



MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL
PELA INOVAÇÃO

**Indústria
2027**

mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

SÍNTESE DOS RESULTADOS CONSTRUINDO O FUTURO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA

VOLUME 1

TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS E INDÚSTRIA:
SITUAÇÃO ATUAL E AVALIAÇÃO PROSPECTIVA

VOLUME 2

TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS E INDÚSTRIA:
DESAFIOS E RECOMENDAÇÕES



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria

INDÚSTRIA 2027

Riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas

SÍNTESE DOS RESULTADOS

CONSTRUINDO O FUTURO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA

VOLUME 1
TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS E INDÚSTRIA: SITUAÇÃO
ATUAL E AVALIAÇÃO PROSPECTIVA

**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

SÍNTESE DOS RESULTADOS

©2018. IEL – Instituto Euvaldo Lodi

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

IEL/NC

Superintendência IEL

FICHA CATALOGRÁFICA

I59s

Instituto Euvaldo Lodi. Núcleo Central.

Síntese dos resultados. Volume 1 – Tecnologias disruptivas e indústria: Situação atual e avaliação prospectiva / Instituto Euvaldo Lodi, Luciano Coutinho, João Carlos Ferraz, David Kupfer, Mariano Laplane, Caetano Penna, Fernanda Ultremare, Giovanna Gielfi, Luiz Antonio Elias, Carolina Dias, Jorge Nogueira de Paiva Britto, Julia Ferreira Torracca -- Brasília: IEL/NC, 2018.

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

1. Cluster Tecnológico 2. Sistemas Produtivos 3. Tecnologia 4. Inovação
I. Título

CDU: 005.591.6

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Campo de estudos do projeto Indústria 2027	26
Figura 2 – Etapas de desenvolvimento do projeto Indústria 2027	27
Figura 3 – Funções e gerações de tecnologias digitais.....	54
Figura 4 – Probabilidade de a G4 ser dominante no futuro no setor de atuação da empresa (em todas as funções) – total da indústria e sistemas produtivos (em % respondentes).....	56
Figura 5 – Probabilidade de a G4 ser dominante no futuro, no setor de atuação da empresa, por função – total da indústria (em % respondentes).....	57
Figura 6 – Uso de gerações de tecnologias digitais em 2017 e esperado para 2027 – total da indústria e sistemas produtivos (em % respondentes).....	58
Figura 7 – Uso de gerações de tecnologias digitais em 2017 e esperado para 2027 de acordo com o porte das empresas (em % respondentes).....	59
Figura 8 – Uso de gerações de tecnologias digitais em 2017 e esperado para 2027 de acordo com o nível de capacitação das empresas (em % respondentes).....	60
Figura 9 – Uso de gerações de tecnologias G4 pelas empresas em 2017 e esperado até 2027, de acordo com as cinco funções organizacionais (em % respondentes)	61

Figura 10 – Geração digital no futuro vs. atitudes em curso para atingi-la (em % respondentes).....	62
Figura 11 – Probabilidade de as empresas seguirem uma determinada estratégia de digitalização em função de determinantes comportamentais e estruturais.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Conceitos para avaliação e prospecção tecnológica.....	34
Quadro 2 – Mapa dos <i>clusters</i> tecnológicos	35
Quadro 3 – Custos de novas tecnologias e produtos: evolução recente e projeções.....	42
Quadro 4 – Mercados de novas tecnologias e produtos: evolução recente e projeções.....	43
Quadro 5 – Impactos dos <i>clusters</i> tecnológicos nos sistemas produtivos...44	
Quadro 6 – Caracterização do painel de respondentes	53
Quadro 7 – <i>Clusters</i> tecnológicos relevantes: BK e TIC.....	72
Quadro 8 – <i>Clusters</i> tecnológicos relevantes: A&D e E&P.....	92
Quadro 9 – Trajetórias para E&P: trajetórias, soluções e tendências	94
Quadro 10 – <i>Clusters</i> tecnológicos relevantes: farmacêutica e bioeconomia.....	95
Quadro 11 – Evolução de processos industriais associados à bioeconomia	97
Quadro 12 – <i>Clusters</i> tecnológicos relevantes para insumos intermediários.....	117
Quadro 13 – <i>Clusters</i> tecnológicos relevantes: alimentos, automotiva, eletrodomésticos e têxtil, vestuário e calçados.....	135

LISTA DE BOXES

Box 1 - A regressão logística ordenada	63
-----------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
Um mundo em transformação	13
O que são inovações combinadas, sinérgicas e disruptivas?	14
Estratégias nacionais para construir futuros.....	15
A oportunidade do Indústria 2027	16
Desafios para a indústria brasileira: perseguir alvos em movimento	17
Premissas para a construção do futuro	18
Alvos em movimento: implicações para empresas e políticas públicas....	19
Construir alicerces para todos	21
O Brasil pode e deve construir o futuro de sua indústria	23
INTRODUÇÃO.....	25
Um mundo em transformação	25
O projeto Indústria 2027: campo de estudos.....	25
Desenvolvimento do Indústria 2027 e estrutura desta publicação	27
A avaliação prospectiva dos <i>clusters</i> tecnológicos	28
A análise dos impactos sobre os sistemas produtivos e focos setoriais	28
Rápida síntese dos grupos de setores.....	29
Partir dos legados e dos desafios dos sistemas produtivos brasileiros	31
1 CLUSTERS TECNOLÓGICOS: O QUE SÃO, COMO EVOLUEM E QUE IMPACTOS PODEM CAUSAR AS INOVAÇÕES POTENCIALMENTE DISRUPTIVAS?	33
1.1 Como analisar as mudanças tecnológicas?.....	33
1.2 Mapa, trajetórias e caracterização dos <i>clusters</i> tecnológicos.....	34
1.3 Alertas	46

2 A DIGITALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA: ONDE ESTAMOS E PARA ONDE VAMOS?	51
2.1 Digitalização nas empresas: o que e como perguntar?	51
2.2 A execução da pesquisa e o painel de empresas.....	52
2.3 2027: as tecnologias digitais avançadas serão dominantes na indústria brasileira?.....	55
2.4 2017 e 2017: a digitalização nas empresas	57
2.5 Como se diferenciam as empresas em seus movimentos de digitalização?	62
2.6 Requisitos para uma trajetória sustentável de digitalização.....	65
2.7 Referências bibliográficas.....	66
3 DIFUSORES DE INOVAÇÕES: ACOMPANHAR A FRONTEIRA PRODUTIVA E EXPLORAR SINERGIAS COM SETORES COMPETITIVOS.....	69
3.1 Quais são os sistemas difusores de inovações?.....	69
3.2 Qual a importância econômica dos difusores de inovações e quais são os determinantes da mudança tecnológica?	70
3.3 Quais são as tecnologias relevantes e seus impactos potenciais?	72
3.4 Onde estamos? Para onde vamos? Tecnologias relevantes nas empresas.....	78
3.5 Nossos desafios, riscos e oportunidades.....	82
4 ATIVIDADES ESPECIALIZADAS E DE CONHECIMENTO AVANÇADO: EXPLORAR E EVOLUIR COM A FRONTEIRA TECNOLÓGICA INTERNACIONAL.....	87
4.1 Quais são as atividades especializadas e de conhecimento avançado?	87
4.2 Qual é a importância econômica das atividades especializadas e quais são os determinantes da mudança tecnológica?.....	88
4.3 Quais são as tecnologias relevantes e seus impactos potenciais?	91
4.4 Onde estamos? Para onde vamos? Tecnologias relevantes nas empresas	97
4.5 Nossos desafios, riscos e oportunidades	101
4.6 Referências bibliográficas.....	106

5 PRODUTORES DE INSUMOS INTERMEDIÁRIOS: ACOMPANHAR A FRONTEIRA DA PRODUTIVIDADE E EXPLORAR SINERGIAS COM SETORES COMPETITIVOS	109
5.1 Quem são os produtores de insumos intermediários?	109
5.2 Qual é a importância econômica dos insumos intermediários e quais são os determinantes da mudança tecnológica?	110
5.3 Quais são as tecnologias relevantes e seus impactos potenciais?	116
5.4 Onde estamos? Para onde vamos? As tecnologias relevantes nas empresas	121
5.5 Nossos desafios, riscos e oportunidades	125
6 BENS DE CONSUMO: ENCURTAR DISTÂNCIAS DA FRONTEIRA PRODUTIVA PARA AUMENTAR A PRODUTIVIDADE	129
6.1 Quem são os produtores de bens de consumo?	129
6.2 Qual a importância econômica dos bens de consumo e quais são os determinantes da inovação e da mudança tecnológica?	131
6.3 Quais são as tecnologias relevantes e seus impactos potenciais?	134
6.4 Onde estamos? Para onde vamos? Tecnologias relevantes nas empresas	140
6.5 Nossos desafios, riscos e oportunidades	144
APÊNDICE 1 – CURRÍCULOS DOS CONSULTORES E ESPECIALISTAS CONSULTADOS	151
APÊNDICE 2 – MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA ORDENADA...	161



RESUMO

Um mundo em transformação

O mundo está atravessando as primeiras etapas de profundas **transformações nos padrões de produção, concorrência, modelos de negócio, consumo e estilos de vida**. Os vetores destas transformações atuam tanto do lado da demanda, a partir do envelhecimento das populações, das aspirações e frustrações das classes médias, dos desafios da mudança climática, quanto do lado da oferta, a partir da aceleração dos **avanços da ciência e tecnologia (C&T)**, do ingresso de **novos protagonistas na concorrência internacional** e da **adoção de estratégias nacionais de ciência, tecnologia e inovação (CT&I)** proativas.

O comércio internacional cresceu e a concorrência acirrou-se significativamente a partir dos anos 1990, quando a produção de determinados setores industriais foi crescentemente fragmentada geograficamente, no que veio a tornar-se conhecido como cadeias globais de valor (CGVs). Empresas dos países industriais avançados terceirizaram a produção e concentraram-se nos elos sofisticados das cadeias de valor. Os novos produtores, principalmente na Ásia, entraram nas etapas intensivas em trabalho, explorando vantagens de custo. Porém, na década subsequente as empresas asiáticas automatizaram intensamente seus processos, acumularam economias de escala e avançaram em pesquisa e desenvolvimento (P&D), habilitando-se a disputar liderança global em diversos segmentos, tais como equipamentos de tecnologia de informação e comunicação (TIC), dispositivos de acesso à internet, microeletrônica e bens duráveis de consumo.

Essas mudanças geoeconômicas propiciaram o surgimento de **estruturas produtivas descentralizadas e sofisticadas**. As empresas líderes de CGVs engajaram parceiros (empresas e instituições de pesquisa, domésticas ou internacionais) com capacidades tecnológicas complementares em **ecossistemas de inovação multiparceiros, interdisciplinares e internacionalizados**. Os ecossistemas que se movem na fronteira tecnológica caracterizam-se por múltiplos e densos nexos de cooperação, interdisciplinaridade e participação de centros de excelência internacionais.

Em paralelo, **acelerou-se o ritmo do progresso técnico**. *Clusters* de inovações combinadas e sinérgicas estão emergindo **com força suficiente para produzir efeitos disruptivos** sobre os modelos de negócio, os determinantes da competitividade e as estruturas de mercado em todas as atividades produtivas. **Que inovações são essas?** Quais são os seus elementos constituintes? Como evoluem seus custos e mercados? Qual a velocidade de difusão? Tal potencial disruptivo já se manifesta em todas as tecnologias e em todas as atividades produtivas?

Essas **inovações** surgem como processos “naturais” ou **estão sendo construídas** por meio de longos e persistentes processos interativos entre o mundo da C&T, o mundo dos negócios e o mundo das políticas públicas? Até que ponto esses processos **antecipam e respondem a desafios da sociedade** ou a demandas da concorrência e dos mercados? É possível identificar **novos modelos de negócio** adaptados para aproveitar oportunidades derivadas das novas tecnologias? Que **fatores-chave** determinarão o **sucesso competitivo**? Que mudanças ocorrem nas estruturas de mercado quando essas tecnologias tornam-se economicamente relevantes? São as empresas incumbentes que sistematicamente aproveitarão as oportunidades ou essas estarão sendo ameaçadas por novos entrantes?

Elucidar questões dessa natureza é um passo essencial a um projeto de construção do futuro da indústria brasileira.

O que são inovações combinadas, sinérgicas e disruptivas?

Soluções que combinam e potencializam inovações intensivas em conhecimento estão sendo introduzidas e difundidas para criar novos mercados e novos modelos de negócio, acarretando significativos impactos sociais e econômicos. A capacidade de solucionar desafios técnicos aumenta significativamente quando se combinam bases científicas e tecnológicas diferentes: por exemplo, a genômica, com a computação de alto desempenho, para o sequenciamento do DNA; os microprocessadores avançados de reconhecimento de imagens com robótica, para veículos autoguiados; ou a Internet das Coisas (IoT), com a inteligência artificial e redes de comunicação avançadas, para *smart grids* e controle de tráfego em centros urbanos.

Apesar das diferenças em suas bases de conhecimento, todas as soluções tecnológicas que mostram potencial disruptivo têm dois **elementos em comum: custos em queda acentuada e mercados em forte expansão**. Por exemplo, o custo do sequenciamento de genomas humanos caiu de US\$ 95 milhões, em setembro de 2001, para US\$ 1.000, em setembro de 2017. O custo médio de sensores para IoT era US\$ 1,30, em 2004, e pode chegar a US\$ 0,38, em 2020. O custo em US\$/KWh de baterias lítio-íon caiu de US\$ 1.000, em 2010, para US\$ 209, em 2017. Em 2017, as vendas de soluções de *big data* foram estimadas em US\$ 34 bilhões e podem triplicar em oito anos. Também até 2025 devem triplicar os dispêndios em robótica, atingindo US\$ 70 bilhões.

A avaliação prospectiva do projeto Indústria 2027 informa que **todos os sistemas produtivos conviverão com tecnologias disruptivas em até dez anos. Embora o tempo seja escasso, a indústria brasileira pode e deve se preparar para essas mudanças tecnológicas que se avizinham**.

Os **modelos de negócio** das empresas e suas cadeias de valor estão **evoluindo para modelos integrados, conectados, inteligentes e “servitizados”**. São integrados e conectados porque os diferentes elos das cadeias de valor e das atividades intraempresas ficarão tão próximos que suas fronteiras tendem a se desfazer. São inteligentes porque informações econômicas e técnicas serão captadas e processadas *on-line*, de modo que, por meio de algoritmos de inteligência artificial, decisões de ações e reações a fenômenos produtivos poderão ser delegadas a equipamentos e sistemas digitais. Modelos dessa natureza permitem que as empresas forneçam bens e serviços intrinsecamente complementares, ou que, ao invés de vender, ofereçam o uso de bens sob a forma de serviços.

Tais modelos abrem a porta para que as empresas apoiem suas estratégias em **novos fatores de competitividade**: nos processos e nas cadeias de valor, as novas tecnologias permitem **otimizar a gestão de toda a cadeia e aumentar precisão dos parâmetros de eficiência**, combinar **escala com diferenciação e customização** e, no limite, **personalizar produtos**. Agricultura de precisão e medicina personalizada, por exemplo, são conceitos que se tornaram operacionalizáveis com base em *clusters* de inovações combinadas e sinérgicas.

Sob crescente pressão competitiva as empresas precisam se transformar e adotar novos modelos de negócio. Em consequência, **as estruturas de mercado tornam-se mais vulneráveis à entrada de novos concorrentes**, mais flexíveis em face de diferentes formatos empresariais e mais permeáveis a mudanças de liderança.

Estratégias nacionais para construir futuros

Nunca houve antes tantos países priorizando simultaneamente a CT&I como no presente. Os Estados Unidos pretendem manter a sua liderança em CT&I e recuperar capacidade de sua manufatura. O dispêndio público e empresarial para P&D em 2018 é estimado em US\$ 533 bilhões (2,7% do Produto Interno Bruto – PIB). Na China, esse dispêndio é da ordem de US\$ 279 bilhões (2,3% do PIB) e tende a crescer. O plano Made in China 2025 não se encerra neste ano; é ambição do país ser superpotência mundial em 2049. A Alemanha, conhecida pela iniciativa Industrie 4.0, almeja fortalecer a hegemonia de suas indústrias mecânica e química, entre outras. O investimento alemão em P&D, em 2017, foi estimado em US\$ 105 bilhões (2,8% do PIB).

Apesar das diferenças de legados e de ambições, uma comparação entre os países que têm estratégia em curso revela focos em comum, quais sejam: sustentar competitividade internacional, desenvolver ecossistemas de inovação, criar empregos e qualificar as pessoas, apoiar as empresas de menor porte, dar atenção à qualidade de vida, à saúde e ao envelhecimento da população e zelar pela sustentabilidade ambiental. **Estas estratégias de construção do futuro são articuladas por visões nacionais**

comuns, são comandadas pelas autoridades executivas máximas de cada país, suas ações estão apoiadas em concertação público-privada e as alocações de recursos são significativas e previsíveis.

A oportunidade do Indústria 2027

Mundo em transformação, acirramento da concorrência internacional com base na inovação, *clusters* de tecnologias emergindo com poder disruptivo e países implementando estratégias para promover ecossistemas produtivos e inovativos motivaram a Confederação Nacional da Indústria (CNI), por meio do Instituto Euvaldo Lodi (IEL), no âmbito da Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), a mobilizar o Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e o Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) para realizar o projeto “Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante inovações disruptivas”.

