrência de uma provável mudança nos modelos de negócio de seus clientes.

Vale destacar que, dada a alta sofisticação tecnológica desse segmento, em paridade com as aeronaves comerciais, a análise de impactos das novas tecnologias para o desenvolvimento de novos produtos para o mercado de aviação executiva seja parecida com a de aviões comerciais maiores. Assim, são esperados novos projetos de configuração aerodinâmica e propulsão – especialmente aqueles que permitam o voo supersônico –, utilização de materiais avançados, sistemas embarcados inteligentes, soluções otimizadas de serviço e produção cada vez mais robotizada, ágil e personalizada.

#### *2.2.1.4 Aviação geral*

Quanto aos aviões leves, dadas as suas características técnicas, deve-se difundir no segmento a introdução dos motores elétricos, a inovação mais disruptiva dessa indústria nas últimas décadas. Grandes empresas aeronáuticas e de motores elétricos, como a Airbus e a Siemens, vêm utilizando esse segmento para testar suas inovações e apresentá-las ao mercado. A isso se soma a crescente capacidade de armazenamento de energia das novas baterias, além da facilidade de se instalarem motores elétricos em modelos de aeronaves já existentes.

As aeronaves desse segmento devem também continuar a incorporar, de maneira crescente, os materiais avançados, assim como avançar na utilização da manufatura aditiva. Cabe ainda destacar a incorporação da IA em inovações incrementais, como os óculos de realidade aumentada, que fazem o papel de um *head-up display* (HUD) nos aviões leves (UBIRATAN, 2014). Como resultado, haverá uma alta possibilidade de contestação do mercado, reforçado por sua estrutura de oferta pulverizada, que vem passando por um amplo processo de mudança patrimonial, em âmbito mundial, ao longo dos últimos anos.

#### *2.2.1.5 Helicópteros*

Este segmento deve incorporar, de maneira incremental e progressiva, a maior parte das tecnologias inovadoras, com destaque para os compósitos, que já são utilizados inclusive em componentes críticos, como as pás de sustentação, e devem continuar a ser incorporados de maneira crescente nas cabines. As tecnologias de IA poderão contribuir na interface homem-máquina e, associadas com as tecnologias de redes, ser incorporadas em virtude da implementação dos novos sistemas de controle de tráfego aéreo. Apesar da baixa escala produtiva do segmento, devem ser introduzidas diversas



inovações incrementais no processo, particularmente as relacionadas com manufatura aditiva. Assim, a maioria das inovações previstas apresenta caráter incremental. Além disso, o segmento tem elevadas especificidades técnicas e mercadológicas e uma estrutura de mercado concentrada em poucas grandes empresas. Por isso, a possibilidade de contestação dos líderes desse mercado nos próximos dez anos é muito baixa.

#### 2.2.1.6 Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT)

Este segmento será o mais impactado pelas inovações disruptivas e sua estrutura de mercado deverá manter um elevado dinamismo, com a contínua abertura de janelas de oportunidade para novos entrantes. As tecnologias de IA permitirão o desenvolvimento de VANT que operem com uma autonomia cada vez maior, tanto no que se refere ao controle de voo quanto na execução de missões.

O desenvolvimento de VANT completamente autônomo, como os modelos experimentais Northrop Grumman X-47B e Dassault nEUROn, devem avançar e atingir o nível operacional na próxima década (YENNE, 2017). Os avanços nas tecnologias de rede e da IoT também produzirão impactos disruptivos, ao possibilitar não apenas a operação autônoma dos VANT, mas também a operação conjunta e coordenada entre eles. Essa capacitação de exercer atitudes colaborativas passa a ser essencial para as operações centradas em rede (*network centric operations*) e para as operações em enxame (*swarm*). Tais inovações estão sendo experimentadas no âmbito militar, mas devem ser estendidas para aplicações civis ao longo da próxima década.

Este também é o único segmento da indústria aeronáutica a ser impactado de forma disruptiva pela nanotecnologia, dada a elevada necessidade de miniaturização de componentes e sistemas para serem empregados em VANT de dimensões bastante reduzidas, denominados microveículos aéreos (MAV). Os avanços nas tecnologias de armazenamento de energia também promoverão impactos disruptivos, ao possibilitar operações de VANT de médio porte com motores elétricos. No entanto, os de grande porte e longo alcance, reunidos nas categorias Male (*medium-altitude, long endurance*) e Hale (*high-altitude, long endurance*) somente poderão incorporar os motores elétricos se houver um uso combinado de outras fontes de energia, como a solar ou a de células de hidrogênio, o que somente deve ocorrer no longo prazo. Os materiais avançados devem ser empregados de maneira contínua e incremental, não devendo provocar impactos disruptivos, pois os VANT atuais já são produzidos majoritariamente em compósitos.

As tecnologias da PIC também devem ser introduzidas de forma progressiva, com destaque para o uso da manufatura aditiva. Por fim, é importante ressaltar o impacto das inovações disruptivas sobre os equipamentos embarcados que são utilizados em atividades específicas (carga paga). Destaque para os sensores de monitoramento ópticos e eletromagnéticos, somado com a capacidade e a velocidade de armazenamento, transmissão e tratamento das informações.

## 2.2.2 Impactos nos demais setores A&D

### 2.2.2.1 Setor de sistemas e sensores

Este setor deve ser um dos mais impactados pelas inovações disruptivas. As tecnologias de rede, IoT e IA estão promovendo uma ampla reestruturação nos modelos de controle de tráfego aéreo, que serão implantados nos próximos dez anos nos Estados Unidos (NextGen) e na União Europeia (Sesar). Esses novos modelos são baseados em sistemas de posicionamento via satélite, utilizando o controle por radares em solo apenas como redundância. Outra mudança fundamental está centrada na comunicação por dados (*data link*) em tempo real, permitindo a utilização de um amplo e crescente volume de informações gerado pela própria operação das aeronaves. O processamento dessas informações de maneira inteligente possibilitará maior otimização e segurança das operações aéreas.

Os C2I já vêm absorvendo há mais tempo as novas tecnologias, centradas nas comunicações por meio de dados (*data link*) e posicionamento via satélite, tendo resultado no *network-centric warfare* (NCW). Além disso, o aumento do desempenho e a redução dos custos dos sensores<sup>44</sup> tem possibilitado uma ampla difusão dos C2I, que passam a ser empregados não apenas no nível estratégico, como os sofisticados sistemas de defesa aérea de abrangência nacional, mas também no nível tático, fornecendo por exemplo uma ampla consciência situacional para os soldados de infantaria que operam num teatro de operações específico. Neste último modelo de integração de sistemas, destacam-se os programas denominados Soldado do Futuro, atualmente em desenvolvimento<sup>45</sup>.

Tais mudanças tecnológicas e concorrências devem resultar numa elevada probabilidade de contestação do mercado. Os grandes sistemas de sistemas voltados para defesa deverão continuar a ser integrados pelos conglomerados que lideram o setor. Contudo, no segmento de controle de tráfego aéreo deverá haver uma ampla mudança nos modelos de negócio, com a implantação das parcerias público-privadas ou, num caso extremo, da privatização desses amplos sistemas. Neste caso, os grandes conglomerados A&D, que atuam como integradores dos sistemas e orquestradores da cadeia de suprimentos, terão de passar a operar também a nova geração de sistemas de controle do tráfego aéreo – caso contrário, estarão fora do mercado. Além disso, a crescente utilização das tecnologias *commercial of the shelf* (Cots) vem reduzindo as barreiras à entrada no setor, possibilitando que empresas de menor porte venham a ofertar a montagem (arquitetura) de C2I táticos para atender a necessidades específicas.