O projeto Indústria 2027 identificou tendências e **impactos de tecnologias disruptivas** sobre diferentes sistemas produtivos no horizonte de cinco a dez anos; avaliou a capacidade empresarial de defletir riscos e **aproveitar oportunidades**; e desenvolveu recomendações para o planejamento estratégico das empresas e subsídios à formulação de políticas públicas.

O campo de estudos é composto por *clusters* tecnológicos e sistemas produtivos com focos setoriais. **As tecnologias foram definidas em função de seu impacto disruptivo potencial** e organizadas em oito *clusters* tecnológicos por proximidade de bases técnicas. **A indústria foi estratificada em dez sistemas produtivos e 14 focos setoriais específicos**, selecionados em função da importância econômica dessas atividades na matriz industrial do país e do impacto potencial das inovações sobre cada um deles.

Os *clusters* tecnológicos são: inteligência artificial, *big data*, computação em nuvem; IoT e seus respectivos sistemas e equipamentos; produção inteligente e conectada (manufatura avançada); redes de comunicação; nanotecnologias; bioprocessos e biotecnologias avançadas; materiais avançados e novas tecnologias de armazenamento de energia (AE). Já os sistemas produtivos e focos setoriais são: agroindústrias e alimentos processados; insumos básicos e siderurgia; química e bioeconomia; petróleo e gás e exploração e produção (E&P) em águas profundas; bens de capital (BK) e máquinas e implementos agrícolas, máquinas ferramenta, motores elétricos, equipamentos de geração, transmissão e distribuição de energia; complexo automotivo e veículos leves; TICs e sistemas e equipamentos de telecomunicações, microeletrônica e *software*; farmacêutica e biofármacos; bens de consumo e têxtil e vestuário.

Durante **14 meses**, desde março de 2017, uma equipe constituída de 75 especialistas de reconhecida competência em tecnologias, setores industriais e política de

inovação, no Brasil e no exterior, foi mobilizada para contribuir para o Indústria 2027. Uma pesquisa de campo consultou aproximadamente 750 empresas industriais no segundo semestre de 2017. Representantes informados dessas empresas posicionaram-se quanto ao estágio atual e às perspectivas da digitalização nas empresas. **O desenvolvimento do projeto Indústria 2027 foi acompanhado pela MEI**, em todas as reuniões de líderes e em algumas sessões dos Diálogos da MEI. Um comitê supervisor acompanhou a execução e definiu orientações estratégicas; os relatórios receberam colaboração das equipes técnicas da CNI, do IEL e do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), e o IEL garantiu a execução tempestiva. **Esses são os principais ativos do Indústria 2027: o conhecimento e a competência de profissionais informados e especializados.**

Cabem dois alertas. Primeiro, nesse projeto foram consideradas primordialmente as soluções tecnológicas que poderão estar disponíveis comercialmente até 2027. Soluções que se projetam para além de 2027 não foram objeto de análise em profundidade. Segundo, não foram objeto de atenção direta as transformações que o progresso técnico trará sobre outras dimensões da vida econômica e social. Impactos sobre padrões de consumo, sobre o mercado de trabalho e as ocupações e sobre a configuração regional dos ecossistemas, por exemplo, foram considerados somente quando relevantes para a competitividade das empresas.

Desafios para a indústria brasileira: perseguir alvos em movimento

A indústria brasileira possui uma estrutura diversificada e diferenciada; entre seus sistemas produtivos e mesmo dentro de cada atividade econômica coexistem empresas com níveis variados de capacidade e de desempenho competitivo. Assim, não é possível ter como referência, como faz a Alemanha, somente a geração mais avançada de tecnologias digitais para a manufatura.

O projeto Indústria 2027 realizou uma análise prospectiva do estágio de digitalização da indústria brasileira, distinguindo entre quatro gerações de digitalização (G1, G2, G3 e G4), começando por uma digitalização pontual (G1) até a empresa integrada, conectada e inteligente (G4). Representantes de aproximadamente 750 empresas informaram: (i) o estágio em que suas instituições se encontravam em 2017 e onde esperam estar até 2027; (ii) como as empresas estão se preparando para o futuro; e (iii) qual a probabilidade atribuída à geração mais avançada para vir a se tornar dominante nos setores de atuação das empresas. Os resultados mais importantes são:

- Em 2027, a G4 será dominante no setor de atuação das empresas para 65% dos representantes das instituições. Eles indicam, portanto, que suas empresas enfrentarão concorrentes com modelos de negócio integrados, conectados e inteligentes.

- Em 2017, aproximadamente 75% das empresas estão em G1 e G2; somente 1,6% das empresas se vê localizada em G4. O ponto de partida é, portanto, desafiador.
- Em 2027, as expectativas são de avanços importantes: aproximadamente 60% das empresas esperam estar em G3 ou G4 no futuro. As perspectivas são de modernização em marcha forçada.
- Empresas avançadas (G3 e/ou G4 em 2017 e até 2027) têm 66% de probabilidade de ser de maior porte, ter alta capacitação e possuir planos em execução para lograr a geração esperada; empresas passivas (G1 e/ou G2 em 2017 e até 2027) têm 75% de probabilidade de ser de menor porte, ter baixa capacitação e nenhum plano.
- Independentemente de características estruturais ou comportamentais das empresas, o investimento em novas tecnologias tem retorno positivo; a implementação pode ser gradual, conforme a disponibilidade de recursos e o estágio de desenvolvimento das organizações, mas não deve ser postergada.

A análise dos sistemas produtivos feita pelo Indústria 2027 seguiu três passos consecutivos: (i) identificação de riscos e oportunidades para cada um dos dez sistemas produtivos (e seus focos setoriais); (ii) análise comparada dos sistemas, reunidos em quatro grupos de setores selecionados pela similaridade da função ou da natureza das atividades que exercem na economia, quais sejam, setores difusores de inovações, atividades especializadas e de conhecimento avançado, produtores de insumos intermediários e provedores de bens de consumo; (iii) localização de grupos de empresas (e suas características estruturais, em termos de sistema produtivo e porte) em três diferentes estágios de desenvolvimento, distinguindo entre empresas que evoluem na fronteira tecnológica, empresas que podem acompanhar a fronteira da produtividade e empresas que precisam encurtar a distância da fronteira de eficiência produtiva. As distâncias das fronteiras tecnológica e produtiva constituíram as âncoras para a elaboração de recomendações para o planejamento empresarial e para políticas públicas.

Premissas para a construção do futuro

A experiência internacional mostra que a construção de estratégias nacionais de inovação robustas requer o consenso em torno de uma visão nacional comum. Essas estratégias devem partir dos legados existentes, reconhecendo fraquezas e forças; devem definir visões e metas ambiciosas para tirar proveito das oportunidades; e atuam com realismo e pragmatismo.

Já a consecução de estratégias para novas tecnologias requer: (i) sua priorização no mais alto nível de governo e a existência de metas compartilhadas com contrapartidas com o setor privado; (ii) a realização de investimentos substantivos na capacitação de recursos humanos; (iii) a implementação de regulações e fomento pró-inovação; (iv) a modernização e o aumento da capacidade de resposta do Estado; e (v) a implementação de ações por meio de programas e instrumentos coordenados e alinhados às necessidades das empresas e com monitoramento de resultados.

Naturalmente são condições fundamentais e facilitadoras dessas estratégias nacionais a retomada sustentada do crescimento econômico, com juros e câmbio competitivos; os investimentos crescentes em infraestruturas e reformas institucionais (tributária, fiscal, financeira); a facilidade de negócios e a segurança jurídica. Porém, a administração do país não deveria condicionar a execução de uma estratégia nacional de inovação à existência dessas condições sistêmicas. A estratégia de inovação deve ter alta prioridade, persistência e visão de longo prazo, e deve ser preservada mesmo durante etapas cíclicas desfavoráveis.

Alvos em movimento: implicações para empresas e políticas públicas

Para além dos direcionamentos comuns, empresas próximas da fronteira tecnológica ou da fronteira de produtividade e aquelas que precisam encurtar distâncias da fronteira produtiva enfrentam desafios competitivos bastante distintos. Esses grupos de empresas encaram pressões de demanda e da concorrência distintas, possuem competências diferentes e inserem-se em ecossistemas produtivos e inovativos específicos. Naturalmente, para cada grupo serão também específicas as implicações para estratégias competitivas e políticas públicas.

Para **as empresas e os ecossistemas que podem evoluir na fronteira tecnológica**, a **estratégia recomendada** é competir por diferenciação, antecipando ou criando mercados, com as empresas atentas a oportunidades de fusões e aquisições para aquisição de novas competências. Destacam-se, aqui, como **competências essenciais** a geração, o uso e a difusão de inovações avançadas, de diferentes bases de conhecimento, por meio de investimentos em P&D e da coliderança de redes de ecossistemas produtivos e inovativos, incluindo o comando e o monitoramento diuturno pela alta geração das organizações. Esses **ecossistemas** devem buscar fortalecer a base científica e tecnológica das redes interdisciplinares (inclusive internacionais) com universidades, centros de pesquisa e fornecedores; favorecer *startups* em *hubs* e incubadoras de empresas; e empreender velocidade na identificação de desafios e proposição de soluções. Para isso, é preciso promover a **concertação público-privada em programas e planos**, o que requer construir consenso entre interesses públicos e privados; implementar ações por meio de programas com focos explícitos e lideranças especificadas, em sintonia fina com setor privado; realizar ação conjunta de agências de fomento e regulatórias; e monitorar e avaliar resultados de forma contínua. Com relação ao **financiamento** para a difusão de soluções tecnológicas visando aos ganhos de produtividade na economia, recomenda-se o financiamento público e o engajamento privado, utilizando-se todos os instrumentos disponíveis, como subvenção, crédito e capital de risco, para suportar todo o ciclo de inovação, com a coparticipação do setor privado para compartilhar riscos. As grandes empresas devem também investir (*corporate venturing*) em empresas de base tecnológica.

Para completar o quadro, as **regulações** devem ser orientadas para inovações que explorem fronteiras tecnológicas, e as **compras públicas** devem ser orientadas por missões para programas prioritários associados às novas tecnologias.

Para **as empresas e os ecossistemas que podem acompanhar a fronteira de produtividade**, a **estratégia recomendada** é investir em modelos de negócio integrados, conectados e inteligentes, abrangendo toda a cadeia de valor, para maximizar ganhos de produtividade e sustentar a competitividade internacional. Para essas empresas, as **competências essenciais** são engenharia, P&D e conhecimento de mercados para capturar oportunidades de diferenciação de produto/serviços, além do uso (ou desenvolvimento) de novos materiais em componentes e soluções digitais avançadas e do comando/monitoramento diuturno pela alta gestão das organizações. Esses **ecossistemas** devem priorizar engenharia e P&D e imprimir velocidade na identificação de desafios e proposição de soluções; devem também favorecer *startups* em *hubs* e incubadoras de empresas em uma perspectiva de longo prazo e empreender esforços no sentido de evoluir para redes interdisciplinares com centros de pesquisa, fornecedores e clientes. Com relação ao **financiamento**, recomenda-se organizar o financiamento público em programas com compartilhamento de riscos com o setor privado. As empresas também devem fazer investimentos para introduzir e/ou avançar no uso de tecnologias digitais, complementando o financiamento público, e devem buscar investir (*corporate venturing*) em empresas de base tecnológica. As **regulações** devem assegurar precisão, qualidade, segurança (inclusive de dados) e sustentabilidade ambiental.

Para **as empresas e os ecossistemas que precisam encurtar distâncias da fronteira produtiva**, a **estratégia recomendada** envolve investir no conhecimento e na implementação de soluções digitais para ganhar produtividade, e, ao mesmo tempo, fortalecer a gestão de negócios e a capacidade de entregar qualidade e preços com eficiência. Para essas empresas, as **competências essenciais** são a capacidade de gestão do negócio, em especial da produção, além de conhecimentos para a especificação e a implementação de soluções tecnológicas mais adequadas ao negócio. Para o avanço dos **ecossistemas**, recomenda-se que instituições de apoio tecnológico públicos, privados e os Institutos SENAI assumam o papel de liderar as redes e motivar as empresas, cabendo aos centros de serviços técnicos especializados o papel de oferecer soluções digitais para promover a tecnologia industrial básica, e às instituições de apoio à gestão empresarial, como o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), promover a difusão maciça de novas práticas associadas às tecnologias digitais. É fundamental que os participantes das cadeias produtivas (especialmente grandes empresas a montante ou a jusante) participem dos ecossistemas para qualificar seus fornecedores ou clientes, e que se promovam experimentos demonstrativos de soluções digitais, como linhas de produção e *testbeds*. Com relação ao **financiamento**, é crucial promover condições de crédito favoráveis para financiar a aquisição de equipamentos, *softwares*, serviços de integração de sistemas e outros serviços digitais adequados para empresas e ecossistemas. Para o **fomento** à difusão

de novas tecnologias, devem-se orientar programas de serviços técnicos especializados para desafios específicos de tecnologia industrial básica, com metas de ampliação e organizados em redes (por exemplo, Redes SENAI), e ampliar, de forma maciça e significativa, programas de apoio à gestão empresarial (tais como Brasil Mais Produtivo), visando à difusão de soluções digitais adequadas ao perfil das empresas e compreendendo focos espaciais, setoriais ou temáticos, com metas e contrapartidas estabelecidas. Com relação às **regulações**, essas devem induzir a oferta de externalidades.

Construir alicerces para todos

Com relação à **capacitação de recursos humanos**, ressalta-se que o sistema de formação profissional brasileiro público e privado e, especialmente, o SENAI, constituem agentes estratégicos para promover a evolução do perfil de qualificação dos trabalhadores brasileiros. É necessário avançar na direção de: (i) evoluir de “centros de formação” para “centros de aprendizagem”; (ii) ampliar e diversificar programas de treinamento profissional para desenvolver e renovar habilidades ao longo da vida do trabalhador; (iii) antecipar e prevenir necessidades de habilidades e talentos de trabalhadores e empresas; (iv) inserir o ensino e o uso de tecnologias digitais em todos os níveis de educação; e (v) promover estudos e debates sobre impactos do progresso técnico sobre ocupações, qualificações e trabalho, rendas e benefícios sociais.

Para promover a **capacitação das pequenas e médias empresas (PMEs)**, é necessário ampliar maciçamente programas de capacitação empresarial, assistência técnica e prestação de serviços técnicos/metrológicos, tal como o Brasil Mais Produtivo. Esses programas devem promover normas e padrões que facilitem a difusão das novas tecnologias, assegurem interoperabilidade e orientem a atuação das redes existentes de assistência às PMEs. É preciso também difundir soluções digitais e *softwares* integradores, plataformas experimentais modulares, inclusive para manufatura enxuta e eficiência energética, por meio da Rede SENAI de Institutos de Tecnologia e Institutos de Inovação, em parceria com o SEBRAE, além de financiar essas soluções por meio das instituições financeiras públicas. Para incrementar a capacitação das PMEs, é preciso mobilizar instrumentos de crédito, subvenção e capital de risco com vistas à estruturação de atividades permanentes de engenharia e P&D nessas empresas. Por fim, ressalta-se a necessidade de reforçar redes de incubadoras e aceleradoras e garantir tratamento fiscal favorável aos fundos de capital de risco.

Com relação aos **aspectos regulatórios**, precisamos de regulações contemporâneas e eficientes, o que requer, fundamentalmente, atualizar marcos legais envolvendo comunicações, CT&I, compras governamentais, biodiversidade, privacidade e segurança de rede, pesquisas e aplicações derivadas de técnicas de genômica avançada, além do “Marco Civil da Internet das Coisas”. Urge também acelerar a capacitação e a digitalização das agências reguladoras/empresas públicas, notadamente Instituto

Nacional da Propriedade Industrial (INPI), Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

Com relação às **agências setoriais**, é urgente fazer convergir e padronizar conceitos dos normativos sobre inovação e P&D (inclusive os da Receita Federal), com vistas a aumentar a eficiência e a segurança jurídica. Além disso, é preciso disponibilizar e dar previsibilidade para os recursos de fundos setoriais operados pelas agências, além de forjar parcerias com agências de financiamento em iniciativas de promoção do desenvolvimento tecnológico orientadas por desafios e organizadas por programas, em linha com as experiências bem-sucedidas da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPPI) e do programa Inova Empresa, com mais recursos não reembolsáveis.

Para fazer **fomento com segurança jurídica**, é preciso descomprimir recursos federais destinados ao sistema de CT&I e definir projetos e programas prioritários no mais alto nível de governo, com metas compartilhadas com o setor privado. Recomenda-se ampliar escalas de suporte à inovação das instituições financeiras federais, por meio de financiamento, inclusive não reembolsável, e capitalização com custos e condições adequadas (exemplos como os da EMBRAPPI devem ser fortalecidos e ampliados), assegurando recursos para as distintas fases dos projetos prioritários, especialmente as de *scaling-up* e de manufaturabilidade. Para isso, deve-se prever a alocação de recursos adicionais, de forma previsível e não contingenciável, destinados à capacitação das instituições de C&T públicas e privadas. Recomenda-se também o aprimoramento da Lei do Bem, com ampliação das deduções, permissão de contratação parcial de P&D externa, inclusão de incentivos para investimentos em *startups*, capital semente, investidores-anjo, capital de risco etc. Adicionalmente, para garantir a segurança jurídica e a fruição dos incentivos previstos nas leis, ressalta-se a importância de fazer convergir conceitos e normas legais para uniformizar critérios de aplicação.

É preciso **um Estado integrado, conectado e inteligente** – um Estado digitalizado – para se promover ganhos de eficiência, redução de custos, transparência, qualidade e celeridade dos serviços (desburocratização). Isso requer capacitar gestores públicos para prospecção, planejamento, implementação e avaliação de programas de geração, uso e difusão de novas tecnologias. E envolve também o esforço de coordenar agências e instituições e assegurar coerência no manejo dos instrumentos financeiros e não financeiros, por meio de sistemas de gestão integrados, inteligentes e transparentes.

A experiência internacional mostra que **a sociedade deve debater novos temas éticos e regulatórios**. Como os novos temas demandam atenção, recomenda-se que haja discussão ampla e representativa e que se façam consultas públicas para balizar propostas relativas à/ao: interoperabilidade de padrões e protocolos; propriedade de bases de dados; privacidade das pessoas, segurança de comunicações e da informação para as empresas; uso e manipulação de genomas humano, animal e vegetal;

propriedade e direitos de proteção de dados genômicos ou de biodados de pessoas ou organismos vivos; reciclagem de insumos, partes e peças e equipamentos relacionados a bio e nanomateriais e tecnologias digitais.

O Brasil pode e deve construir o futuro de sua indústria

Os países que pretendem ter posição de relevo em um cenário internacional multipolar e competitivo constroem proativamente seu futuro por meio de estratégias nacionais de inovação de longo prazo, estáveis, legitimadas por suas respectivas sociedades e comandadas pelo mais alto nível governamental.

O Brasil não tem mais tempo a perder: a poderosa onda de inovações tecnológicas em curso descortina riscos de retrocessos e abre oportunidades. Se ficar paralisada, a indústria brasileira corre sério risco de perder substância, levando a sociedade a abrir mão de conquistar mais valor agregado (salários, lucros, impostos) e de gerar novos serviços e empregos.

Por outro lado, as inovações combinadas e sinérgicas oferecem várias janelas de oportunidade para a indústria brasileira desenvolver novas especializações e fortalecer suas capacidades competitivas de modo sustentável. Há peculiaridades setoriais e, ao examiná-las, foi possível ao projeto I2027 apontar como fortalecer as capacidades de resposta do setor privado. A partir de um amplo mapeamento da experiência internacional, contemplando programas e iniciativas bem-sucedidas, foram especificados os alicerces para a construção de políticas públicas e devidamente explicitados seus requisitos políticos.

Não há nada que impeça a captura dessas oportunidades, salvo a nossa própria capacidade de estabelecer uma estratégia nacional firme e persistente. O Brasil pode e deve avançar, com ambição, realismo, pragmatismo, resiliência, foco e visão de longo prazo. Para isso, é imprescindível formar-se uma sólida parceria entre Estado e setor privado e a legitimação pela sociedade dos caminhos de futuro.

A direção da competitividade está estabelecida. Sempre respeitando as especificidades da concorrência, em cada mercado, a empresa competitiva é e será a empresa integrada, conectada e inteligente. O futuro constrói-se por meio de investimentos em capacitação e P&D, guiados por planos de longo prazo e implementados, dia após dia, com tenacidade.

As novas tecnologias abrem janelas para a indústria brasileira desenvolver competências e capturar oportunidades de competir, criar novos serviços, gerar empregos e contribuir para o aumento da qualidade de vida de nosso povo.



INTRODUÇÃO

Um mundo em transformação

Os avanços da C&T induziram uma onda de inovações tecnológicas, combinadas e sinérgicas, que carregam elevado potencial disruptivo. Essa onda vem transformando os padrões de produção, os modelos de negócio e as formas de concorrência nas economias industriais avançadas, com impactos sobre os padrões de consumo e os estilos de vida. Esses impactos sobrepõem-se às tendências de longo prazo decorrentes das mudanças climáticas, dos processos de envelhecimento das populações e dos efeitos da globalização sobre as desigualdades sociais.

Quais são e como vêm evoluindo esses *clusters* de inovações com potencial disruptivo? O que significam para o futuro da indústria brasileira? Como analisar seus impactos sobre os nossos sistemas produtivos? Como fica a situação produtiva e competitiva desses sistemas produtivos? Quais os desafios, os riscos e as oportunidades aí envolvidos?

Essas são as questões a serem abordadas neste Volume 1 – Tecnologias Disruptivas e Indústria: Situação Atual e Análise Prospectiva, que abre a síntese do projeto Indústria 2027, Construindo o Futuro da Indústria. Assim, são oferecidas condições adequadas para a formulação de recomendações de política pública e a oferta de subsídios às estratégias privadas, que são objeto do Volume 2 – Tecnologias Disruptivas e Indústria: Desafios e Recomendações, de acordo com os termos de referência do projeto I2027.

O projeto Indústria 2027: campo de estudos

O mundo em transformação, o acirramento da concorrência internacional, a emergência de *clusters* de inovação com poder disruptivo e a adoção de estratégias nacionais de inovação de longo alcance motivaram a CNI, por meio do IEL e sob a inspiração da MEI, a mobilizar o Instituto de Economia da UFRJ e o Instituto de Economia da UNICAMP para realizar o projeto “Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas”.

Os objetivos principais do I2027 são: (i) identificar tendências e avaliar os impactos das tecnologias disruptivas sobre os principais sistemas produtivos no horizonte de cinco a dez anos; (ii) avaliar a capacidade de a indústria brasileira defletir riscos e aproveitar as oportunidades abertas pelas inovações disruptivas; e (iii) desenvolver recomendações para o planejamento estratégico das empresas e subsídios para a formulação de políticas públicas.

O campo de estudos é composto por *clusters* tecnológicos e sistemas produtivos, com focos setoriais, conforme mostra a figura 1. As tecnologias foram definidas em função de seus impactos disruptivos e organizadas em oito *clusters* agrupados por proximidade de suas respectivas bases técnicas. A indústria foi organizada em dez sistemas produtivos e 14 focos setoriais selecionados em função da importância econômica na matriz industrial do país e do impacto potencial das inovações sobre cada um deles.

Figura 1 – Campo de estudos do projeto Indústria 2027



Fonte: Elaboração I2027.

Os *clusters* tecnológicos são: inteligência artificial, *big data*, computação em nuvem; IoT, seus sistemas e equipamentos; produção inteligente e conectada (manufatura avançada); redes de comunicação; nanotecnologias; bioprocessos e biotecnologias avançadas; materiais avançados; e novas tecnologias de AE.

Os sistemas produtivos e respectivos focos setoriais são: agroindústrias, com foco em alimentos processados; insumos básicos, com foco em siderurgia; química, com foco em bioeconomia; petróleo e gás, com foco em E&P em águas profundas; BK, com foco em máquinas e implementos agrícolas, máquinas-ferramenta, motores elétricos e equipamentos de geração, transmissão e distribuição de energia; complexo automotivo, com foco em veículos leves; TICs, com foco em sistemas e equipamentos de telecomunicações, microeletrônica e *software*; farmacêutica, com foco em biofármacos; e bens de consumo, com foco em têxtil e vestuário.

Cabem dois alertas. Primeiro, nesse projeto foram primordialmente consideradas soluções tecnológicas que poderão estar comercialmente disponíveis até 2027. Soluções que só tendem a ter expressão em prazo mais longo não foram objeto de análise aprofundada. Segundo, também não foram objeto de atenção direta as transformações que o progresso técnico trará sobre outras dimensões da vida econômica

e social. Impactos sobre padrões de consumo, sobre a regionalização econômica ou sobre o mercado de trabalho e as ocupações, por exemplo, foram considerados somente quando e enquanto relevantes para a competitividade das empresas.

Desenvolvimento do Indústria 2027 e estrutura desta publicação

Durante 14 meses, desde março de 2017 até maio de 2018, uma equipe constituída por 75 especialistas de reconhecida competência em tecnologias, setores industriais e política de inovação, no Brasil e no exterior, foi mobilizada para contribuir em alguma das etapas de realização do projeto Indústria 2027. Representantes de aproximadamente 750 empresas foram consultados em uma pesquisa de campo sobre o estágio atual e as perspectivas de digitalização em suas empresas.

O desenvolvimento do projeto Indústria 2027 foi acompanhado pela MEI, em todas as reuniões de líderes e em algumas sessões dos Diálogos da MEI. Um comitê supervisor acompanhou a execução e definiu orientações estratégicas; equipes da CNI, do IEL e do SENAI submeteram os documentos a escrutínio técnico, e o IEL garantiu tempestivamente a execução operacional. Estes são os principais ativos do I2027: o conhecimento e a competência de profissionais informados e especializados.

Figura 2 – Etapas de desenvolvimento do projeto Indústria 2027



Fonte: Elaboração I2027.

Como mostra a figura 2, o projeto Indústria 2027 foi executado ao longo de três etapas sequenciais: o estudo prospectivo dos *clusters* tecnológicos; a análise dos sistemas produtivos, de seus focos setoriais e execução da pesquisa de campo; e a formulação de implicações para políticas públicas e estratégias empresariais. Os resultados foram compilados em dois volumes de síntese, sendo o primeiro de caráter analítico e diagnóstico e o segundo de caráter propositivo. Este é o Volume 1, cujos desdobramentos apresentam-se a seguir.

A avaliação prospectiva dos *clusters* tecnológicos

A primeira etapa do projeto I2027 consistiu na avaliação prospectiva dos oito *clusters* tecnológicos no âmbito da economia mundial e do Brasil. Os seguintes temas foram objeto desta avaliação: (i) a identificação das principais tecnologias disruptivas que compõem cada *cluster* tecnológico e a qualificação do horizonte temporal de uso efetivo no âmbito industrial, concentrando-se na perspectiva de uso no horizonte de dez anos, até 2027; e (ii) a identificação dos sistemas produtivos e dos focos setoriais mais potencialmente impactados pela introdução de inovações decorrentes dos desenvolvimentos identificados.

A avaliação de cada *cluster* tecnológico esteve a cargo de um especialista em tecnologia com ampla experiência de trabalho em institutos de pesquisa e/ou empresas. Para ampliar o escopo de conhecimentos e assegurar a qualidade das avaliações, os trabalhos destes especialistas foram submetidos à apreciação de um grupo de especialistas *ad hoc*, em duas rodadas de reuniões de trabalho, moderadas pela equipe de coordenação do projeto. A equipe completa de especialistas envolvidos nessa etapa encontra-se no Apêndice 1.

Os conhecimentos gerados pelos especialistas nas análises dos *clusters* foram compilados pela coordenação técnica do I2027 em um documento intitulado “Mapa de *Clusters* Tecnológicos”, que propõe um referencial analítico para avaliação da evolução dos *clusters* e a identificação das tecnologias relevantes para a competitividade dos sistemas produtivos, além de especificar os impactos esperados dos *clusters* sobre os sistemas produtivos. A síntese dessa avaliação prospectiva encontra-se no capítulo 1 do presente volume, intitulado “*Clusters* tecnológicos: o que são, como evoluem e que impactos podem causar as inovações potencialmente disruptivas?”.

A análise dos impactos sobre os sistemas produtivos e focos setoriais

A avaliação prospectiva dos *clusters* tecnológicos proveu insumos para a etapa seguinte do I2027, em que se realizou a análise dos impactos das inovações sobre os sistemas produtivos e focos setoriais selecionados. A avaliação da indústria seguiu em dois caminhos paralelos: (i) realização da pesquisa de campo sobre a digitalização atual e esperada da indústria brasileira; e (ii) análise prospectiva dos impactos disruptivos sobre os sistemas produtivos e focos setoriais.

A pesquisa de campo procurou investigar quais as tecnologias digitais estão em uso no presente e no futuro próximo e distinguiu entre quatro gerações de digitalização (G1, G2, G3 e G4), desde uma digitalização pontual (G1) até a empresa integrada, conectada e inteligente (G4). Representantes de aproximadamente 750 empresas informaram o

estágio em que suas organizações encontravam-se em 2017 e onde esperam estar até 2027, como as empresas estão se preparando para o futuro e qual a probabilidade atribuída à geração mais avançada para vir a se tornar dominante nos setores de atuação das empresas.

Essa análise forneceu um panorama geral do estágio atual e esperado de digitalização da indústria brasileira e serviu como porta de entrada para a análise detalhada e cuidadosa do impacto das novas tecnologias sobre os diferentes sistemas produtivos e focos setoriais. Os resultados dessa análise encontram-se no capítulo 2, intitulado “A digitalização da indústria brasileira: onde estamos e para onde vamos?”.

A análise prospectiva dos dez sistemas produtivos e seus focos setoriais foi realizada por especialistas setoriais que avaliaram: (i) a dinâmica econômica e competitiva dos sistemas produtivos e focos setoriais no mundo e no Brasil; (ii) o processo de geração, uso e difusão das tecnologias relevantes nos sistemas produtivos e focos setoriais considerados, no âmbito mundial e brasileiro; e (iii) os desafios, riscos e oportunidades para a indústria brasileira. A lista completa de especialistas setoriais que trabalharam nesta etapa do projeto encontra-se no Apêndice 1.

Os resultados das análises dos sistemas produtivos foram organizados em dez notas técnicas setoriais e, em seguida, foram comparados e sistematizados pela equipe de coordenação técnica do I2027. Essa sistematização visou agrupar os sistemas produtivos (e seus focos setoriais) em quatro categorias de setores, tendo como critério a similaridade da função ou a natureza das atividades que exercem na economia. Os sistemas produtivos foram, assim, agrupados em: (i) setores difusores de inovações; (ii) setores de atividades especializadas e de conhecimento avançado; (iii) setores produtores de insumos intermediários; e (iv) setores provedores de bens de consumo.

Rápida síntese dos grupos de setores

Os capítulos 3 a 6 do presente volume abordam a análise dos impactos potenciais das novas tecnologias e identificam os desafios-chave para competir, evitar retrocessos e tirar proveito das janelas de oportunidade. São eles: “setores difusores de inovações” (capítulo 3), “setores de atividades especializadas e de conhecimento avançado” (capítulo 4), “setores de insumos intermediários” (capítulo 5) e “setores de bens de consumo” (capítulo 6).

No caso dos **setores difusores de inovações**, o desafio principal é acompanhar a fronteira produtiva internacional e explorar sinergias com setores demandantes competitivos. Os dois sistemas produtivos difusores são, respectivamente, as TICs e os BKs. Segmentos relevantes nesses dois sistemas poderão capturar oportunidades abertas pela difusão da IoT e pela digitalização da manufatura. Esses processos demandam, em larga medida, soluções customizadas, o que abre janelas de oportunidade para

empresas integradoras tanto de TIC quanto de BK. Além disso, setores internacionalmente competitivos (como é o exemplo do agronegócio) já estão demandando a introdução dessas soluções. O desafio, portanto, é fomentar o aproveitamento das oportunidades pelo lado da oferta de soluções, de forma articulada com as demandas relevantes em curso. Se esse desafio não for endereçado de forma satisfatória, corre-se o risco de retardar o desenvolvimento dos setores competitivos de nossa economia.

As **atividades especializadas e de conhecimento avançado** têm diante de si janelas de oportunidade que lhes permitem evoluir junto com a fronteira tecnológica internacional. Fazem parte deste grupo o sistema produtivo de aeroespacial e defesa (A&D), a farmacêutica, a bioeconomia e a exploração de óleo e gás em águas ultraprofundas. São nichos de atividades intensivas em conhecimento e, neles, o país conta com ecossistemas de inovação minimamente capacitados e com empresas líderes competitivas e capacitadas para impulsionar a captura de janelas de oportunidade.

Os **produtores de insumos intermediários** têm peso relevante na indústria brasileira, competitividade revelada e eficiência produtiva já estabelecida que lhes permitem acompanhar a fronteira mundial de produtividade. A siderurgia, o processamento de *commodities* agrícolas, a produção de celulose, o refino de petróleo e a petroquímica são setores intensivos em capital que acumularam economias de escala e sinergias produtivas que lhes possibilitem competir com êxito nos respectivos mercados mundiais. Diante das inovações disruptivas, esses setores precisarão engajar-se na digitalização de suas respectivas cadeias de valor para acompanhar a fronteira da produtividade e reforçar seus ecossistemas de inovação para explorar possibilidades de diferenciação de seus produtos.

Os **setores de bens de consumo**, cuja importância na indústria brasileira também é relevante, mostram um quadro bastante heterogêneo em que, com exceções, predominam defasagens em relação à fronteira da eficiência produtiva e das tecnologias de produtos. Os bens duráveis (automóveis, eletrodomésticos, eletroportáteis) são dominados por subsidiárias de empresas transnacionais que, em tese, poderiam mover-se com mais velocidade em direção às novas tecnologias de produtos eficientes e inteligentes. Nos setores de bens semiduráveis, como têxtil, vestuário e calçados, é grande a heterogeneidade em termos de capacitação tecnológica e de competitividade. A indústria de bens não duráveis, especialmente alimentos processados e industrializados, também se caracteriza por marcante heterogeneidade de capacitação técnica. O principal desafio no complexo de Bens de Consumo reside, portanto, na necessidade de efetuar um esforço significativo e continuado de adoção das novas tecnologias digitais no âmbito da produção, integração da cadeia de valor, gestão, comercialização, *marketing, design*, digitalização e qualidade dos produtos.