44. Essa redução dos custos se deve ao fato de os sistemas de sistemas militares estarem incorporando tecnologias comerciais (*commercial of the shelf* – Cots) de maneira crescente.

45. Dentre os principais programas “Soldado do Futuro” destacam-se o *Fantassin à Équipements et Liaisons Intégrés* (Felin), da França; o *Future Infantry Soldier Technology* (Fist), do Reino Unido e o *Future Force Warrior*, dos Estados Unidos.

### 2.2.2.2 Setor de armas aéreas

As tecnologias de IA e IoT devem produzir os maiores impactos neste segmento, possibilitando o desenvolvimento de sensores de guiagem mais sofisticados e a incorporação de *softwares* que permitem uma operação autônoma ainda mais inteligente. Os avanços nas tecnologias de redes também possibilitam que essas armas tenham um controle mais seguro e sujeito a menos interferências.

No entanto, a expectativa é que a maioria dos avanços seja incorporada de forma incremental, a cada nova geração de mísseis. Por sua vez, as tecnologias de armazenamento de energia podem possibilitar o desenvolvimento de uma nova categoria de tecnologias substitutas dos mísseis, as armas de energia dirigida (*directed-energy weapon* – DEW), que vêm sendo pesquisadas desde o início dos anos 1980, particularmente pelos Estados Unidos, mas deverão estar operacionais apenas em algumas décadas. Dado que o setor de armas aéreas é altamente concentrado em âmbito mundial e que o impacto das inovações deverá ser predominantemente incremental, conclui-se que a possibilidade de contestação da estrutura de mercado existente é muito baixa.

### 2.2.2.3 Setor espacial

O impacto das novas tecnologias está centrado nos sistemas embarcados, essencialmente nos eletrônicos e seus *softwares*. As tecnologias de rede, IA, IoT e, mais recentemente, da nanotecnologia têm possibilitado uma série de avanços incrementais que deverão ampliar ainda mais a capacidade das atuais plataformas de satélites, com destaque para o extraordinário aumento de volume de transmissão de dados utilizando as plataformas dos satélites de comunicação já existentes.

No entanto, essas tecnologias também estão resultando em inovações disruptivas, com o desenvolvimento de satélites de dimensões cada vez menores (miniaturizados) e que podem operar em formação, constituindo redes de comunicação ou monitoramento especializadas: minissatélites (100-500 kg); microsatélites (10-100 kg); nanosatélites (1-10 kg) e picosatélites (0,1-1 kg). Apesar de os minissatélites terem se originado na década de 1990, a grande expansão desses equipamentos vem ocorrendo ao longo dos últimos anos. A Euroconsult projeta mais de 500 pequenos lançamentos entre os anos 2015-2019, com um valor de mercado estimado em US\$ 7,4 bilhões, demonstrando a crescente importância do segmento.

A crescente participação dos satélites miniaturizados deve produzir mudanças nos modelos de negócio, pois esses equipamentos estão sendo desenvolvidos, lançados e operados por empresas privadas. Eles são tradicionalmente lançados como cargas úteis secundárias em grandes veículos, mas há uma série de empresas desenvolvendo veículos de lançamento direcionados aos satélites miniaturizados, abrindo uma importante janela de oportunidades no segmento de veículos lançadores de pequeno porte.

#### 2.2.2.4 Criação de um novo setor: veículos aéreos urbanos autônomos

O impacto das inovações disruptivas poderá resultar na criação de um novo setor no sistema produtivo A&D, o setor de veículos aéreos urbanos autônomos. Nos últimos anos foram iniciados diversos projetos, baseados na intensa utilização das inovações disruptivas voltados para criar não apenas uma nova categoria de aeronave, mas de um amplo sistema de transporte aéreo urbano de uso compartilhado. Para tanto, é necessário o desenvolvimento de uma categoria de aeronaves multirrotores de decolagem e aterrissagem vertical com propulsão elétrica, denominadas *electrical vertical take-off and landing vehicles* (EVTOL). Essas aeronaves serão baseadas nas mais avançadas tecnologias de armazenamento de energia – enfatizando a taxa de carga das baterias (a rapidez com que ela pode ser trazida de volta para uma carga quase completa, que determina o tempo de inatividade operacional) – e nos materiais avançados de baixo peso e resistência elevada, com a expectativa de uso crescente dos compósitos nanoestruturados.

A nanotecnologia também será empregada, mas de maneira indireta, possibilitando o desenvolvimento de materiais avançados e dos sistemas eletrônicos miniaturizados de elevada capacidade de processamento e armazenamento. Por sua vez, as tecnologias de rede, IA e IoT serão utilizadas para se construir um sistema de pilotagem autônomo que otimize as rotas e permita que mais veículos compartilhem o céu, além de operar com elevado nível de segurança.

Atualmente existem cerca de 20 projetos, desenvolvidos em paralelo, com o objetivo de criar veículos aéreos autônomos de uso urbano. São exemplos o Uber Elevate – projeto capitaneado pela Uber com a participação da Embraer, Bell Helicopter, Aurora Flight Sciences<sup>46</sup>, Pipistrel, Mooney International Corp, além do apoio dos governos locais de Dallas (Estados Unidos) e Dubai (Emirados Árabes Unidos) e com o suporte técnico da NASA – e o Vahana, desenvolvido pela empresa A<sup>3</sup>, subsidiária da Airbus localizada no Vale do Silício (Estados Unidos).

O projeto Uber Elevate prevê para 2025 o início da operação com a utilização dos veículos aéreos pilotados, considerando que até essa data nem a tecnologia de pilotagem autônoma estará totalmente madura, nem haverá uma certificação que permita a utilização de veículos aéreos sem piloto. Somente num médio prazo, com a própria difusão do projeto, o avanço das tecnologias envolvidas e a legislação adequada, os pilotos deverão ser gradualmente substituídos por sistemas autônomos baseados na IA. O projeto Vahana, por sua vez, é mais ambicioso, acreditando-se que poderá avançar mais rapidamente na incorporação de um sistema de pilotagem autônomo.

46. Em 2017, a Boeing anunciou a aquisição da Aurora FlightSciences, especializada no *design* de aeronaves (MUOIO, 2017).

## 2.3 Experiência brasileira

Dada a crucial importância da empresa líder – a Embraer –, a análise dos impactos das inovações disruptivas está centrada nesta empresa e na sua atuação no setor aeronáutico e em outros que compõem o sistema produtivo A&D. Abaixo é efetuada uma breve análise dos impactos dessas inovações sobre a cadeia produtiva da empresa líder e, a seguir, a avaliação é estendida para alguns nichos de mercado da indústria aeronáutica brasileira.