Partir dos legados e dos desafios dos sistemas produtivos brasileiros

Tendo em vista as perspectivas acerca dos impactos dos *clusters* de novas tecnologias nos próximos dez anos, este Volume 1 buscou sistematizar o diagnóstico da situação dos principais sistemas produtivos da indústria brasileira em face dessas inovações potencialmente disruptivas. Oferece-se também um inédito e valioso panorama dos estágios de adoção das tecnologias digitais de manufatura avançada pela indústria brasileira, incluindo os planos e as expectativas dos representantes das empresas consultadas pela pesquisa de campo.

Tal análise permitiu à coordenação técnica do projeto I2027 agrupar os sistemas produtivos e seus respectivos focos setoriais em quatro grupos que compartilham funções econômicas, capacitações e desafios semelhantes, com vistas a facilitar a formulação de recomendações de políticas públicas e de subsídios às estratégias privadas – que será o objeto do Volume 2.



CLUSTERS TECNOLÓGICOS: O QUE SÃO, COMO EVOLUEM E QUE IMPACTOS PODEM CAUSAR AS INOVAÇÕES POTENCIALMENTE DISRUPTIVAS?

1.1 Como analisar as mudanças tecnológicas?

Acadêmicos, consultores, institutos de pesquisa, organizações governamentais e não governamentais e a mídia em geral apontam a emergência de uma nova revolução tecnológica (quarta ou quinta, dependendo da periodização de grandes transformações no passado). No mundo da produção, as transformações em curso são denominadas de Indústria 4.0 ou Manufatura Avançada. O projeto I2027 não pretende entrar em discussões conceituais ou disputar caracterizações; o seu foco é claro: avaliar como o progresso técnico impacta os modelos de negócio, os padrões de concorrência e as estruturas de mercado na indústria.

Que tecnologias relevantes para a indústria estão sendo desenvolvidas e serão implementadas comercialmente no mundo, em um horizonte de cinco a dez anos? Quais as características constituintes dessas tecnologias? É possível determinar trajetórias comuns de evolução em termos de custos e mercados? São realmente disruptivos, ou melhor, quando serão disruptivos os impactos dessas inovações sobre diferentes sistemas produtivos da indústria? A geração, o uso e a difusão de inovações estão associados a riscos e constrangimentos? Essas foram as questões que orientaram a análise prospectiva de tecnologias, organizadas em *clusters*, do projeto I2027.

Tecnologias economicamente relevantes foram agrupadas em oito *clusters* tecnológicos por proximidade e especialidade de suas bases de conhecimento: inteligência artificial, *big data* e computação em nuvem; IoT; sistemas, equipamentos e redes de comunicação; produção inteligente e conectada; bioprocessos e biotecnologias avançadas; nanotecnologia; materiais avançados; e AE.

Para caracterizar os *clusters* tecnológicos foram utilizadas seis categorias analíticas, incluindo categorias que descrevem a natureza e a dinâmica do progresso técnico e categorias que estabelecem relações entre o progresso técnico e as atividades industriais (quadro 1).

Quadro 1 – Conceitos para avaliação e prospecção tecnológica

CARACTERIZAÇÃO	ESPECIFICAÇÃO	CATEGORIAS
PARA DESCREVER O PROGRESSO TÉCNICO		
TIPO DE INOVAÇÃO	Define onde a inovação se manifesta	Em processos; produtos; modelos organizacionais; mercados; insumos
ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO	Determina se normas e padrões já podem ser determinados	Madura: padrão tecnológico estabelecido
		Em seleção: padrões técnicos em competição
		Em mutação: soluções ainda em desenvolvimento
INTENSIDADE DA MUDANÇA TECNOLÓGICA	Estabelece o grau de inovatividade de uma tecnologia	Incremental
		Radical
RELAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS	Define a extensão em que uma tecnologia habilita outras	Geral
		Localizada
PARA DESCREVER RELAÇÕES ENTRE INOVAÇÕES E ATIVIDADES PRODUTIVAS		
ESPECTRO	Define a amplitude de aplicação em diferentes atividades econômicas	Propósito geral
		Propósito ou aplicação em atividades específicas
IMPACTO	Influência sobre modelos de negócio, padrão de concorrência e estruturas de mercado	Moderado
		Disruptivo
		Potencialmente disruptivo

Fonte: Elaboração I2027.

1.2 Mapa, trajetórias e caracterização dos *clusters* tecnológicos

1.2.1 Inovações convergentes, integradas, conectadas, inteligentes

Os *clusters* tecnológicos oferecem inovações convergentes, integradas, conectadas e crescentemente inteligentes. São convergentes porque não surgem e não se desenvolvem de modo isolado, mas sim em sinergia com outras inovações, inclusive advindas de outras bases de conhecimento; são integradas porque são cada vez mais interligadas às diversas etapas envolvidas na geração de produtos; são conectadas porque organizações, processos e, inclusive, produtos comunicam-se de forma autônoma, por meio de redes digitais de alta velocidade e capacidade; são inteligentes porque

produtos, processos e componentes incorporam capacidades cognitivas e carregam soluções em si mesmas, não só por meio da inteligência artificial, mas também em sua própria constituição, tal como alguns materiais avançados que podem se “reconformar” quando sofrem alterações, por exemplo.

O quadro 2 apresenta em detalhe os elementos constituintes das inovações integradas, conectadas e inteligentes na forma de um mapa dos *clusters* tecnológicos.

Quadro 2 – Mapa dos *clusters* tecnológicos

CATEGORIAS ANALÍTICAS	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, BIG DATA, NUVEM (IA)	REDES DE COMUNICAÇÃO (REDES)	INTERNET DAS COISAS (IOT)	PRODUÇÃO INTELIGENTE E CONECTADA (PIC)	MATERIAIS AVANÇADOS (MA)	NANOTECNOLOGIA (NANO)	BIOTECNOLOGIA (BIO)	ARMAZENAMENTO DE ENERGIA (AE)
TIPOS DE INOVAÇÕES	Produto, processos, insumos, organizacional, infraestrutura e mercado	Produto, infraestrutura e mercado	Produto, processos, insumos, organizacional, infraestrutura e mercado	Processo, organizacional e mercados	Produto, insumos e mercados	Produto, insumos, processos e mercados	Produto, insumos, processos e de mercados	Produto, processo e de mercado
ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO	Predominam tecnologias em mutação	Convivem tecnologias maduras e em seleção	Predominam tecnologias em mutação	Convivem tecnologias em seleção e em mutação	Convivem tecnologias maduras, em seleção e em mutação	Convivem tecnologias em seleção e em mutação	Convivem tecnologias maduras e em mutação	Convivem tecnologias maduras e em seleção
INTENSIDADE DA MUDANÇA TECNOLÓGICA	Incremental com potencial radical	Predomina incremental	Incremental com potencial radical	Incremental com potencial radical	Predomina incremental	Predomina radical	Incremental com potencial radical	Predomina incremental
CONTRIBUIÇÃO DO CLUSTER PARA OUTROS	Geral: IoT, REDES, PIC, MA, NANO, BIO, AE	Localizada: IA, IoT, PIC, AE	Geral: IA, REDES, PIC, MA, NANO, BIO, AE	Localizada: MA, NANO, BIO	Localizada: REDES, NANO, AE	Geral: IoT, REDES, PIC, MA, BIO, AE	Localizada MA, NANO	Localizada IoT, REDES, PIC
ESPECTRO	Propósito geral	Propósito geral	Propósito geral	Propósito específico: processos industriais	Propósito específico: equipamentos	Propósito geral	Propósito específico: humana, indústria, agricultura	Propósito específico: eletrificação autônoma e conservação de energia
IMPACTO	Predomina potencial disruptivo até 2027	Convivência: moderado e potencial disruptivo até 2027	Predomina potencial disruptivo até 2027	Predomina potencial disruptivo até 2027	Convivência: moderado, potencial disruptivo e disruptivo	Predomina potencial disruptivo até 2027	Disruptivo	Predomina moderado

Fonte: Elaboração I2027.

Desse mapa pode-se depreender que a maior parte das inovações dos *clusters* manifesta-se de modo amplo em produtos e processos, ocasionando mudanças organizacionais nas empresas e abrindo novas perspectivas de mercados. Na maior parte dos *clusters* convivem tecnologias com soluções maduras, em seleção e em mutação. As tecnologias digitais, por exemplo, já estão disponíveis desde 1971, tomando-se como referência o ano em que os microprocessadores foram introduzidos comercialmente, e seu poder de processamento vem dobrando desde então, a cada 18 meses (Lei de Moore). Os desafios de processamento de altos volumes de informações, no entanto, demandam soluções alternativas e mais poderosas que já estão entrando em modo experimental, indicando transformações relevantes na própria indústria de microprocessadores. A computação quântica, por exemplo, possui capacidade de processamento tal que permite modelos de simulação sem aproximação, o que não é possível com microprocessadores de última geração em supercomputadores.

A integração e a interação entre *clusters* têm multiplicado o aparecimento de inovações na esfera dos processos de produção e gestão, induzindo mudanças com potencial disruptivo em modelos de negócio e nos padrões de concorrência, como é o caso da tendência à servitização.

A intensidade da mudança tecnológica em cada *cluster* é predominantemente incremental: novas gerações de inovações surgem constantemente em processos evolutivos. No entanto, o efeito cumulativo pode ser considerado radical, pois, quando alcançados certos patamares de eficiência/custo, deflagram-se efeitos poderosos de mudança.

As tecnologias digitais e as nanotecnologias são funcionais e habilitam o desenvolvimento dos demais *clusters*. Essas são tecnologias de amplo espectro, utilizadas em qualquer atividade industrial, em particular aquelas associadas aos *clusters* intensivos em tecnologias de informação. As exceções são as biotecnologias, os materiais avançados e as tecnologias de AE que têm aplicações setoriais específicas, como, por exemplo, farmacêutica-saúde, química e agroindústrias; petróleo e gás, bens de consumo; BK e automotiva, respectivamente.

O impacto predominante até 2027 é disruptivo: ocorrerão mudanças significativas em modelos de negócio, padrões de concorrência e possivelmente nas estruturas de mercado. Mais adiante a análise dos impactos será detalhada.

1.2.2 A utilidade e o potencial das tecnologias

a) Inteligência artificial, *big data* e computação em nuvem

Em termos gerais, a inteligência artificial pode ser utilizada em sistemas ciberfísicos para processar e tomar decisões automatizadas, descentralizadas e autônomas. Está associada ao desenvolvimento de algoritmos matemáticos e estatísticos e de tecnologias computacionais, inspirados na maneira como o cérebro humano funciona e usa o sistema nervoso para sentir, comunicar-se, aprender, raciocinar e agir. Por meio da aplicação de algoritmos essas tecnologias utilizam bases de dados estruturadas para que computadores e outros equipamentos acumulem aprendizado e cognição, que lhes habilitam a tomar decisões. As aplicações da inteligência artificial podem produzir efeitos radicais sobre processos, produtos, insumos, organizações, infraestruturas e mercados. Essas são tecnologias em vários estágios de desenvolvimento, mas em que o ritmo de progresso técnico é muito intenso e de aplicação geral (na indústria), e que habilitam outras tecnologias.

b) Redes de comunicação

Uma rede de comunicação é um sistema interligado de computadores, tecnologias de transmissão e recursos relacionados para processar, trocar ou difundir informações. As redes modernas de telecomunicações adotam o *internet protocol* (IP) e sua

digitalização abrangente viabilizou o surgimento da internet como a grande rede integradora global e crescentemente ubíqua de um amplo leque de dispositivos de comunicação, processamento e computação. Os principais tipos de inovação de redes específicas de comunicação são de produto (redes embarcadas em produtos ou produtos conectados) e de infraestrutura (redes como plataformas para integração intrafirma e extrafirma ou para infraestruturas ou *grids* urbanos), o que resulta em novos mercados. São cinco as formas de uso das redes de comunicação na indústria: redes em produtos finais, diretamente embarcadas no produto (aviões) e agregação ao produto (rastreamento); redes no processo de produção (supervisão, controle, acionamento); redes na organização da empresa; redes na organização da cadeia produtiva; redes no ciclo de vida do produto (monitoração do produto).

c) IoT

A IoT – em inglês *Internet of Things* – é a interconexão, por meio da internet, de dispositivos informáticos de acesso à rede incorporados em máquinas, equipamentos, objetos cotidianos, permitindo-lhes enviar e receber dados. Sensores microeletrônicos distribuídos e *gateways* formam sistemas de coleta e tratamento de informações que poderão ser centralizadas e processadas em nuvem ou em servidores especializados. Esse conjunto de subsistemas é constitutivo de qualquer solução de IoT. A IoT expressa-se em processos nos quais máquinas, equipamentos e dispositivos estão conectados e são capazes de executar tarefas de gestão otimizadoras de unidades produtivas e infraestruturas, de manutenção preditiva de máquinas, de ativação de eletrodomésticos conectados e inteligentes, e de apoio à gestão e à organização de cadeias logísticas e de acompanhamento de clientes usuários de produtos conectados. Trata-se de tecnologias que habilitam inovações nos demais *clusters*, e aqui estão presentes não só tecnologias já conhecidas, mas também novas gerações em surgimento. Entretanto, ainda prevalecem indefinições em relação à interoperabilidade, à padronização técnica de comunicação e à segurança de dados. Ainda que as inovações de IoT surjam inicialmente como incrementais, elas possuem potencial de se tornarem inovações radicais, a depender de convergências tecnológicas (combinação com tecnologias de outros *clusters*) e/ou de como essas tecnologias são utilizadas em cada sistema produtivo.

d) Produção inteligente e conectada

A produção inteligente e conectada refere-se a sistemas ciberfísicos de interconexão digital, por meio da internet, das unidades produtivas e suas respectivas cadeias de valor a montante e a jusante, com crescente utilização de inteligência artificial. Entre as principais tecnologias do núcleo duro em uso e em desenvolvimento, destacam-se a manufatura aditiva, a robótica autônoma e colaborativa, os *softwares* avançados de integração e virtualização *on-line* da produção por meio de rede de sensores, processadores e atuadores embarcados às máquinas e aos equipamentos e integrados por servidores.

Ainda não se estabeleceram padrões dominantes, e por isso há alta incerteza arquitetural por conta da habilidade das máquinas de incorporar capacidades cognitivas

avançadas a partir dos avanços da Inteligência Artificial, de incertezas sobre a capacidade de adaptação dos elos da cadeia, além do desafio de digitalização do legado de máquinas de gerações antigas; e da “guerra” de padrões (proprietários vs. abertos).

A produção inteligente e conectada viabilizará um novo patamar de interação do mundo físico e virtual, o que resultará em novos modelos de negócio. Em qualquer atividade produtiva podem ser introduzidas tecnologias instrumentais associadas à produção inteligente e conectada, e o potencial de transformação é muito significativo, na medida em que sua aplicação implica aumentos em: flexibilidade, qualidade e eficiência de sistemas de produção; integração vertical de atuadores e sensores sob *softwares* de planejamento de recursos (*enterprise resource planning* – ERP); grau de liberdade de projeto e desenho; velocidade, eficiência e colaboração entre empresas, independentemente da localização geográfica delas. Além disso, a produção inteligente e conectada propiciará sistemas de manufatura reconfiguráveis e diversidade de modelos de fábricas, com soluções adequadas às características de mercados específicos, otimização do ciclo de vida dos produtos e clientização de produtos e serviços.

e) Materiais avançados

Os materiais avançados são aqueles que agregam novas características a materiais tradicionais ou são materiais novos com desempenho superior em uma ou mais características de sua aplicação comercial. A experiência histórica mostra que o período de maturação dos materiais avançados é longo; seus avanços dependem de inovações científicas e tecnológicas que precisam combinar matérias-primas acessíveis, não tóxicas e manufaturáveis com escala e custos competitivos. Os materiais avançados podem ser divididos em cinco grupos: nanomateriais, materiais autorreparáveis e/ou funcionais, materiais de elevado desempenho, materiais de fontes renováveis e produtos da biorrefinaria terras-raras.

Tratam-se de materiais com amplos usos e aplicações específicas, por exemplo: embalagens e estruturas funcionais e “inteligentes” (por exemplo, autorreparáveis, com ação fungicida/bactericida, de autocrescimento, com sensibilidade térmica etc.); estruturas resistentes (mecânica e térmica) e/ou leves (materiais de alto desempenho); materiais para liberação controlada de compostos (no organismo humano e animal, ou no meio ambiente); materiais para impressão de circuitos eletrônicos e impressão aditiva (3D); materiais bioinspirados, biomiméticos e biodegradáveis (isso é, materiais com propriedades semelhantes a materiais naturais e/ou de fontes renováveis/substitutos de materiais de origem fóssil); ímãs permanentes (com aplicação em motores veiculares e industriais).

f) Nanotecnologia

Nanociência e nanotecnologia são campos da C&T que lidam com a matéria na escala nanoscópica (menor do que aproximadamente 100 nm em pelo menos uma de suas dimensões) e que aplicam os conceitos e os materiais produzidos a partir de tais estudos. As nanotecnologias encontram-se na transição de “nanoestruturas

ativas” utilizadas em eletrônica, sensores, medicamentos objetivos e estruturas adaptativas, para “sistemas de nanossistemas”, como nanoredes 3D em robótica, estruturas supramoleculares e montagem molecular guiada. As nanotecnologias impactam e modificam processos e formas de organização de empresas, demandando novas competências.