### 2.3.1 Embraer

O principal segmento de mercado da Embraer, o de aviões comerciais a jato, deverá ser um dos mais impactados pelas inovações disruptivas. Como foi dito, a expectativa é de que esse conjunto de tecnologias resulte em um novo projeto dominante da aviação comercial, denominado “avião híbrido”. Apesar da previsão de que esse projeto entrará em operação em mais de uma década, é fundamental que a Embraer avance no domínio de todas essas novas tecnologias, isso é, que tenha capacitação para utilizá-las e integrá-las em um projeto de aeronave totalmente novo.

A empresa terá de avançar para a concepção de novos modelos de aeronaves comerciais inovadores, com configuração diferente da convencional tubo-asa e propulsão integrada, como a híbrido-elétrica. Além disso, outras inovações importantes podem ocorrer, como a busca de maior automação da cabine de comando e integração com o sistema de tráfego aéreo, permitindo assim a migração da operação comercial para um modelo *single pilot*. Qualquer que seja a forma como se configure essa inovação, a mudança será uma ruptura em relação aos projetos até então existentes, não apenas da Embraer, mas de toda a indústria aeronáutica. Ademais, essas novas aeronaves deverão ser produzidas utilizando-se uma combinação de diferentes materiais avançados.

Embora a Embraer não produza os principais sistemas que compõem suas aeronaves, será um desafio para a empresa a integração das novas tecnologias, particularmente dos sistemas de propulsão híbridos, que deverão acarretar profundas modificações nos projetos das aeronaves. Igualmente, a incorporação das tecnologias da informação e comunicação, principalmente a IA, implicará grandes mudanças nas operações das aeronaves, com prováveis impactos sobre os modelos de negócio das companhias aéreas. Por fim, a produção das aeronaves deverá ser realizada seguindo os mais avançados métodos produtivos, centrados na digitalização do processo produtivo, além da elevada automação e uso crescente da manufatura aditiva.

Apesar de a Embraer ser uma empresa que adota a estratégia de seguidora tecnológica, ela tem realizado um amplo esforço para incorporar essas novas tecnologias – particularmente as resultantes das inovações disruptivas – e, assim, estar capacitada para acompanhar as empresas líderes no desenvolvimento de aeronaves comerciais

de acordo com os conceitos estabelecidos por um novo projeto dominante. Uma das evidências desse esforço é a recente estratégia de reinternalização de parte da estrutura produtiva e verticalização do desenvolvimento dos sistemas de comando *fly-by-wire*, que garantem um maior controle sobre os projetos das aeronaves, bem como das inovações a elas incorporadas. Além disso, a reinternalização de parte das atividades produtivas viabiliza, técnica e economicamente, a implantação da manufatura avançada.

A estratégia da empresa de robustecer sua participação nos mercados de aeronaves militares e executivas é fundamental, pois estes devem sofrer menos os impactos das tecnologias disruptivas. Além disso, a Embraer possui produtos novos com boas perspectivas. O segmento militar está introduzindo um avançado avião de transporte e reabastecimento aéreo, o KC-390, que incorpora diversas inovações incrementais, num mercado ainda baseado em modelos tecnologicamente ultrapassados. Por sua vez, o Super Tucano é praticamente o único avião de ataque leve adequado ao uso em conflitos assimétricos. Ademais, a redução de custos proporcionada pelas novas TIC deverá possibilitar a ampliação das vendas no segmento dos aviões de vigilância e inteligência.

Ainda no segmento militar, cabe ressaltar a participação da Embraer no Programa Gripen NG, em parceria com a empresa sueca Saab. Este programa militar permite, de um lado, que a Embraer entre no maior e mais sofisticado subsegmento da indústria aeronáutica militar; por outro, possibilita a incorporação de novas tecnologias, particularmente aquelas relacionadas com a integração de sistemas digitais de elevada sofisticação tecnológica.

Com relação aos jatos executivos, os maiores avanços estarão concentrados na estrutura produtiva e nos modelos de negócio, mas haverá também importantes inovações na área de conforto e interiores. No entanto, observa-se que as estratégias adotadas pela Embraer avançam nesta direção, permitindo à empresa consolidar sua posição entre os grandes fabricantes de jatos executivos do mundo. Destaca-se o lançamento dos novos aviões da família Legacy.

A perspectiva é que a empresa brasileira consolide sua atuação, ao longo dos próximos dez anos, com as aeronaves que estão sendo lançadas nos três segmentos de mercado em que atua, sendo também presumível que lance novas aeronaves. Uma das alternativas mais prováveis seria retornar ao mercado de aeronaves regionais de propulsão turboélice. Ainda que apresente pouco dinamismo, o segmento apresenta baixas barreiras à entrada quando comparado com outros segmentos da indústria aeronáutica. Por conseguinte, a introdução de um novo modelo de avião turboélice permitiria à empresa ocupar uma boa parcela desse segmento, além de ser uma importante oportunidade para avaliar na prática uma parcela significativa das inovações disruptivas. No limite, existiria inclusive a possibilidade de se incorporarem os motores híbridos turboelétricos.

A participação da Embraer no programa do veículo aéreo autônomo urbano Uber Elevate é de grande importância para o desenvolvimento tecnológico, pois possibilita sua participação num projeto revolucionário em conjunto com diversas empresas de alta tecnologia. Mesmo que a iniciativa não logre êxito, será uma grande oportunidade para a Embraer participar do desenvolvimento e da incorporação de inovações disruptivas, particularmente as relacionadas com materiais avançados, armazenamento de energia, IA e redes. Por outro lado, se o projeto for exitoso, a Embraer poderá ocupar uma posição de destaque em um dos mais revolucionários programas do setor aeronáutico, abrindo um novo setor de atuação.

Destaca-se ainda o elevado impacto das inovações disruptivas – IA, rede e IoT – sobre o setor de sistemas e sensores, no qual a Embraer possui liderança nacional com suas subsidiárias Atech e Bradar, respectivamente. A possível implantação de um novo modelo de controle de tráfego aéreo no Brasil trará um grande desafio tecnológico e concorrencial para a Atech, que terá de se capacitar na integração das tecnologias inovadoras, além de enfrentar concorrentes estrangeiros. Por outro lado, as inovações tecnológicas abrem grandes oportunidades não apenas na implantação dos grandes sistemas de monitoramento terrestre, mas também nos segmentos de segurança pública e logística, nos quais a Embraer já vem atuando. Ademais, essas inovações permitem que a Atech diversifique sua atuação para outros setores fora do sistema produtivo A&D, com destaque para os amplos projetos de mobilidade urbana e cidades inteligentes.

Conclui-se que as inovações disruptivas implicam em elevados riscos, mas também grandes oportunidades para a empresa líder do sistema produtivo A&D. Os maiores riscos estão concentrados no seu principal segmento de mercado (aviões comerciais a jato), pois as empresas que não acompanharem as inovações trazidas pelo futuro projeto dominante estarão fora do mercado, inclusive empresas com capacidade e competência construídas e desenvolvidas por várias décadas, como é o caso da Embraer.

Por outro lado, a incorporação das inovações disruptivas pode ser uma oportunidade para a Embraer consolidar sua posição de terceira maior fabricante mundial de aviões, além de permitir diversificar sua atuação para setores que estão sendo criados a partir dessas novas tecnologias, como o do projeto Uber Elevate.

### *2.3.1.1 Cadeia de fornecedores e nichos de mercado*

O impacto das inovações disruptivas sobre a cadeia produtiva da Embraer também deverá ser bastante elevado. A área metalmecânica, em que atua a maioria dos fornecedores nacionais da empresa líder, será diretamente afetada pela introdução dos materiais avançados e pelas tecnologias transformadoras relacionadas com a manufatura avançada, particularmente a automação e a impressão 3D. Além da defasagem tecnológica, as subsidiárias brasileiras fabricantes de aeroestruturas terão de

enfrentar a estratégia da Embraer de reinternalizar parte de suas atividades produtivas e de substituir alguns importantes fornecedores nacionais por estrangeiros.

As fabricantes de aeroestruturas nacionais terão de ampliar a competitividade com a automatização de suas unidades fabris, o que somente será economicamente viável se tiverem um volume de produção mais elevado. Assim, apenas algumas poucas fornecedoras deverão manter suas atividades no Brasil, e as demais devem adotar uma estratégia de redução de tamanho (*downsize*) e se especializar em atividades específicas ou, então, fechar suas unidades produtivas.

Os fornecedores da área metalmeccânica de segundo nível também terão de incorporar novas tecnologias, particularmente as relacionadas com a digitalização das informações, para participar da cadeia de fornecimento das grandes empresas. Também terão de se adequar para trabalharem com ligas metálicas de alto desempenho e com a combinação de diversos tipos de materiais. Nesse contexto, os investimentos em manufatura aditiva devem ser adotados por diversas empresas. Como resultado, deverá haver uma concentração das atividades em um número menor de fornecedores de segundo nível mais capacitados tecnológica e financeiramente.

Com relação aos poucos fornecedores brasileiros de sistemas embarcados, o impacto das inovações disruptivas deve ser menor, dado que atuam em mercados bastante específicos, mas concentrados em âmbito global. Na maioria dos casos, as unidades brasileiras estão voltadas para as etapas finais de produção, sofrendo, assim, um impacto mais superficial das novas tecnologias. As inovações disruptivas também trazem oportunidades de ampliação e diversificação das empresas que nelas se capacitem, com destaque para algumas empresas nacionais de engenharia que poderiam diversificar suas atividades para o setor produtivo e se consolidar como fornecedoras de primeiro nível.

Ainda no setor aeronáutico, mas fora da cadeia de fornecedores da Embraer, o segmento de VANT será o mais impactado. As mudanças possibilitarão a abertura de importantes janelas de oportunidade para a indústria aeronáutica brasileira, seja com criação de novas empresas, seja com inserção das já existentes.

No entanto, em contraposição a esse elevado dinamismo, observa-se um rápido e crescente processo de concentração de mercado: as categorias mais sofisticadas, de emprego militar, são dominadas pelos grandes conglomerados A&D dos Estados Unidos e de Israel, enquanto o mercado de pequenos VANT de emprego doméstico e comercial é dominado pelas empresas chinesas. As empresas brasileiras devem aproveitar o nicho de mercado de categorias intermediárias de médio alcance, pois, de um lado, é o segmento menos consolidado, com menores barreiras à entrada, e de outro, tem um elevado potencial de mercado interno, pois podem ser utilizadas na área militar e também na área civil, como agricultura, infraestrutura, segurança pública e meio ambiente.



As inovações disruptivas também estão abrindo uma importante janela de oportunidade para o setor espacial brasileiro. As tecnologias de miniaturização possibilitaram a criação de novas categorias de satélites de pequeno porte e baixo custo, que poderiam ser desenvolvidos e fabricados pela indústria espacial brasileira. Além disso, o veículo lançador de microssatélites (VLM) que está sendo desenvolvido pelo DCTA, com capacidade para colocar em órbita satélites de até 200 kg, seria um veículo lançador ideal para esse mercado que apresenta grande potencial de crescimento.



3

# 3 DESAFIOS E IMPLICAÇÕES PARA O BRASIL

## 3.1 Riscos, oportunidades e capacidade de resposta das empresas

O sistema produtivo A&D deverá passar por transformações significativas nos próximos dez anos, em maior ou menor grau, de acordo com seu segmento, em decorrência dos impactos dos *Clusters* Tecnológicos. As diferenças quanto à velocidade do ritmo de difusão de cada *Cluster* nos cinco segmentos analisados são apresentadas no Quadro 5. No caso brasileiro, dada o papel central ocupado pela Embraer no sistema, os desafios colocados para a manutenção e a ampliação da competitividade brasileira estão, em sua maioria, relacionados a essa empresa.

A incorporação das inovações disruptivas pode ser uma oportunidade para a Embraer consolidar sua posição de terceira maior fabricante mundial de aviões, além de permitir diversificar sua atuação para setores que estão sendo criados a partir dessas novas tecnologias, como o novo mercado de mobilidade aérea urbana, com veículos elétricos e de voo autônomo.

Contudo, essas inovações também representam desafios para a empresa. O segmento de aeronaves comerciais a jato, que é o principal segmento de mercado da Embraer, deverá ser um dos mais impactados pelas inovações disruptivas. Neste sentido, os maiores desafios se encontram nas áreas em que a companhia possui maiores competências: projeto, integração e produção de aviões, pois as empresas que não acompanharem as inovações trazidas pelo futuro projeto dominante estarão fora do mercado.

A Embraer terá de avançar para a concepção de novos modelos de aeronaves comerciais inovadores, com configuração diferente da convencional tubo-asa e propulsão integrada, como a híbrido-elétrica. Além disso, outras inovações importantes podem ocorrer, como um maior grau de autonomia da aeronave que permita a migração da operação comercial para um modelo *single pilot* com forte integração com o sistema de controle de tráfego aéreo. Qualquer dessas mudanças será uma ruptura em relação aos projetos até então existentes na indústria aeronáutica como um todo e exigirá da Embraer a capacidade de integração das novas tecnologias.

Em relação aos segmentos de aeronaves militares e executivas, é fundamental que a Embraer mantenha sua estratégia de ampliar sua participação nesses mercados porque são segmentos que devem sofrer, relativamente, menos os impactos das tecnologias disruptivas e, neles, a empresa possui produtos novos com boas perspectivas.

O elevado impacto das inovações disruptivas – IA, Redes e IoT – sobre o setor de sistemas e sensores, no qual a Embraer possui liderança nacional, com suas

subsidiárias Atech e Bradar, trará um grande desafio tecnológico e concorrencial. Essas empresas terão que se capacitar na integração das tecnologias inovadoras, além de enfrentar concorrentes estrangeiros e o risco de descontinuidade dos programas estratégicos do Governo. Por outro lado, essas inovações também abrem grandes oportunidades, não apenas na implantação dos grandes sistemas de monitoramento terrestre, mas também nos segmentos de segurança pública e logística, nos quais a Embraer já vem atuando.

Ademais, essas inovações geraram oportunidades para diversificação na atuação das subsidiárias para outros setores fora do sistema produtivo A&D, com destaque para os amplos projetos de mobilidade urbana e cidades inteligentes.

O impacto das inovações disruptivas sobre a cadeia produtiva da Embraer também deverá ser bastante elevado. É fundamental que as fabricantes de aeroestruturas nacionais ampliem sua competitividade por meio da maior digitalização e automação de suas unidades fabris. Os fornecedores da área metalmecânica de segundo nível também terão de incorporar novas tecnologias, particularmente as relacionadas com a digitalização das informações, e realizar investimentos em manufatura aditiva.