As aplicações são possíveis em todos os sistemas produtivos, tais como nanomedicina (diagnóstico, terapia e “teranósticos”) e nanocosméticos; nanoeletrônica e novos materiais para computação; vestuário e dispositivos flexíveis e vestíveis; sensoriamento para IoT; energia como tecnologia auxiliar; e alimentos como tecnologia habilitadora para garantir segurança alimentar e “nanocomidas” (*nanofood*). Entre as principais áreas de aplicação de nanotecnologias na próxima década, destacam-se nanomedicina e nanocosméticos (vacinas, nanomateriais para implantes); nanoeletrônica e novos materiais para computação (aplicação em computação quântica, assim como nanofabricação dessas estruturas); vestuário e dispositivos flexíveis e vestíveis; sensoriamento para IoT (sensores e atuadores, construídos com nanomateriais); nanotecnologia para energia (novos materiais para baterias); nanotecnologia para alimentos (rastreadibilidade para segurança alimentar; sensores agricultura de precisão; processamento de alimentos).

g) Biotecnologia

A biotecnologia envolve um conjunto de técnicas de intervenção no genoma de organismos vivos ou suas partes para obter ou modificar os produtos, para melhorar plantas ou animais ou para desenvolver micro-organismos com fins definidos. A biotecnologia contemporânea, seja ela vegetal, seja animal, industrial ou humana, depende: das tecnologias “ômicas”, tais como genômica, transcriptômica, proteômica e metabolômica; da bioinformática; e de um conjunto de técnicas avançadas de manipulação molecular e celular. Na biotecnologia usualmente se distinguem três tipos principais de áreas de desenvolvimento biotecnológico, cada uma apresentando definição específica de seu escopo: (i) biotecnologia vermelha, com aplicação na área da saúde humana e animal; (ii) biotecnologia verde, com aplicação na agricultura e produção de alimentos; e (iii) biotecnologia branca, com aplicação em processos industriais.

Do *cluster* de biotecnologias são geradas inovações de produto que demandam inovações de processo e em novos insumos, abrindo novos mercados. Trata-se do *cluster* com aplicações focadas em sistemas produtivos específicos: medicina e saúde, agroindústrias e química. Por modificarem a base técnica de conhecimentos sobre fármacos tradicionais, as biotecnologias também podem implicar mudanças organizacionais nas empresas farmacêuticas que buscam introduzi-los.

Em termos do estágio de desenvolvimento, a tecnologia de sequenciamento do genoma já é considerada madura. As tecnologias de edição genética e as tecnologias avançadas de manipulação celular (células-tronco), que têm caráter disruptivo, encontram-se em desenvolvimento sujeito a mutações. A emergência recente (2015) da técnica CRISPR/Cas9 (*clustered regularly interspaced short palindromic repeats*

– CRISPR/*associated nuclease protein* – Cas9) representou um salto qualitativo ao tornar muito mais eficiente a edição gênica. Ao permitir “cortar e colar” genes de células imunitárias envolvidas na proteção dos organismos, a CRISPR/Cas9 ofuscou rapidamente outras ferramentas existentes de edição genética.

A combinação de tecnologias de genômica, biologia molecular e bioinformática cria novos paradigmas em suas respectivas áreas de aplicação. Na medicina desenvolve-se a “medicina personalizada de precisão”. Na agricultura, essas inovações têm sido utilizadas em culturas agrícolas como arroz, milho, soja e trigo, acelerando a transição para uma agricultura de precisão. A edição gênica, ao permitir aperfeiçoar o genoma das próprias plantas sem introduzir sequências de genes exógenos, diferencia-se da transgenia e, por isso, está menos sujeita a restrições regulatórias. A edição gênica para animais terá papel significativo nas próximas décadas, sobretudo com a possibilidade de reconstrução alélica, baseada no sequenciamento em larga escala, e de mapeamento de alelos promissores em populações geneticamente diversas. Também deve ocorrer o sequenciamento de populações mais rústicas e melhor adaptadas às condições tropicais. Essas informações deverão contribuir para a identificação de genes ortólogos, que servirão de base para a edição gênica em matrizes elites.

A edição genômica deve produzir transformações profundas em várias atividades econômicas. Seu domínio demanda grandes investimentos financeiros e em recursos humanos, e as implicações regulatórias ainda estão por se definir. Híbridos de milho com alto teor de amilopectina, gerados a partir de edição de genes, já obtiveram autorização para comercialização nos Estados Unidos, dispensando a observância à legislação aplicável a plantas transgênicas. Esse precedente pode levar à rápida chegada ao mercado de plantas possuindo alelos que foram editados de maneira a não conter fragmentos de DNA de outras espécies e/ou grandes alterações da sequência de DNA endógena. Além dos aspectos regulatórios, possíveis cenários de detenção de propriedade intelectual podem resultar em acesso amplo, e não exclusivo, à tecnologia e, conseqüentemente, à participação no mercado de diversas instituições de pesquisa e empresas que poderão introduzir novos genótipos vegetais e alelos produzidos por edição genômica.

h) AE

O armazenamento eletroquímico de energia corresponde à utilização de uma reação química (reação redox) para armazenar energia elétrica. O progresso de tecnologias e métodos eletroquímicos para AE tem sido relativamente lento. As soluções de AE resultam em produtos que funcionam como insumos para outros produtos ou como produtos em si, sendo introduzidos em processos industriais. As aplicações das tecnologias de AE são específicas para eletrificação de sistemas produtivos ou produtos autônomos e para a conservação de energia. As inovações de AE (especialmente baterias) são instrumentais para as inovações de IoT (por exemplo, dispositivos

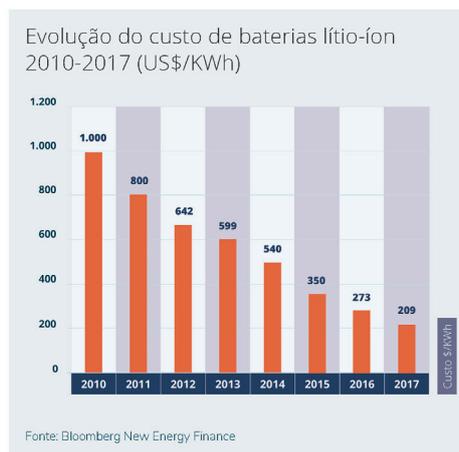
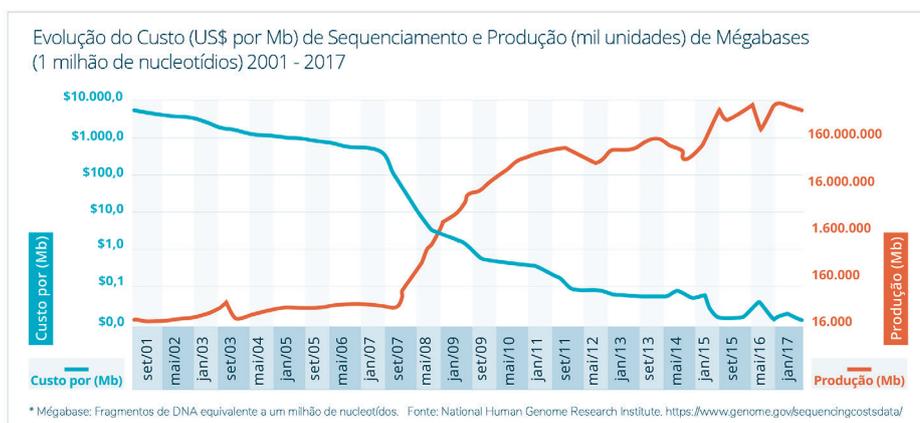
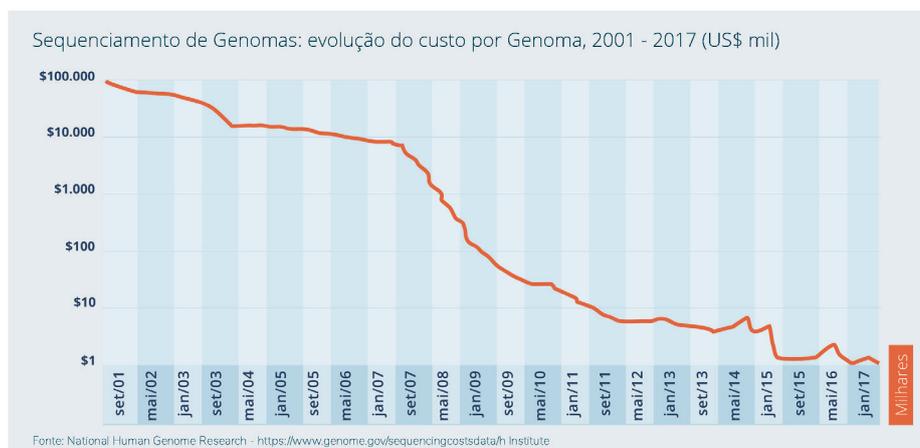
conectados portáteis, *drones*), redes (fornecimento de energia ou segurança energética para grandes servidores) e para alimentação elétrica de sistemas produtivos autônomos.

Nesse *cluster* convivem tecnologias maduras e em seleção. Entre as tecnologias maduras, destacam-se as baterias de chumbo-ácido, as baterias portáteis (lítio-íon), as células a combustíveis (aqui se trata de maturidade científico-tecnológica, mas com gargalos para sua difusão na economia). Com o rápido desenvolvimento da ciência dos materiais, estão sendo realizadas pesquisas sobre novas tecnologias de AE baseadas em grafeno. Tecnologias de AE podem ser utilizadas para três fins principais: autonomia de sistemas em relação à rede de eletricidade; eletrificação de produtos e processos outrora dependentes de combustível fóssil; segurança das matrizes energéticas. Tais usos dependem de variáveis técnicas: portabilidade (relação potência/peso); duração da recarga; potência máxima nominal e real; e segurança de uso. Quanto maiores essas variáveis, maior o potencial de uso e de impacto disruptivo: menor o custo, maior sustentabilidade (energética) e maior será o poder disruptivo.

1.2.3 Custos em queda, mercados em expansão: a convergente e crescente importância econômica dos *clusters* tecnológicos

Custos em queda pronunciada e mercados em forte expansão marcam a evolução recente e esperada e revelam a importância econômica de soluções e produtos inovadores em todos os *clusters*. Os quadros 3 e 4 apresentam projeções para várias tecnologias e produtos, de várias fontes, e todos apontam para a mesma direção.

Quadro 3 – Custos de novas tecnologias e produtos: evolução recente e projeções

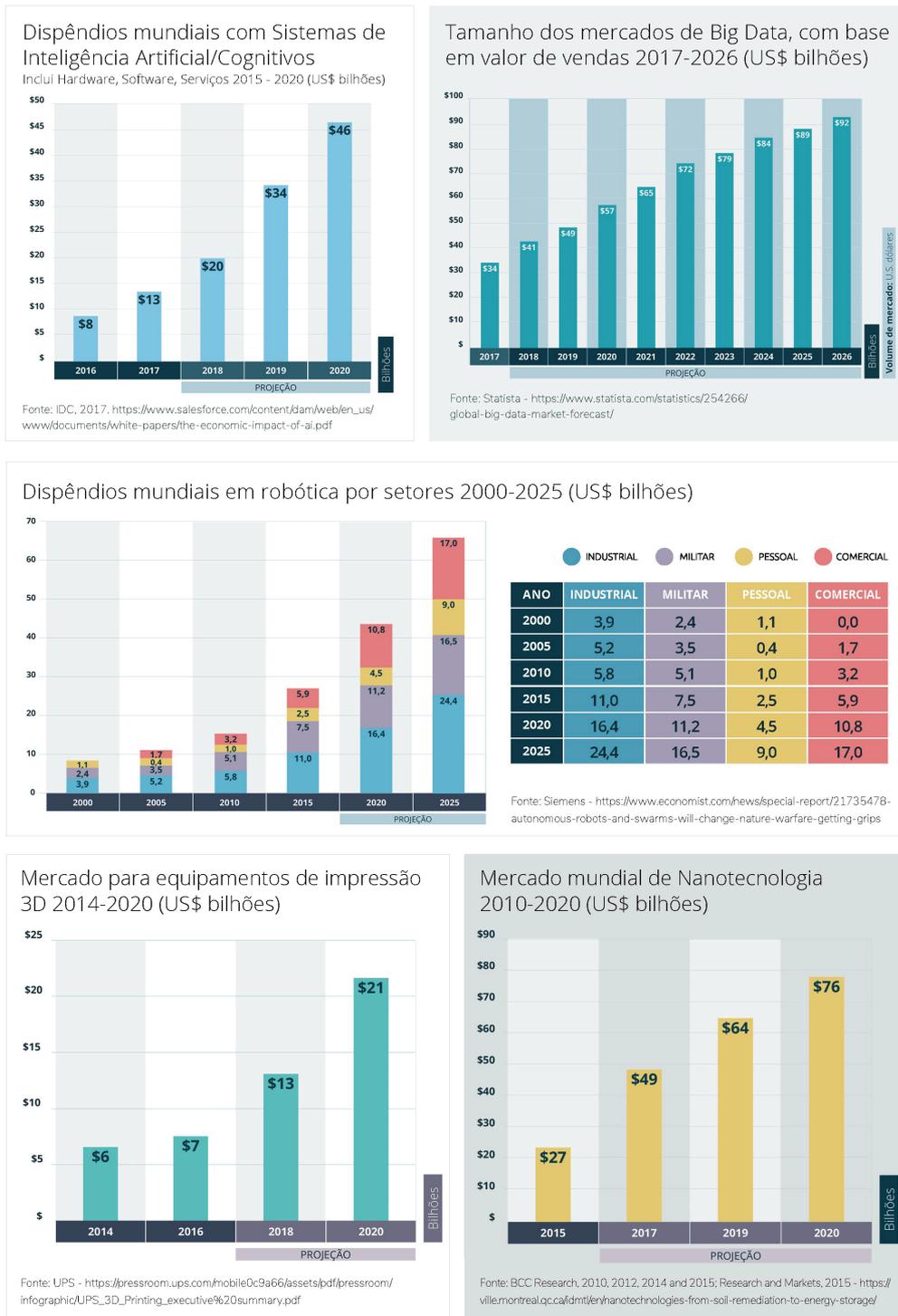


Fonte: Compilação I2027.

As quedas de custos mais pronunciadas e já verificadas ocorrem no custo por *megabits* e no sequenciamento de genomas. O custo do sequenciamento, em 2001, era de quase US\$ 100 milhões; em 2007, caiu para US\$ 10 milhões; em julho de 2017, havia caído para US\$ 1 mil. Nesse ritmo, o custo ficaria entre US\$ 1,00 e US\$ 0,01 por genoma, em

2020. Já o custo por *megabits* era de US\$ 5 mil, em 2001; depois caiu para US\$ 500, em 2007; em julho de 2017, atingiu US\$ 0,012.

Quadro 4 – Mercados de novas tecnologias e produtos: evolução recente e projeções



Fonte: Compilação I2027.

Nas inovações digitais, projetam-se dispêndios em sistemas de inteligência artificial da ordem de US\$ 46 bilhões, em 2020. Nesse ano, o valor de vendas de *big data* poderá atingir US\$ 57 bilhões e chegar a US\$ 92 bilhões, em 2026, representando um crescimento de quase 100%. O custo médio de sensores para IoT vem caindo de forma acelerada: partindo de valores da ordem de US\$ 1,30, em 2004, pode chegar a US\$ 0,38, em 2020. Em 2020, o mercado de impressão 3D poderá atingir US\$ 21 bilhões. Já o mercado de robótica, para distintas aplicações, vem crescendo de forma acelerada, passando de US\$ 7,4 bilhões, na virada do século XX, para US\$ 26,9 bilhões, em 2015, com a expectativa de que cresça para US\$ 63,9 bilhões, em 2025. Somente para aplicações industriais o mercado de robótica poderá atingir, nesse ano, US\$ 24,4 bilhões. O mercado para nanotecnologia segue trajetória semelhante: em 2015, era estimado em US\$ 27 bilhões, e, em 2020, espera-se que atinja US\$ 76 bilhões. Diferentes previsões para custos (US\$/kWh) de baterias de íon-lítio para automóveis apontam para custos entre US\$ 400 e US\$ 200 kWh, em 2020, e indicam queda nos anos subsequentes.

1.2.4 Impactos das tecnologias relevantes para a competitividade dos sistemas produtivos

O quadro 5 resume os principais impactos das inovações associadas a cada *cluster* tecnológico sobre cada sistema produtivo.