As inovações disruptivas também trazem oportunidades de ampliação e diversificação das empresas que se capacitarem nessas novas tecnologias, com destaque para algumas empresas nacionais de engenharia que poderiam diversificar suas atividades para o setor produtivo e se consolidarem como fornecedoras de primeiro nível. Também são abertas oportunidades no nicho de mercado de VANT de categorias intermediárias de médio alcance. Por fim, é importante ressaltar que as inovações disruptivas também estão abrindo uma importante janela de oportunidades para o setor espacial brasileiro, especialmente por meio das novas tecnologias de miniaturização.

### 3.2 Desafios para a competitividade do sistema produtivo A&D brasileiro

Diante do cenário descrito nesse documento, o Brasil precisa vencer alguns desafios. O primeiro deles é robustecer sua estrutura produtiva. Para tanto, deve preservar e fortalecer seu conglomerado A&D, nacionalmente concentrado na Embraer. O país deve ainda criar oportunidades para empreendimentos emergentes, desenvolvendo instrumentos de incentivo e suporte à constituição de *startups*, bem como ampliar a competitividade da cadeia de fornecedores das grandes empresas, fortalecendo e modernizando tanto as do setor aeronáutico quanto as dos demais setores que compõem o sistema produtivo A&D. Além disso, deve apoiar o robustecimento e a consolidação das empresas já existentes que atuam em nichos de mercado específicos.

Outra frente importante é o fortalecimento da pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). Neste sentido, deve-se planejar e coordenar os programas de pesquisa, desenvolvimento e inovação, permitindo uma otimização dos recursos destinados

aos programas de PD&I. Deve-se também promover o desenvolvimento tecnológico, viabilizando a capacitação das empresas nas tecnologias disruptivas, e ainda fornecer infraestrutura tecnológica, investindo recursos nos centros de pesquisa e universidades, particularmente aqueles voltados para as novas tecnologias.

Além disso, a formação de recursos humanos na área deve ser ampliada, com a criação e o fortalecimento de núcleos de excelência em novas tecnologias, com incentivo e financiamento para o estabelecimento de parcerias nacionais e internacionais. Recomenda-se ainda o fortalecimento e o direcionamento da competência científica e tecnológica já existente nas universidades e centros de pesquisa para formação de profissionais qualificados para o sistema produtivo aeroespacial e defesa (A&D).

No sentido de garantir a demanda, é fundamental utilizar as aquisições governamentais (basicamente militares) – com planejamento, volume de recursos condizentes e regularidade nos desembolsos – para incentivar o desenvolvimento e a incorporação de inovações no sistema produtivo, além de estimular as exportações de produtos e serviços que incorporem maior conteúdo tecnológico, fornecendo suporte financeiro, diplomático e comercial.

Outra forma importante de incentivo e apoio do Estado à P&D nesse setor seria por meio das “Encomendas Tecnológicas”, mecanismo recém-regulamentado no Novo Marco de C,T&I e capaz de apoiar e incentivar o ganho de competência tecnológica de alto impacto mercadológico, mas alto risco de desenvolvimento.

Além disso, a formação de recursos humanos na área deve ser ampliada, com a criação e o fortalecimento de núcleos de excelência em novas tecnologias, com incentivo e financiamento para o estabelecimento de parcerias nacionais e internacionais. Recomenda-se ainda o fortalecimento e o direcionamento da competência científica e tecnológica já existente nas universidades e centros de pesquisa para formação de profissionais qualificados para o sistema produtivo aeroespacial e defesa (A&D).

No sentido de garantir a demanda, é interessante utilizar as aquisições governamentais não só por meio da encomenda de produtos relevantes para setores de Estado, como as Forças Armadas, mas também por meio de “Encomendas Tecnológicas”, mecanismo recém-regulamentado no Novo Marco de C,T&I e capaz de apoiar e incentivar o ganho de competência tecnológica de alto impacto mercadológico, mas alto risco de desenvolvimento.



# REFERÊNCIAS

AERO MAGAZINE. **Embraer faz parceria para inovação com a Uber Elevate Network.** AeroMagazine, 25 de Abril de 2017. Disponível em: [http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/embraer-faz-parceria-para-inovacao-com-uber-elevate-network\\_3451.html](http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/embraer-faz-parceria-para-inovacao-com-uber-elevate-network_3451.html). Acessado em: 2017.

AIR POWER DEVELOPMENT CENTRE. **The Concept of Strategic Air Power.** Disponível em: <http://airpower.airforce.gov.au/Publications>. Acessado em: 2017.

AIRBUS. **Informações Institucionais.** Toulouse, [s.d.]. Disponível em: [www.airbus.com/](http://www.airbus.com/). Acessado em: 2017.

AKAER. **Informações Institucionais.** São José dos Campos, [s.d.]. Disponível em: <https://www.akaer.com.br/>. Acessado em: 2017.

ALUAUTO. **Soldagem no estado sólido.** Aluauto, nº 10, 2008. Disponível em: <http://www.abal.org.br/aluauto/ed10/mundoautomotivo4.asp>. Acessado em 2017.

AWIN – **AVIATION WEEW INTELLIGENCE NETWORK.** Database. Disponível em: <http://aviationweek.com/aviation-week-intelligence-network>. Acessado em: 2017.

BBC NEWS. **China's first big passenger plane takes off for maiden flight.** BBC News, 5 May 2017. Disponível em: <http://www.bbc.com/news/world-asia-china-39814146>. Acessado em: 2017.

BOEING. **24/7 customer support.** Disponível em: [www.boeing.com/features/2013/07/bca-24-7-customerspnt-07-30-13.page](http://www.boeing.com/features/2013/07/bca-24-7-customerspnt-07-30-13.page). Acessado em: 2017.

BORDEAUX-REGO, A.C. **Cluster Tecnológico: Internet das Coisas.** Documento Interno de Trabalho, Projeto Indústria 2027, Rio de Janeiro: IE-UFRJ; Campinas: IE-UNICAMP, 2017.

BOURZAC, K. **Nano Paint Could Make Airplanes Invisible to Radar.** MIT Technology Review, Dec 5, 2011. Disponível em: <https://www.technologyreview.com/s/426276/nano-paint-could-make-airplanes-invisible-to-radar/>. Acessado em: 2017.

BRASIL. **Lei n. 12.598, de 22 de março de 2012.** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12598.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12598.htm). Acessado em: 2017.

Cambridge Dictionary. **Dicionário.** Disponível em: <https://dictionary.cambridge.org/>. Acessado em: 2017.

CARVALHO, A.J.F. **Cluster Tecnológico: Materiais Avançados.** Documento Interno de Trabalho, Projeto Indústria 2027, Rio de Janeiro: IE-UFRJ; Campinas: IE-UNICAMP, 2017.

CASELLA, J.L.P. **Revolucionário! O Lockheed Martin F-35 Lightning II.** Revista Força Aérea, n.49, Rio de Janeiro, dez. 2007.

CHAMAYOU, G. **Drone Theory.** New York: Penguin, 2015. Disponível em: <https://www.technologyreview.com/s/426276/nano-paint-could-make-airplanes-invisible-to-radar/>. Acessado em: 2017.