Quadro 5 – Impactos dos *clusters* tecnológicos nos sistemas produtivos

	AGROINDÚSTRIAS	INSUMOS BÁSICOS	QUÍMICA	PETRÓLEO & GÁS	BENS DE CAPITAL	AUTOMOTIVA	AEROESPACIAL & DEFESA	TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO	BENS DE CONSUMO	FARMACÊUTICA
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
REDES DE COMUNICAÇÃO	↗	↗	→	→	↗	↗	↗	↗	↗	→
INTERNET DAS COISAS	↗	↗	↗	↗	↗	→	↗	↗	↗	→
PRODUÇÃO INTELIGENTE E CONECTADA	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	→
MATERIAIS AVANÇADOS	→	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
NANOTECNOLOGIA	↗	→	↗	↗	↗	↗	→	↗	↗ ↑ VESTUÁRIO	↗
BIOTECNOLOGIA	↗	↗ CELULOSE	↗					→		↗
ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	→	↗	→	→	↗	↗	→	→	→	→

Fonte: Elaboração I2027.

Os *clusters* associados às tecnologias digitais, de modo geral, produzem impactos semelhantes (potencialmente disruptivos) nos diversos sistemas produtivos. Inteligência artificial, IoT e produção inteligente e conectada são os *clusters* que trazem impactos potencialmente disruptivos até 2027 para um maior número de sistemas produtivos, a depender de desenvolvimentos tecnológicos específicos e da superação de gargalos tecnológicos específicos. Materiais avançados e biotecnologia (onde se aplica) são os que já produzem, em 2017, impactos disruptivos em sistemas produtivos. No entanto, os materiais avançados, ao mesmo tempo, também impactam outros sistemas de modo moderado e potencialmente disruptivo, dependendo do campo de materiais e suas aplicações. O *cluster* AE tem um maior número de impactos moderados nos sistemas produtivos, à exceção do automotivo e (potencialmente) dos sistemas de insumos básicos e de BK.

Cada sistema produtivo é impactado de forma diferente pelas inovações tecnológicas associadas aos oito *clusters*, e todos os sistemas estão diante de pelo menos um processo já disruptivo em 2017. A exceção, no caso, é o sistema de insumos básicos, no qual predominam impactos potencialmente disruptivos até 2027, excluídos aqueles derivados das inovações em materiais avançados e nanotecnologias, que tendem a otimizar a produção deste sistema. Os sistemas de química, petróleo e gás e BK já enfrentam impactos disruptivos advindos de materiais avançados e biotecnologia (química), materiais avançados e nanotecnologias (petróleo e gás). Porém, BK é o sistema que apresenta impactos disruptivos em 2017 oriundos de todos os *clusters* digitais, ao passo que aquele que terá mais impactos moderados é o da farmacêutica. Porém, o *cluster* biotecnologia, central para o sistema produtivo farmacêutico, já provoca impactos disruptivos, abrindo caminhos para mudanças em modelos de negócio, em padrões de concorrência e, possivelmente, em estruturas de mercado.

Ainda que de maneiras distintas, dadas as características díspares desses sistemas produtivos, os sistemas A&D e bens de consumo enfrentam impactos semelhantes em termos da origem das inovações. No curto prazo, surgem impactos disruptivos advindos apenas do *cluster* materiais avançados. Ainda que o sistema A&D já adote algumas tecnologias de materiais avançados, deverão ocorrer grandes mudanças no modo de desenvolvimento de projetos das aeronaves, gerando oportunidade e desafios para fabricantes de aeronaves e aeroestruturas. No caso de bens de consumo, o impacto das nanotecnologias é potencialmente disruptivo. Em ambos os sistemas os impactos de AE tendem a ser moderados.

Sobre o sistema automotivo, apenas o *cluster* AE exerce impactos disruptivos no curto prazo, enquanto apenas o *cluster* IoT impacta-o moderadamente. Os demais trazem impactos cumulativos potencialmente disruptivos até 2027: inteligência artificial, redes, produção inteligente e conectada, materiais avançados e nanotecnologia. No caso de tecnologias de inteligência artificial, por exemplo, impactos disruptivos

poderiam surgir pela difusão do carro autônomo e do compartilhamento de automóveis, que alterariam um padrão de consumo centrado na propriedade individual.

Na agroindústria, a biotecnologia traz impactos disruptivos no curto prazo, enquanto AE e materiais avançados trazem impactos moderados ou otimizadores da produção. Os demais *clusters* trazem impactos cumulativos potencialmente disruptivos até 2027 sobre a agroindústria: inteligência artificial, redes, IoT, produção inteligente e conectada e nanotecnologias.

O sistema das TICs já recebe impactos disruptivos de inteligência artificial e enfrentará impactos cumulativos potencialmente disruptivos até 2027 de quatro outros *clusters*: redes, produção inteligente e conectada, materiais avançados e nano. Para o sistema das TICs, são moderados os impactos advindos da biotecnologia e do AE.

1.3 Alertas

1.3.1 Alertas para a indústria

Inovações convergentes, integradas, conectadas e inteligentes irão transformar a maneira como as empresas se organizam e os fatores-chave de sucesso competitivo. Não está assegurado que as empresas hoje relevantes em seus mercados continuarão a sê-lo ao longo dos próximos dez anos.

De modo geral, convivem nos *clusters* tecnologias em diversos estágios de desenvolvimento, além daquelas em rápido ritmo de mudanças. Muitas das soluções não estão padronizadas, pois alternativas estão por ser selecionadas e outras ainda estão em mutação. Tecnologias em seleção e mutação adicionam imprevisibilidade ao progresso técnico e à decisão empresarial. Em ambientes de incerteza, a estratégia do pioneiro (*first mover*), se bem-sucedida, trará margens mais expressivas. Porém, nem sempre essa é a estratégia mais eficiente e efetiva *vis-à-vis* estratégias de seguidores velozes (*fast follower*), que não seriam onerados pelos custos de tentativa e erro até a obtenção de plena eficiência das novas soluções. Independentemente do posicionamento, a mensagem advinda das transformações em curso é muito clara: para aproveitar oportunidades e defletir riscos, as estratégias de inovação devem estar no centro das estratégias competitivas.

O que se propaga como quarta ou quinta revolução tecnológica não ocorrerá no curto prazo, mas sim ao longo do tempo. O horizonte do I2027, de dez anos, parece ser um horizonte longo. Mas não é. A difusão de novas tecnologias vai acelerar-se a taxas crescentes, já que é muito pronunciada a queda de custos de tecnologias-chave em todos os *clusters*. A cumulatividade dos processos de geração e difusão e a sinergia ou a combinação de tecnologias implicarão transformações profundas no modo de se fazer negócios.

Porém, como a curva de difusão de novas tecnologias (em todo o mundo) está em sentido ascendente, as barreiras de acesso ainda são baixas e as oportunidades de fortalecimento (ou sobrevivência) competitivo estão disponíveis para as empresas que assumirem atitudes inovadoras proativas. Estratégias proativas significam adotar e absorver inovações, investir em aprendizagem, capacitação e construção de competências compatíveis com o “código genético” de cada empresa.

As janelas de oportunidades para a absorção de tecnologias-chave ainda são amplas. As soluções são flexíveis o suficiente para que sejam introduzidas de modo gradual, sem que ativos fixos existentes sejam canibalizados. Por exemplo, é possível “sensorizar” máquinas e equipamentos de gerações tecnológicas anteriores. Entretanto, as novas tecnologias não são desenvolvidas ou utilizadas de forma isolada, mas sim em *blending* com outras. O investimento em tecnologias isoladas é contraproducente: seria irracional investir em sensorização de máquinas sem investimentos em *softwares* de manufatura avançada, inteligência artificial, em capacidade de processamento local (*fog*) ou nuvem, ou sem investimentos em *big data* e inteligência artificial.

Por mais que sejam de uso genérico e possam ser introduzidas de forma gradual, soluções genéricas que forem oferecidas por provedores, tipo *one-size-fits-all*, não serão eficientes; as novas tecnologias adquirem relevância econômica se customizadas às características específicas dos processos industriais das empresas. É imprescindível fazer diagnósticos e prognósticos precisos das capacitações e dos recursos para potencializar a eficiência e a efetividade das soluções que se pretenda adotar. A busca da eficiência de processos e desempenho de produtos é norma competitiva incontornável. Porém, essa é a “etapa fácil” e até certo ponto previsível. A sustentabilidade competitiva demanda das empresas investimentos continuados em inovações que sejam relevantes para o seu negócio, e isso irá mudar como elas se organizam e competem.

Estão, portanto, abertas oportunidades únicas para reposicionamentos estratégicos, sempre considerando a relação valor criado/custo das inovações. O momento é de ação para se antecipar às mudanças que estão por vir, com o objetivo de direcioná-las favoravelmente para a sustentabilidade competitiva ou para mitigar possíveis impactos negativos que possam levar à destruição de valor.

1.3.2 Alertas gerais

Ainda que as janelas de oportunidade para a geração, a absorção e a difusão das inovações associadas a cada *cluster* tecnológico sejam amplas, o aproveitamento dessas oportunidades não é simples nem isento de riscos. Estratégias empresariais e políticas públicas irrefletidas serão ineficazes por questões tecnológicas (por exemplo, falta de medidas sinérgicas contemplando *clusters* complementares) e por conta de diferentes e novos tipos de constrangimentos, entre eles aspectos éticos e/ou regulatórios que afetam valores individuais; aspectos sociais e/ou ambientais relacionados à produção

ou ao uso de tecnologias; aspectos tecnoeconômico, associados a ativos, capacitações tecnológicas e organizacionais e infraestruturas complementares; e aspectos normativos e/ou relativos a normas associadas a padrões técnicos como a interoperabilidade.

Se, para as empresas enfrentarem os desafios das novas tecnologias, é necessário localizar a inovação no mais alto nível decisório, o mesmo deve ocorrer no âmbito político. E isso não é só pela importância que a inovação tem e crescentemente terá sobre a economia, a sociedade e a cultura. As implicações éticas, regulatórias, sociais, ambientais e científicas e tecnológicas advindas das novas tecnologias demandam atenção das mais altas instâncias de decisão executiva, legislativa e judicial.

O país terá que enfrentar desafios éticos, regulatórios e normativos que ainda não estão resolvidos, tais como garantir liberdade de escolha e assegurar o direito à privacidade, à confidencialidade de dados e à segurança pessoal. Também merecem atenção as implicações de ordem legal derivadas da crescente autonomia das máquinas, tais como a responsabilização e a penalização por violações de acesso a dados e usos indevidos, os prejuízos ou acidentes e a proteção de segredos industriais. Será crescente a complexidade do marco regulatório associado às biotecnologias apoiadas pelas “ômicas” quando associadas ao uso e à manipulação do genoma e de células-tronco. Entre os constrangimentos normativos, destacam-se a incerteza em relação à definição de padrões abertos vs. padrões proprietários e a necessidade de proteção criptográfica que endereça constrangimentos de natureza ética.

Da mesma forma, as implicações sobre o trabalho e a qualificação, derivadas das novas tecnologias, são muito complexas; em todo o mundo, analistas, empresários e políticos estão debatendo as relações entre as novas tecnologias e o trabalho, sem ainda vislumbrar que caminhos seguir. Esse é um debate que precisa ser ampliado no país.

Os cidadãos brasileiros (assim como de outros países) ainda não possuem o conhecimento e a percepção das implicações acima expostas. A direção é simples: o processo de geração, uso e difusão de novas tecnologias demanda a valorização e a ampliação dos ativos e das capacitações científicas e tecnológicas do país. Porém, sua construção política e econômica é complexa. Essa é uma questão pública e urgente a ser enfrentada pelos dirigentes do país.



A DIGITALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA: ONDE ESTAMOS E PARA ONDE VAMOS?

2.1 Digitalização nas empresas: o que e como perguntar?

A difusão de tecnologias digitais na economia, em particular na indústria, tem sido objeto de atenção de empresas, institutos de pesquisa e governos em todo o mundo. A referência a uma Indústria 4.0 como sendo “meta-desejo ideal” tornou-se quase lugar comum. No entanto, para países com estruturas industriais diversificadas em termos de amplitude de atividades existentes e heterogêneas quanto à capacitação e ao desempenho, tal referência genérica não cabe, não é funcional para o debate nem para se derivar implicações para políticas de desenvolvimento produtivo e tecnológico.

As perguntas adequadas para contextos como o brasileiro são: quais as tecnologias digitais em uso no presente e no futuro próximo? Como caracterizar empresas digitais “avançadas” e “limitadas”? Esses serão os temas a serem investigados neste capítulo. Essa análise, portanto, provê um panorama geral do estágio atual e esperado da digitalização da indústria brasileira e serve como porta de entrada para a análise detalhada e cuidadosa do impacto das novas tecnologias sobre diferentes sistemas produtivos e focos setoriais.

A base de informações é constituída por respostas de executivos que representam um painel de 753¹ empresas de diversos setores. A pesquisa de campo foi realizada ao longo do segundo semestre de 2017, em um processo de consulta feito pela internet e gerido pela equipe de pesquisa da CNI.² As perguntas do questionário foram elaboradas com base em trabalhos semelhantes realizados na UFRJ, na literatura especializada e, sobretudo, na sondagem sobre Indústria 4.0 feita pela CNI em 2016 (todos citados nas referências bibliográficas deste capítulo).

A maioria desses trabalhos busca determinar quais das tecnologias ditas “4.0” são utilizadas pelas empresas objeto de pesquisas e quais seus requisitos. Para o caso brasileiro, foi necessário seguir um caminho alternativo por três razões. Primeiro, tecnologias digitais estão disponíveis e vêm sendo utilizadas por empresas industriais de todos os setores, em todo o mundo, há pelo menos 30 anos. Portanto, foi necessário levar em consideração a possibilidade de as empresas estarem utilizando tecnologias

¹ Para a elaboração desta síntese, realizou-se um exercício econométrico (descrito no item 2.5) para testar a consistência dos resultados e explorar as relações entre as variáveis. Esse exercício apontou a necessidade de se excluírem seis empresas do painel, o que levou à redução da amostra de 759 para 753 empresas. Com isso, os resultados aqui reportados diferem daqueles reportados nas Notas Técnicas Setoriais e no Relatório da Pesquisa de Campo do projeto. As diferenças são, contudo, apenas marginais, e não modificam os resultados em essência e sentido.

² Essa equipe é muito experiente; conduz ou contrata, analisa todas as pesquisas econômicas da CNI e já realizou pesquisa sobre o tema em 2016. Sem o apoio de qualidade e dedicado da equipe, a pesquisa de campo I2027 não teria sido possível.

digitais de diferentes gerações. Segundo, independentemente de sua geração, as tecnologias digitais vêm sendo utilizadas em várias funções empresariais. Terceiro, no Brasil há diferenças significativas de capacitação e desempenho entre empresas, inclusive em um mesmo setor. Portanto, a pesquisa de campo do projeto I2027 buscou captar o uso pelas empresas de diferentes gerações de tecnologias digitais, em diferentes funções, tendo como referência as melhores práticas internacionais. As questões da pesquisa foram formuladas com o apoio de especialistas em tecnologias digitais, de modo que toda e qualquer empresa industrial, independentemente da natureza de sua atividade, pudesse respondê-la.³

As respostas foram feitas por pessoas em posição executiva e com conhecimento amplo das atividades da melhor unidade produtiva da empresa (no caso de uma empresa multiplanta). As respostas com relação ao futuro, naturalmente, exprimem percepções de respondentes informados; não se trata de uma previsão, mas da expectativa do respondente quanto ao futuro. Neste caso, o exercício parte da premissa de que os executivos das empresas são as pessoas mais informadas para responder a questões de natureza prospectiva.

2.2 A execução da pesquisa e o painel de empresas

Após uma análise crítica da base de dados para identificar incongruências e ausências de informações, a base original de 813 estabelecimentos respondentes foi reduzida a 753 estabelecimentos. O quadro 6 revela a distribuição das empresas por porte, sistema produtivo e capacitação.

³ Em especial, o I2027 registra agradecimentos a Eduardo de Sensi Zancul, professor do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), pela colaboração nesta tarefa.

Quadro 6 – Caracterização do painel de respondentes

Porte(i)	Número	Proporção (%)
Grande (mais de 500 empregados)	236	31,3
Médias-Grandes (250-500 empregados)	223	29,6
Médias (100-250 empregados)	294	39,0
Total Geral	753	100,0%
Sistema Produtivo(ii)	Número	Proporção (%)
Agroindústrias	110	14,6
Bens de Capital	135	17,9
Bens de Consumo	148	19,7
Complexo Automotivo	48	6,4
Insumos Básicos	110	14,6
Tecnologias de Informação e Comunicação	57	7,6
Química	112	14,9
Outros	33	4,4
Total Geral	753	100,0%
Capacitação(iii)	Número	Proporção (%)
Baixa	228	30,2
Média	218	29,0
Alta	307	40,8
Total Geral	753	100,0%

Fonte: Elaboração I2027.

Notas: (i) Porte segundo a Relação Anual de Informações Sociais (Rais) do Ministério do Trabalho.

(ii) Capacitação medida a partir da proporção de trabalhadores de nível superior (titulação em engenharias, ciência, tecnologia e matemáticas) em relação ao total de empregados. Foram definidos, para cada sistema produtivo, percentuais da taxa de empregados de nível superior sobre emprego total e estratificados em três faixas. Foi utilizada a estrutura mais desagregada (seis dígitos) das profissões da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO), compatível com a Classificação Internacional de Ocupação (ISCO). De um total de 2.614 ocupações, foram selecionadas 174: pesquisadores e profissionais politécnicos, profissionais de ciências naturais, física e engenharia, bem como profissionais de ciências biológicas e áreas similares.

Para dar conta da amplitude de usos de tecnologias digitais em diferentes funções e da possibilidade de convivência de diferentes gerações tecnológicas em uma empresa, a pesquisa partiu de duas especificações: funções empresariais e gerações digitais. Para a primeira, foram especificadas cinco funções nas quais as tecnologias digitais fazem-se presentes: relacionamento com fornecedores, desenvolvimento de produtos, gestão da produção, relacionamento com clientes e gestão dos negócios. Para a segunda, como as tecnologias digitais estão há tempos e estarão, no futuro, presentes no cotidiano das empresas, foram definidas quatro gerações digitais com as seguintes especificações gerais: **geração 1 – produção rígida**: uso de tecnologias digitais em função específica, de forma pontual (CAD); **geração 2 – produção enxuta**: automação flexível ou semiflexível, com uso de tecnologias digitais sem integração ou integração parcial entre áreas (CAD-CAM); **geração 3 – produção integrada**: uso de tecnologias digitais com integração e conexão em todas as funções empresariais

(sistema de apoio e suporte a vendas baseado em internet); e **geração 4 – produção integrada, conectada e inteligente**: uso de tecnologias digitais com retroalimentação de informações na operação e para apoiar processos de decisão (gestão de negócios com apoio de *big data* e inteligência artificial). A figura 3 provê detalhes da caracterização das quatro gerações digitais.

Figura 3 – Funções e gerações de tecnologias digitais

	RELACIONAMENTO COM FORNECEDORES	DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	GESTÃO DA PRODUÇÃO	RELACIONAMENTO COM CLIENTES	GESTÃO DOS NEGÓCIOS
GERAÇÃO 1	Transmissão de pedidos manualmente	Sistema de projeto auxiliado por computador	Automação simples com máquinas não conectadas	Execução de contratos e registros manualmente	Sistemas de informação independentes específicos por departamento/ área, sem integração
GERAÇÃO 2	Transmissão de pedidos por meio eletrônico	Sistema integrado de projeto, fabricação e cálculo de engenharia	Processo parcial ou totalmente automatizado	Automação das atividades de vendas	Sistemas compostos por módulos e base de dados integrados
GERAÇÃO 3	Suporte informatizado de processos de compras, estoques e pagamentos	Sistemas integrados de gestão de dados de produto e processo	Sistema integrado de execução de processos	Sistema de apoio e suporte a vendas baseado em internet	Plataforma web com bases de dados para apoiar análises de negócio
GERAÇÃO 4	Relacionamento com fornecedores em tempo real	Desenvolvimento de produtos por meio de sistemas de modelagem virtual do produto e do processo	Gestão da produção automatizada por meio de soluções de Comunicação M2M (Máquina- Máquina)	Relacionamento com clientes através de monitoramento online de produtos em uso. Monitoramento e gestão do ciclo de vida de clientes	Gestão do negócio com apoio de <i>Big Data</i> e Inteligência Artificial

Fonte: Elaboração I2027.

Além da especificação das empresas por porte, sistema produtivo e capacitação, duas outras caracterizações das empresas foram utilizadas, a partir das respostas ao questionário sobre as gerações digitais em uso em 2017 e no futuro, e sobre a atitude atual com relação à geração esperada no futuro.

A primeira caracteriza a empresa de acordo com a evolução no uso de tecnologias digitais entre 2017 e até 2027.⁴ A evolução foi calculada para quatro funções empresariais: relacionamento com fornecedores, desenvolvimento de produto, gestão da produção e relacionamento com clientes, e, como resultado, três tipos de estratégias de adoção caracterizam as empresas.⁵ A **empresa analógica** apresenta, no presente e no futuro, níveis baixos de uso de tecnologias digitais (G1 e G2) em todas as funções; a **empresa digital** apresenta níveis médios e altos de uso de tecnologias digitais (G3 e G4), tanto no presente quanto no futuro, para todas as funções, com exceção da

⁴ A intensidade de movimento foi obtida para cada empresa pela multiplicação de sua posição em 2017 (1, 2, 3 ou 4) pela posição em 2027 (também 1, 2, 3 ou 4).

⁵ Por sua especificidade, a função mais genérica (gestão de negócios) não foi considerada.

função gestão de negócios; e a **empresa seletiva** apresenta níveis médios e altos de uso de tecnologias digitais de duas formas, quais sejam, ou no relacionamento interno (desenvolvimento do produto e gestão da produção) ou no relacionamento externo (relacionamento com fornecedores e relacionamento com os clientes).

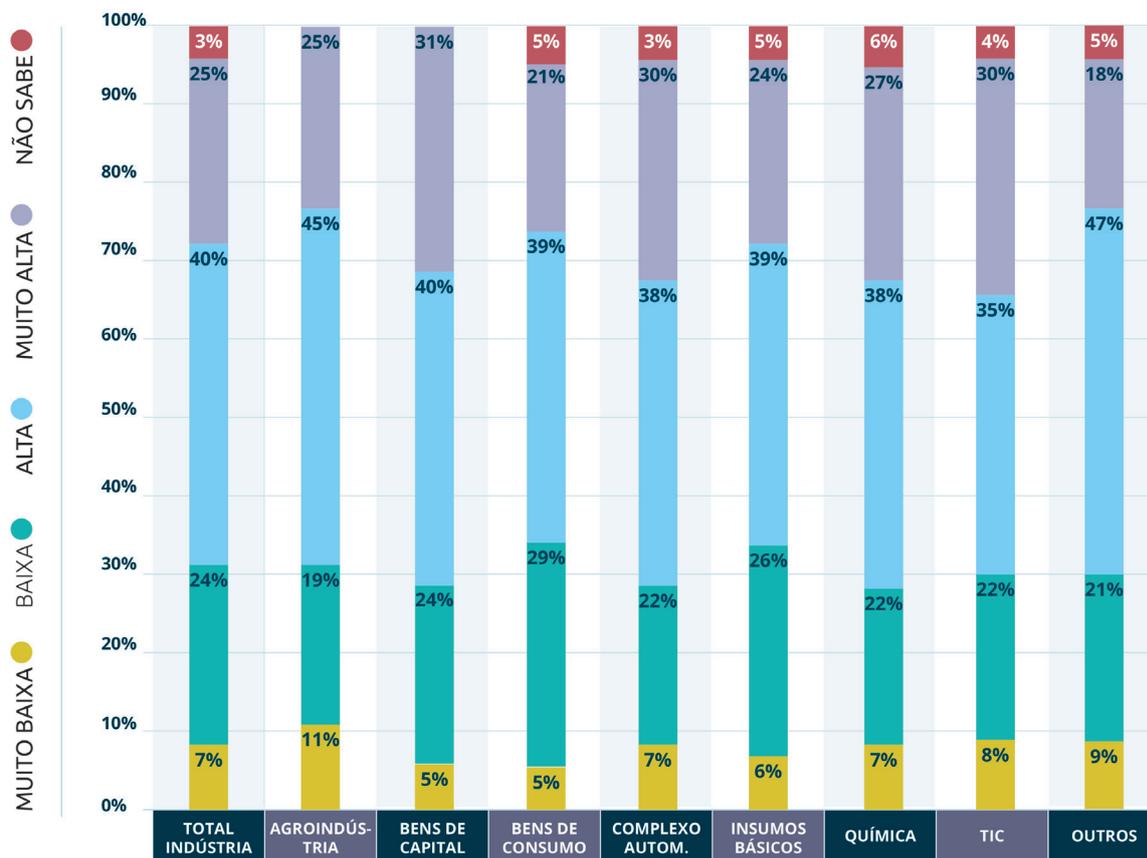
A segunda caracteriza a atitude da empresa de acordo com as iniciativas que atualmente as organizações estão realizando para se preparar para a geração digital que pretendem alcançar até 2027. Essa informação revela a atitude da empresa para com seu futuro, categorizada em três tipos: a **empresa passiva** é aquela que não possui projetos ou está realizando estudos iniciais para todas as funções; a **empresa antenada** é aquela que possui projetos aprovados ou em fase de execução em todas as funções, com exceção da função gestão de negócios; e a **empresa focada** denota as empresas que possuem projetos aprovados ou em fase de execução para as funções associadas a relacionamento externo ou a relacionamento interno.

2.3 2027: as tecnologias digitais avançadas serão dominantes na indústria brasileira?

Qual a visão dos executivos das empresas com relação ao futuro da indústria brasileira? Haverá um processo de digitalização nos próximos anos? Será que em todos os setores as empresas irão empreender esforços semelhantes para se modernizar? Qual a probabilidade de as tecnologias G4 tornarem-se dominantes no setor de atuação da empresa até 2027? A percepção dos executivos das empresas foi registrada de acordo com quatro níveis de probabilidade: muito alta, alta, baixa e muito baixa. As expectativas setoriais dos executivos para o conjunto das cinco funções são apresentadas na figura 4.

Para a maioria (65%) dos 753 executivos, é alta ou muito alta a probabilidade de as tecnologias G4 serem dominantes em 2027, em seus setores. Mas há alguns destaques. Para 70% e 68% dos executivos dos sistemas agroindústria e automotivo, respectivamente, é alta ou muito alta a probabilidade de tecnologias G4 serem dominantes em seus setores, em 2027. Os executivos do sistema produtivo bens de consumo são marginalmente menos otimistas, já que 60% apontam para uma probabilidade alta ou muito alta de predomínio de tecnologias digitais avançadas.

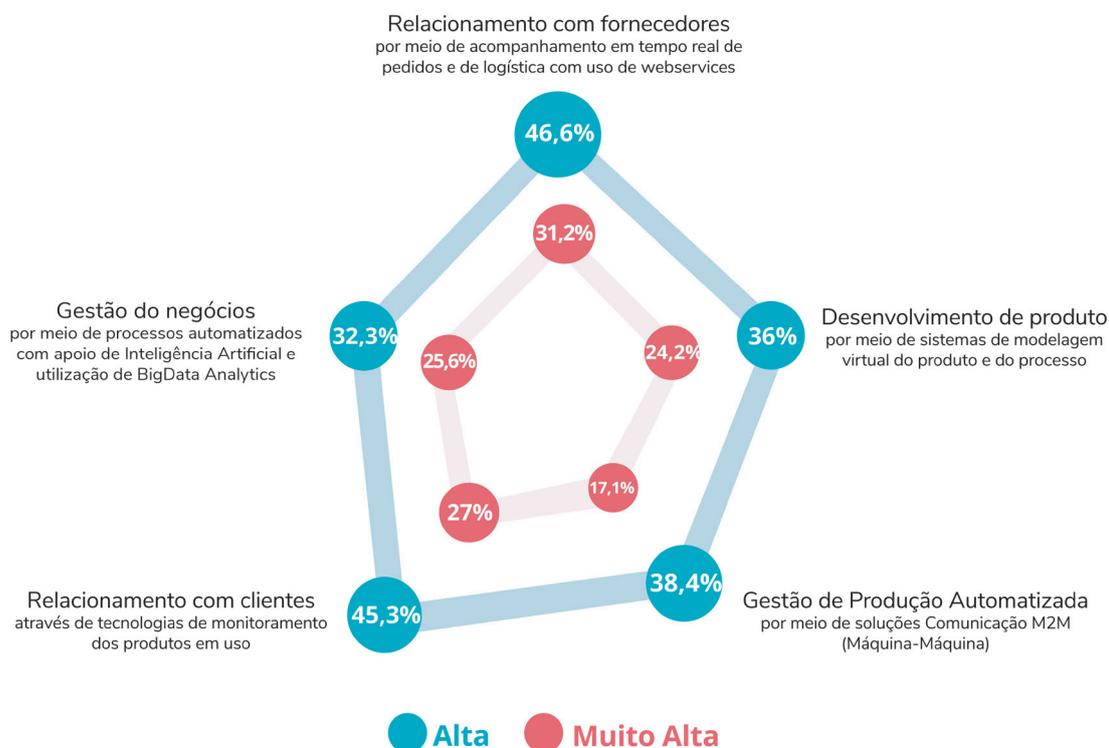
Figura 4 – Probabilidade de a G4 ser dominante no futuro no setor de atuação da empresa (em todas as funções) – total da indústria e sistemas produtivos (em % respondentes)



Fonte: Elaboração I2027.

Porém, em que funções empresariais os executivos esperam maior ou menor predomínio de tecnologias G4? Conforme mostra a figura 5, a probabilidade de as tecnologias G4 serem dominantes no futuro é mais elevada para as funções de relacionamento externo das empresas; aproximadamente 78% dos executivos indicaram probabilidade “alta” ou “muito alta” para relacionamento com fornecedores; e 72,3% para relacionamento com clientes. Em contrapartida, na gestão da produção e na gestão de negócios, as expectativas positivas foram apontadas somente para 55,5% e 57,9% dos executivos. Esse resultado é surpreendente, pois as funções empresariais de destaque, para serem implementadas, demandam coordenação com outros agentes econômicos, além dos limites da própria empresa, sinalizando um desafio organizacional mais complexo do que aquele referente ao âmbito interno às empresas. Seja por decisão da empresa, de buscar maior interação com clientes e fornecedores, seja por pressão desses, por maior proximidade, o fato é que os executivos desse painel de empresas percebem que as cadeias de valor da indústria brasileira estarão mais sofisticadas e atualizadas tecnologicamente em 2027.

Figura 5 – Probabilidade de a G4 ser dominante no futuro, no setor de atuação da empresa, por função – total da indústria (em % respondentes)



Fonte: Elaboração I2027.

Em síntese, são muito convergentes as expectativas dos executivos das empresas na direção de um processo de aceleração da difusão de tecnologias avançadas na indústria brasileira nos próximos dez anos. Se essas expectativas se realizarem, as transformações na indústria serão importantes: as empresas serão mais eficientes e produtivas e capazes de prover bens e serviços atualizados e adequados às demandas dos consumidores; as cadeias de valor terão intensidade tecnológica avançada; as empresas estarão disputando mercados em ambiente competitivo, no qual seus concorrentes também possuem nível tecnológico elevado. Esse é o cenário a partir do qual os executivos das empresas fizeram sua reflexão sobre o uso atual e esperado de tecnologias digitais em suas próprias empresas.

2.4 2017 e 2017: a digitalização nas empresas

Enquanto são positivas as expectativas de futuro para os setores de atuação das empresas, quando se examinam a situação atual e as projeções dos executivos brasileiros para suas empresas, a situação é diferente. A figura 6 mostra as gerações digitais em 2017 e as expectativas para 2027 para o total da indústria e para os sistemas produtivos. Em 2017, 75,6% das empresas estão nas gerações 1 e 2; 22,8% na geração 3; e apenas 1,6% encontra-se na geração mais avançada. Porém, há disposição a avançar,

uma vez que 23,9% delas esperam estar na quarta geração nos próximos dez anos. Os resultados por setor não diferem muito da média da indústria. Os setores cujas empresas encontram-se em gerações mais elevadas, em 2017, são aqueles de maior intensidade tecnológica: química, com 32,9%; e TIC, com 30,9% das empresas nas gerações 3 ou 4.