CHAN, M. **China's J-20 stealth fighter joins the People's Liberation Army air force.** SCMP.COM, 10 March, 2017. Disponível em: <http://www.scmp.com/print/news/china/article/2077732/chinas-j-20-stealth-fighter-flies-fighting-forces-says-state-media>. Acessado em: 2017.

CHASE, M.S.; GUNNESS, K.A.; MORRIS, L.J., BERKOWITZ, S.K.; PURSER III, **B.S. Emerging Trends in China's Development of Unmanned Systems.** RAND Corporation, 2015. Disponível em: [https://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RR990.html](https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR990.html). Acessado em: 2017.

CNI DIGITAL. **As práticas e as tecnologias que posicionam a Embraer.** CNI Digital, 27 de julho de 2017. Disponível em: <http://www.cnidigital.org/artigo/as-praticas-e-as-tecnologias-que-posicionam-a-embraer>. Acessado em: 2017.

COMPUTERWORLD. **Embraer aplica inteligência artificial em manutenção de aeronaves.** Computerworld, 14 de Novembro de 2014. Disponível em: <http://computerworld.com.br/tecnologia/2014/11/14/embraer-aplica-inteligencia-artificial-em-manutencao-de-aeronaves>. Acessado em: 2017.

CORREIA, R.A. **Ávido por descolar da Airbus e da Boeing, o primeiro avião de médio-curso chinês já tem 430 encomendas.** Público, 11 de novembro de 2014. Disponível em: <https://www.publico.pt>. Acessado em: 2017.

CRABBE, J. **Cutting edge it at Boeing: Transforming commercial aviation using WS02.** WSO2, 2013 Disponível em: <https://wso2.com/library/wso2con2013-usa/keynote-cutting-edge-it-at-boeing-transforming-commercial-aviation-using-wso2/>. Acessado em: 2017.

CROCHET, H. **3D printing takes off with aeronautics & aerospace.** Sculpteo. Nov 25, 2015. Disponível em: <https://www.sculpteo.com/blog/2015/11/25/3d-printing-takes-off-with-aeronautics-aerospace/>. Acessado em: 2017.

CROUCH, T.D. **Asas – Uma história da aviação: Das pipas à Era Espacial.** Rio de Janeiro: Record, 2008.

CRS. **Air Force F-22 Fighter Program.** CRS Report for Congress, 2013. Disponível em: <http://www.crs.gov>. Acessado em: 2017.

DAVIDSON, P. **3-D printing could remake U.S. manufacturing.** USA Today, July 10, 2012. Disponível em: <http://usatoday30.usatoday.com/money/industries/manufacturing/story/2012-07-10/digital-manufacturing/56135298/1>. Acessado em: 2017.



DEFENCE IQ. **Fighter Aircraft: Market Update 2015-2016**. International Fighter, November 17 - 19. Disponível em: <http://www.international-fighter.com/>. Acessado em: 2017.

DELOITTE. **2016 Global aerospace and defense sector outlook**. Disponível em: [file:///C:/Users/Barbieri/Downloads/sea-mfg-2016-global-aerospace-defense-outlook-noexp%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Barbieri/Downloads/sea-mfg-2016-global-aerospace-defense-outlook-noexp%20(1).pdf). Acessado em: 2017.

DELOITTE. **2017 Global aerospace and defense sector outlook**. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/manufacturing/articles/a-and-d-outlook.html>. Acessado em: 2017.

DELOITTE. **Merger and acquisition trends in aerospace and defense**. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/manufacturing/articles/a-and-d-outlook.html>. Acessado em: 2017a.

DEPARTMENT OF DEFENCE. **Joint Vision 2020 - America's Military: Preparing for Tomorrow**. Disponível em: <file:///C:/Users/Barbieri/Downloads/nps16-052704-02.pdf>. Acessado em: 2017.

DOMÍNIO FEI. **Congresso de Inovação e Megatendências Debateu Futuro até 2050**. Domínio FEI, nº 28 - Setembro a Dezembro 2016. Disponível em: [http://portal.fei.edu.br/Revista%20Domnio%20FEI/28\\_reduzido.pdf](http://portal.fei.edu.br/Revista%20Domnio%20FEI/28_reduzido.pdf). Acessado em: 2017.

EMBRAER. **Informações Institucionais**. São José dos Campos, [s.d.]. Disponível em: <https://www.embraer.com/br>. Acessado em: 2017.

FERREIRA, M.J.B. **Dinâmica da inovação e mudanças estruturais: um estudo de caso da indústria aeronáutica mundial e a inserção brasileira**. Tese (Doutorado) – Instituto de Economia, Universidade de Campinas, Campinas, 2009. Disponível em: <http://goo.gl/cv3voN>. Acessado em: 2017.

FERREIRA, M.J.B. **Plataforma Aeronáutica Militar**. In.: IPEA/ABDI. Mapeamento da Base Industrial de Defesa. Brasília: ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial: Ipea - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2016. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/160706\\_livro\\_mapeamento\\_defesa\\_capitulo\\_06.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/160706_livro_mapeamento_defesa_capitulo_06.pdf). Acessado em: 2017.

FERREIRA, M.J.B.; SABBATINI, R.C. **Engenharia de projetos na indústria aeronáutica brasileira**. Campinas: ABDI/NEIT-IE-UNICAMP, 2013.

FERREIRA, M.J.B.; SARTI, F. **Diagnóstico: base industrial de defesa brasileira**. Campinas: ABDI/Unicamp, 2011.

FLIGHTGLOBAL. **ATR and Bombardier should heed Embraer's turboprop warning**. FlightGlobal, 22 September, 2017. Disponível em: <https://www.flightglobal.com/news/articles/opinion-atr-and-bombardier-should-heed-embraers-tu-441362/>. Acessado em: 2017.

FMI – FUTURE MARKET INSIGHTS. **Aircraft Cabin Interior Market: Global Industry Analysis and Forecast, 2016-2026**. Future Market Insights, Aug, 17, 2016. Disponível em: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/global-aircraft-cabin-interior-market>. Acessado em: 2017.

FONTOURA, A. Os LIFT e a FAB. **Segurança e Defesa**, n.111, Rio de Janeiro, 2013.

FUNDO AEROESPACIAL. **Informações Institucionais**, [s.d.]. Disponível em: <http://www.fundoaeroespacial.com.br/>. Acessado em: 2017.

FREEMAN, C. **Prometheus Unbound**. Belfast: Butterworth & Co. Ltd, 1984.

G2 SOLUTIONS. **Aerospace & Defesa 2012 Outlook**. In: British American Business Council Aerospace Conference: Tackling Global Supply Chain Risks. Bellevue, Oct 5, 2011.

GADY, F.S. **Russia's First 5th Generation Fighter Jet to Enter Service in 2017**. The Diplomat, September 28, 2015. Disponível em: <http://thediplomat.com>. Acessado em: 2017.

GAO. **Nonproliferation: Agencies Could Improve Information Sharing and End-Use Monitoring on Unmanned Aerial Vehicle Exports. United States Government, General Accountability Office**: GAO-12 536, Jul 2012. Disponível em: <http://www.gao.gov>. Acesso em: 2017.

GHOLZ, E. **Systems integration in the US Defense industry: who does and why is it important?** IN: PRENCIPE, Andrea; DAVIES, Andrew; HOBDAV, Michael. **The business of systems integration**. Oxford: Oxford University Press, 2006.

GINADER, K. **Lead-In Fighter Training Considerations for 5th Generation Aircraft**. Disponível em: <http://www.etcusa.com/etc-newsletter/lead-in-fighter-training-considerations-for-5th-generation-aircraft/>. Acessado em: 2017.

GONZALES, C. **The Future of Electric Hybrid Aviation**. Machine Design, Mar 29, 2016. Disponível em: <http://www.machinedesign.com/print/24844>. Acesso em: 2017.

GREGO, M. **Brasileiros criam microturbina para mísseis**. Exame, 30 maio 2017. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/tecnologia/brasileiros-criam-microturbina-para-misseis/>. Acesso em: 2017.

HENSEL, N. **The Defense Industrial Base: Strategies for a changing world**. Burlington: Ashgate Publishing Company, 2015.

IATA–International Air Transport Association. **Global Aviation and the Fuel Costs**. Seminário Internacional de Combustíveis de Aviação – ANP, Rio de Janeiro, April de 2012. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=60724>. Acessado em: 2017.

JACOB, A. **Embraer and Alcoa to develop aluminium aircraft.** *Materials Today*, Nov28, 2011. Disponível em: <https://www.materialstoday.com/composite-applications/news/embraer-and-alcoa-to-develop-aluminium-aircraft/>. Acesso em: 2017.

JARMUS, M. **China's Commercial Aerospace Market Is the Place to Be, But It Simply Isn't That Simple.** *Martec*, Nov 2, 2016. Disponível em: <https://www.martecgroup.com/china-commercial-aerospace-market/>. Acessado em: 2017.

KALLEE, S.W. **Industrial Applications of Friction Stir Welding.** In.: LOHWASSER, D.; CHEN, Z. (Ed.) *Friction Stir Welding: From Basics to Applications*. Oxford: Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2010.

KATSANOS, A. **Qual é a geração de um caça?** *Revista Força Aérea*, n. 52, Rio de Janeiro, jul. 2008.

KLOTZEL , E. **A construção do avião do future.** *AERO Magazine*, 16 de Maio de 2015. Disponível em: [http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/construcao-do-aviao-do-futuro\\_2112.html](http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/construcao-do-aviao-do-futuro_2112.html). Acesso em: 2017.

KOEHLER, T. **Boeing makes history with flights of Fuel Cell Demonstrator Airplane.** *Boeing Frontiers*, May 2008. Disponível em: [http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2008/may/ts\\_sf04.pdf](http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2008/may/ts_sf04.pdf). Acessado em: 2017.

KRAMNIF, I. **Fifth-generation fighter to be developed in joint project.** *RIA Novosti*, 21 abr. 2009. Disponível em: <http://en.rian.ru/analysis/20090421/121235891.html>. Acessado em: 2017.

LEBOULANGER, A.; KIMLA, D. **Military Training & Simulation Market Spreads its Wings.** *Frost & Sullivan*, 2013.

LEONARDO. **Informações Institucionais.** Roma, [s.d.]. Disponível em: <http://www.leonardocompany.com/>. Acessado em: 2017.

LISKAUKAS , S. **Embraer abre uso do BYOD para impulsionar os negócios.** *Convergência Digital*, 3 de junho de 2013. Disponível em: <http://www.convergenciadigital.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?UserActiveTemplate=site&inford=33922&sid=97>. Acesso em: 2017.

LOCKHEED MARTIN **Informações Institucionais.** Bethesda, [s.d.]. Disponível em: <https://www.lockheedmartin.com/us.html>. Acessado em: 2017.

LYNCH, K. **New Embraer Teams To Explore 'Disruptive' Technologies.** *AIN On Line*, Mar 15, 2017. Disponível em: <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2017-03-15/new-embraer-teams-explore-disruptive-technologies>. Acessado em: 2017.

MARTRE, H. **A indústria aeroespacial: Análises e reflexões**. Outubro de 2001. Disponível em: <http://www.france.org.br/abr/imagesdelafrance/aeroespacial.htm>. Acesso em: 2017.

MATOS, P.O. **Sistemas Espaciais voltados para Defesa**. In.: IPEA/ABDI. Mapeamento da Base Industrial de Defesa. Brasília: ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial: Ipea - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2016. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/160706\\_livro\\_mapeamento\\_defesa\\_capitulo\\_07.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/160706_livro_mapeamento_defesa_capitulo_07.pdf). Acessado em: 2017.

MERIAM-WEBSTER'S DICTIONARY. **Dicionário**. Disponível em: <https://www.merriam-webster.com/>. Acessado em: 2017.

MOBILE TIME. **Carro voador da Airbus terá inteligência artificial e direção autônoma**. Mobile Time, 16 de janeiro de 2017. Disponível em: <http://www.mobilettime.com.br/16/01/2017/carro-voador-da-airbus-tera-inteligencia-artificial-e-direcao-autonoma/465162/news.aspx>. Acessado em: 2017.

MOWERY, D.C.; ROSENBERG N. **Mudança Técnica na Indústria de Aeronaves Comerciais, 1925-1975**. In: ROSENBERG N. Por Dentro da Caixa-Preta: Tecnologia e Economia. Campinas: Editora da UNICAMP, 2006.

MUOIO, D. **Boeing is buying the company that is helping Uber develop flying taxis (BA)**. Markets Insider, Oct. 5, 2017. Disponível em: <http://markets.businessinsider.com/news/stocks/boeing-to-buy-aurora-flight-sciences-2017-10-1003089151>. Acessado em: 2017.

NEXTFLEX. **Informações Institucionais**. San Jose, [s.d.]. Disponível em: <https://www.nextflex.us/>. Acessado em: 2017.

O TEMPO. **Atrás de inovação, Embraer ruma para o Vale do Silício**. O Tempo, 11 de julho de 2017. Disponível em: <http://www.otempo.com.br/interessa/tecnologia-e-games>. Acessado em: 2017.

OCDE. **The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business**. Paris: OECD Publishing, 2017.

OLIVEIRA, J.J. **Airbus e Bombardier se unem para produzir jatos comerciais CSeries**. Valor Econômico, 17 out. 2017. Disponível em: <http://www.valor.com.br/empresas/5158088/airbus-e-bombardier-se-unem-para-produzir-jatos-comerciais-cseries>. Acessado em: 2017.

OLIVEIRA JR, O.N. **Cluster Tecnológico: Nanotecnologia**. Documento Interno de Trabalho, Projeto Indústria 2027, Rio de Janeiro: IE-UFRJ; Campinas: IE-UNICAMP, 2017.

OXFORD DICTIONARIES. **Dicionário**. Disponível em: <https://en.oxforddictionaries.com/>. Acessado em: 2017.

PIERMATEI FILHO, O. **F-35 Lightning II – Um caça de quinta geração.** Tecnologia & Defesa, n.114, São Paulo, 2008.

POTT, A.C. **O Avanço da Tecnologia Militar e a Inteligência Artificial: Uma análise dos desafios emergentes do uso da força por meio de sistemas autônomos.** In.: VI Encontro da Associação Brasileira de Relações Internacionais: Perspectivas sobre o poder em um mundo em redefinição. Belo Horizonte, 28 de julho de 2017.

PRATT & WHITNEY. **Informações Institucionais.** East Hartford, [s.d.]. Disponível em: [www.pw.utc.com](http://www.pw.utc.com). Acessado em: 2017.

PWC & FLIGHTGLOBAL. **Top 100 Aerospace Companies — 2016.** Disponível em: <https://www.flightglobal.com/>. Acessado em: 2017.

RIBEIRO, E. **Redução de poluentes já é realidade em aéreas.** Brasil Econômico, 15 de janeiro de 2015. Disponível em: <http://brasileconomico.ig.com.br/negocios/2015-01-15/reducao-de-poluente-ja-e-realidade-em-aereas.html>. Acessado em: 2017.

RIOJA, R.J.; LIU, J. **The Evolution of Al-Li Base Products for Aerospace and Space Applications.** SpringerLink, March 31, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11661-012-1155-z#Fig16>. Acessado em: 2017.

SANTOS, F.I.V. **Bioquerosene de Aviação: Panorama e perspectivas do biocombustível.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade de Campinas, Campinas, 2015. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000958419&opt=1>. Acessado em: 2017.

SCMP, **South China Morning Post. China's J-20 stealth fighter joins the People's Liberation Army air force.** SCMP, 10 March, 2017. Disponível em: <http://www.scmp.com>. Acessado em: 2017.

SIEMENS. **Informações Institucionais.** Berlin, [s.d.]. Disponível em: <https://www.siemens.com>. Acessado em: 2017.

SILVA, A.L.G. DA. **Concorrência sob Condições Oligopolísticas: contribuição das análises centradas no grau de atomização/concentração dos mercados.** Campinas: IE/UNICAMP – Coleção Teses, 2004.

SILVEIRA, V. **Embraer sai na frente e automatiza linha de asas.** Valor Econômico, 14 de Dezembro de 2015. Disponível em: <http://www.defesanet.com.br/embraer/noticia/21085/Embraer-sai-na-frente-e-automatiza-linha-de-asas/>. Acessado em: 2017.

SIPRI. **International Transfers of Combat Aircraft, 2005–2009.** SIPRI Fact Sheet, 2010.

SIPRI. **Top 100 arms-producing and military services companies.** Disponível em: <https://www.sipri.org/databases>. Acessado em: 2017.

TAYLOR, A.J.P. **Jane's Book of Remotely Piloted Vehicles**. London: Collier Books, 1977.

TEAL GROUP. **C-17 Military Transport – The End of an Era?** Teal Group, out. 2013. Disponível em: <http://tealgroup.co/index.php/teal-group-news-briefs/item/c-17-military-transport-the-end-of-an-era-2>. Acessado em: 2017.

TORRESI, R.M. **Cluster Tecnológico: Armazenamento de Energia**. Documento Interno de Trabalho, Projeto Indústria 2027, Rio de Janeiro: IE-UFRJ; Campinas: IE-UNICAMP, 2017.

TRIGAUX, The U.S., **China and Rare Earth Metals “The Future Of Green Technology, Military Tech, and a Potential Achilles” Heel to American Hegemony**. Thesis (University Honors Program), University of South Florida St. Petersburg, 2012. Disponível em: <http://dspace.nelson.usf.edu/xmlui/bitstream/handle/10806/4632/David%20Trigaux%20Honors%20Thesis%5B1%5D.pdf?sequence=1>. Acessado em: 2017.

UBER ELEVATE. **Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation**. Uber Elevate, Oct 27, 2016. Disponível em: <https://www.uber.com/elevate.pdf>. Acessado em: 2017.

UBIRATAN. E. **Novo avião comercial da Embraer decola pela primeira vez**. AERO Magazine, 23 de Maio de 2016. Disponível em: [http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/novo-aviao-comercial-da-embraer-decola-pela-primeira-vez\\_2633.html#ixzz56H8ZMIXx](http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/novo-aviao-comercial-da-embraer-decola-pela-primeira-vez_2633.html#ixzz56H8ZMIXx). Acesso em: 2017.

UBIRATAN. E. **O futuro da aviação leve**. AERO Magazine, 2 de outubro de 2014. Disponível em: [http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/o-futuro-da-aviacao-leve\\_1755.html](http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/o-futuro-da-aviacao-leve_1755.html). Acesso em: 2017.

UTTERBACK, J.M. **Dominando a Dinâmica da Inovação**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1996.

WEBAVIATION. **Boeing 787 Dreamliner**. Disponível em: <http://webaviation.blogspot.com/2008/06/boeing-787-dreamliner.html>. Acessado em: 2017.

WILSON, C. **Network Centric Operations: Background and Oversight Issues for Congress**. CRS Report for Congress. March 15, 2007. Disponível em: <file:///C:/Users/Barbieri/Downloads/ADA466624.pdf>. Acessado em: 2017.

YENNE, B. **Drone Strike!: UCAVs and Aerial Warfare in the 21st Century**. Forest Lake: Speciality Press, 2017.

ZERBINI, J. **Manufatura Avançada: I4.0 na Indústria Aeronáutica**. Apresentação no Seminário Manufatura Avançada realizado pelo Fórum Brasileiro de Internet das Coisas Revolucionária Negócios e Vida. Campinas, CPqD, 30 de Maio de 2017.



**IEL/NC**

*Paulo Afonso Ferreira*  
Diretor-Geral

*Gianna Cardoso Sagazio*  
Superintendente

*Suely Lima Pereira*  
Gerente de Inovação

*Afonso de Carvalho Costa Lopes*  
*Cândida Beatriz de Paula Oliveira*  
*Cynthia Pinheiro Cumarú Leodido*  
*Débora Mendes Carvalho*  
*Julieta Costa Cunha*  
*Mirelle dos Santos Fachin*  
*Rafael Monaco Floriano*  
*Renaide Cardoso Pimenta*  
*Zil Miranda*  
Equipe Técnica

**DIRETORIA DE SERVIÇOS CORPORATIVOS – DSC**

*Fernando Augusto Trivellato*  
Diretor de Serviços Corporativos

**Área de Administração, Documentação e Informação – ADINF**

*Maurício Vasconcelos de Carvalho*  
Gerente-Executivo de Administração, Documentação e Informação

*Alberto Nemoto Yamaguti*  
Normalização Pré e Pós-Textual

---

**Execução Técnica**

Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ  
Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

*Marcos José Barbieri Ferreira*  
Autor

*Luciano Coutinho*  
*João Carlos Ferraz*  
*David Kupfer*  
*Mariano Laplane*  
*Luiz Antonio Elias*  
*Caetano Penna*  
*Fernanda Ultremare*  
*Giovanna Gielfi*  
*Mateus Labrunie*  
*Henrique Schmidt Reis*  
*Carolina Dias*  
*Thelma Teixeira*  
Execução Técnica

*Editorar Multimídia*  
Revisão Gramatical, Projeto Gráfico e Diagramação







MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL  
PELA INOVAÇÃO

Execução Técnica:



Iniciativa:



Confederação Nacional da Indústria

**CNI. A FORÇA DO BRASIL INDÚSTRIA**

Realização:



Iniciativa da CNI - Confederação  
Nacional da Indústria