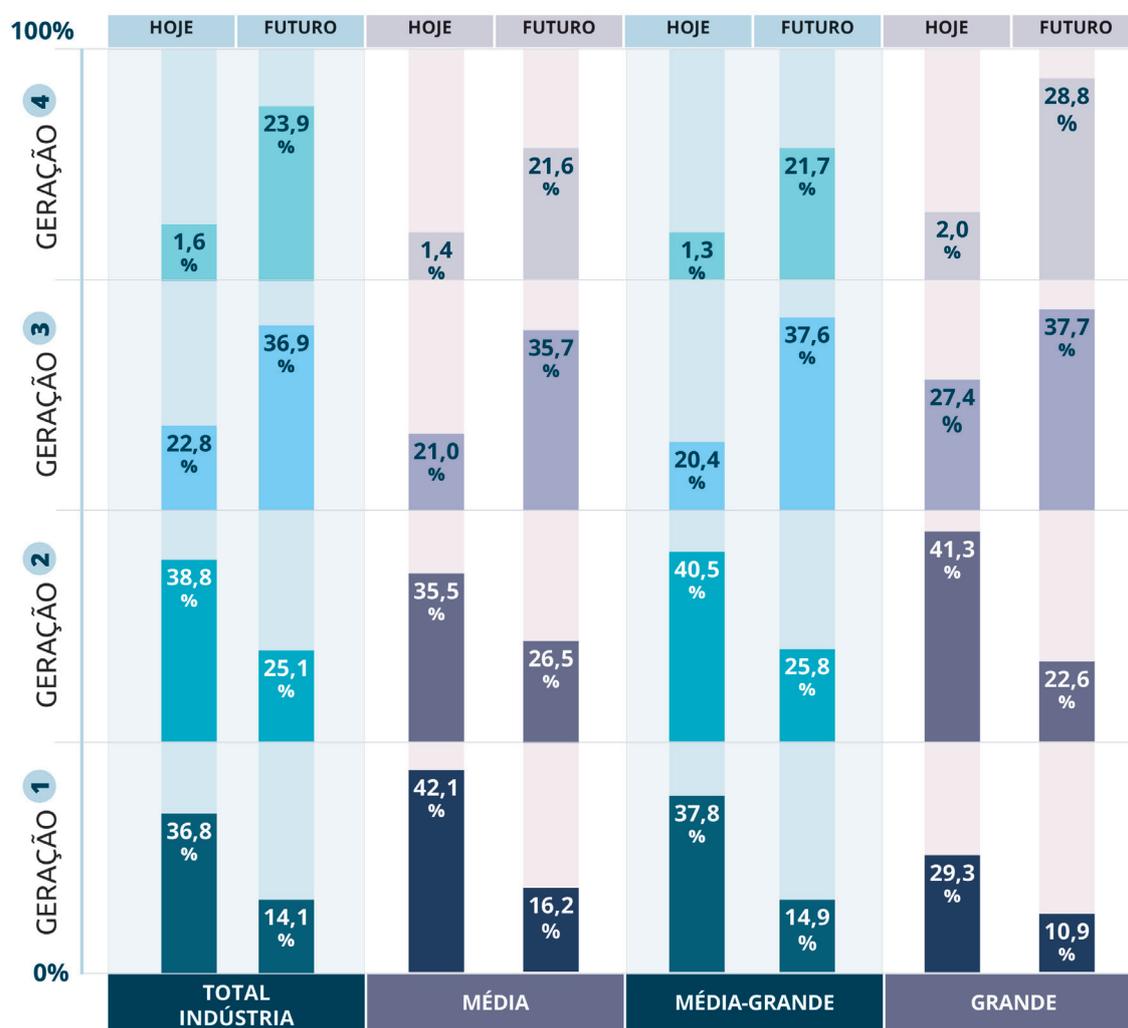
Figura 6 – Uso de gerações de tecnologias digitais em 2017 e esperado para 2027 – total da indústria e sistemas produtivos (em % respondentes)



Fonte: Elaboração I2027.

A distribuição das empresas em termos de porte e uso das tecnologias, tanto em 2017 quanto em 2027, é convergente, com uma ligeira diferença em favor das maiores empresas: em 2017, nas gerações 1 e 2 encontram-se 77,6% das empresas médias, 78,3% das médias-grandes e 70,6% das grandes empresas. Porém, quando se miram as expectativas de futuro, as gerações 3 e 4 predominam para 57,3% das médias, 59,3% das médias-grandes e 66,5% das de maior porte. Quase um terço desse grupo tem expectativas de estar na geração mais avançada (figura 7).

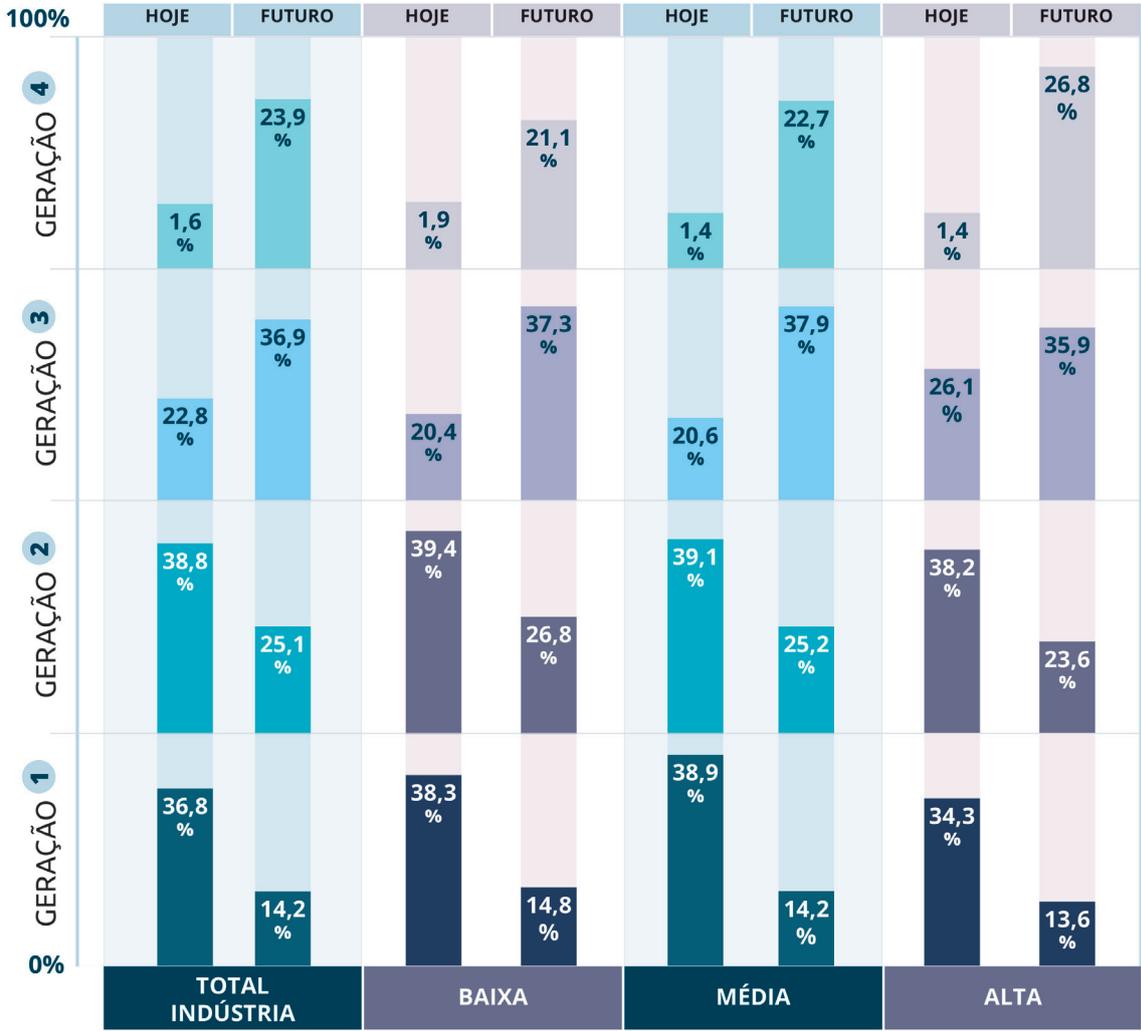
Figura 7 – Uso de gerações de tecnologias digitais em 2017 e esperado para 2027 de acordo com o porte das empresas (em % respondentes)



Fonte: Elaboração I2027.

Esse padrão de respostas é diferente quando se considera a capacitação das empresas. As organizações com maior proporção de profissionais graduados em ciência, tecnologia, engenharia e matemáticas em relação ao total de empregados em 2017 indicam maior uso de tecnologias das gerações 3 e 4 (27,5%), e, no futuro, essa proporção aumenta para 62,7%, contrastando com as empresas de baixa qualificação (22,3% em 2017 e 58,4% no futuro).

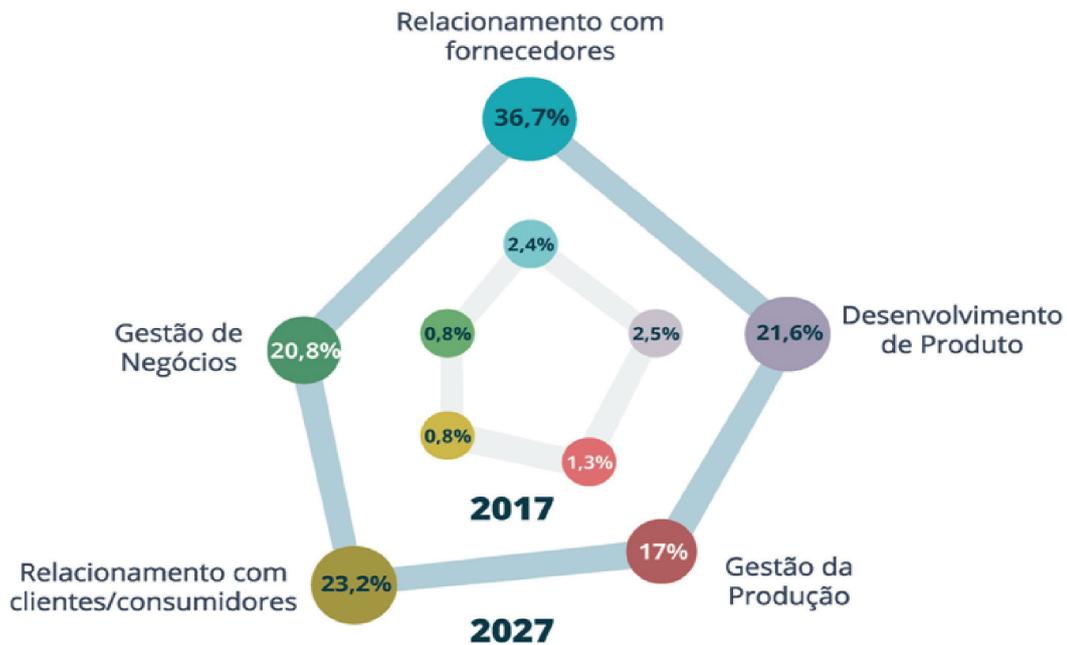
Figura 8 – Uso de gerações de tecnologias digitais em 2017 e esperado para 2027 de acordo com o nível de capacitação das empresas (em % respondentes)



Fonte: Elaboração I2027.

O corte do uso presente e futuro de tecnologias segundo as cinco funções organizacionais corrobora os resultados vistos anteriormente quanto à probabilidade de predomínio das tecnologias G4 nos setores de atuação das empresas. A figura 9 mostra que os avanços esperados com relação ao uso de tecnologias G4 entre 2017 e até 2027 são mais pronunciados nas funções que envolvem relacionamentos externos.

Figura 9 – Uso de gerações de tecnologias G4 pelas empresas em 2017 e esperado até 2027, de acordo com as cinco funções organizacionais (em % respondentes)



Fonte: Elaboração I2027.

Os executivos também se posicionaram quanto ao tipo de atividade que as empresas estão realizando em 2017 para se prepararem para a geração digital que pretendem alcançar em 2027. As respostas possíveis eram: nenhum tipo de ação; estudos iniciais; projetos aprovados, mas não iniciados; e projetos já em fase de execução. A figura 10 cruza essas atitudes com a geração tecnológica esperada para o futuro.

Figura 10 – Geração digital no futuro vs. atitudes em curso para atingi-la (em % respondentes)



Fonte: Elaboração I2027.

Do total de empresas que esperam estar na geração 4 no futuro, 47,5% já possuem projetos aprovados ou estão em fase de implementação em 2017. Por outro lado, mais de 75% das empresas que projetam poucos avanços para o futuro demonstram atualmente um alto grau de inércia. Ou seja, quanto maior a expectativa de uso de tecnologias mais avançadas, maior o grau de preparação das empresas para lograr esse futuro almejado. Em sentido contrário, para aqueles estabelecimentos que não veem um avanço significativo na digitalização, o nível de preparação é menor.

2.5 Como se diferenciam as empresas em seus movimentos de digitalização?

A análise descritiva indica resultados, em grande medida, consensuais: baixo nível de utilização de tecnologias digitais avançadas em 2017 e expectativas de avanços importantes até 2027. Porém, há crescente dissenso quando a referência é o futuro. Será esse dissenso real ou aparente? Como explorar as informações sobre diferenças nas estratégias de evolução no uso atual e futuro em direção às tecnologias avançadas? Para avançar nessa direção, foi necessário lançar mão de técnicas quantitativas que permitissem relacionar uso de tecnologias digitais a características estruturais e comportamentais das empresas.

A natureza das questões (variáveis categóricas) e o arsenal técnico disponível (regressões econométricas) apontaram, como instrumento de análise mais adequado, a técnica de regressão logística ordenada (box 1). Por meio do uso desse instrumento foi possível explorar em que medida diferenças nas estratégias de movimentos de digitalização podem ser explicadas por variáveis que expressam características estruturais e comportamentais. São elas:

- **Sistema produtivo:** setores de maior intensidade tecnológica teriam, igualmente, maior propensão à digitalização, e aqueles de menor intensidade possuem uma menor propensão?
- **Porte:** empresas com mais ou menos recursos estariam também mais ou menos dispostas ao investimento em tecnologias digitais?
- **Capacitação:** haveria relação direta entre capacitação e investimentos em tecnologias digitais?
- **Atitude:** empresas mais preparadas (atenadas) teriam maior propensão ao investimento em modernização comparativamente às empresas menos preparadas (passivas ou focadas)?

Box 1 – A regressão logística ordenada

Como as variáveis da pesquisa de campo não são contínuas e sim categóricas, no exercício econométrico foi utilizada uma regressão logística ordenada. Uma regressão logística permite mensurar a relação entre variáveis dependentes e variáveis explicativas, por meio da estimação de probabilidades baseadas em uma função logística. O resultado é o cálculo da probabilidade de ocorrência de um evento específico relacionado a uma categoria alvo da variável resposta que se busca compreender. A opção pela regressão ordenada também leva em consideração o fato de a variável dependente de escolha possuir uma ordenação de categorias que não pode ser negligenciada¹. Este ordenamento é essencial, pois as respostas que indicam uso atual e futuro de tecnologias mais avançadas são consideradas melhores do que aquelas que sinalizam para estágios ainda iniciais no movimento entre gerações digitais. A equação básica do modelo generalizado² para M categorias é:

$$P(Y_i > j) = \frac{\exp(\alpha_j + X_i \beta_j)}{1 + [\exp(\alpha_j + X_i \beta_j)]}, j = 1, 2, \dots, M - 1, \text{ onde:}$$

Y_j é variável resposta e representa a variável a ser explicada;

X_j representa cada variável explicativa;

α_j é o intercepto do modelo

β_j são os coeficientes associados às variáveis explicativas para as M categorias e expressam os efeitos das variáveis explicativas na variável-resposta.

(1) Long, J. S.; Freese, J. (2006) Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables Using Stata, Second Edition. College Station, Texas: Stata Press. Long, J. S.; Freese, J. (2014). Regression models for categorical dependent variables using Stata (3rd ed.). College Station, TX: Stata Press.

(2) A regressão logística ordenada pode considerar a hipótese de chances proporcionais de ocorrência (regressões paralelas para cada variável explicativa) ou não proporcionais. O modelo generalizado é aquele que contempla as duas possibilidades.

Fonte: Elaboração I2027.

A regressão logística ordenada permitiu determinar a probabilidade de uma maior ou menor propensão de as empresas moverem-se na direção de tecnologias digitais mais avançadas entre 2017 e 2027, em função de características comportamentais e estruturais das organizações.

A figura 11 relaciona as probabilidades de ocorrência de três diferentes estratégias de movimento para a digitalização (analógica, digital, seletiva), com três tipos ou perfis de combinações de características estruturais e comportamentais das empresas: (i) empresas médias, com menor capacitação, sem projetos nem planos mirando as tecnologias esperadas para o futuro (empresa passiva); (ii) empresas médias-grandes, com nível intermediário de capacitação e planos em execução para relacionamento externo ou para as funções internas (empresa seletiva); e (iii) empresas de grande porte, com alto nível de capacitação e com planos em implementação para o futuro, tanto no relacionamento externo quanto em funções internas (empresa antenada).

Figura 11 – Probabilidade de as empresas seguirem uma determinada estratégia de digitalização em função de determinantes comportamentais e estruturais

ESTRATÉGIAS DE DIGITALIZAÇÃO	EMPRESAS DE MENOR PORTE, MENOR CAPACITAÇÃO, SEM PLANOS OU APENAS REALIZANDO ESTUDOS	EMPRESAS DE MÉDIO PORTE, CAPACITAÇÃO MÉDIA, COM PLANOS APROVADOS OU EM EXECUÇÃO EM APENAS UMA DAS DIMENSÕES	EMPRESAS DE MAIOR PORTE, CAPACITADAS, COM PLANOS APROVADOS OU EM EXECUÇÃO	PARTICIPAÇÃO (%) DOS SISTEMAS PRODUTIVOS EM CADA ESTRATÉGIA DE DIGITALIZAÇÃO (TOP 3 SISTEMAS) OU PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DA ESTRATÉGIA DE DIGITALIZAÇÃO NOS DIFERENTES SISTEMAS PRODUTIVOS (% DOS TOP 3)
ANALÓGICA	75,07%	34,59%	8,43%	1º AGROINDÚSTRIA (63,3%) 2º OUTROS (56,7%) 3º INSUMOS BÁSICOS (50,7%)
SELETIVA	19,36%	39,83%	25,39%	1º TIC (34,4%) 2º QUÍMICOS (33,1%) 3º BENS DE CONSUMO (33,1%)
DIGITAL	5,57%	25,58%	66,18%	1º TIC (25,7%) 2º QUÍMICOS (22,4%) 3º BENS DE CONSUMO (22,4%)
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	

Fonte: Elaboração I2027.

Os resultados apresentados na figura 11 indicam que características estruturais (porte e setor) e as duas características comportamentais (atitude e capacitação) atuam como determinantes na diferenciação do movimento para a digitalização das empresas:

- **Empresas digitais:** a probabilidade de uma empresa seguir uma estratégia digital avançada é de 66% para aquelas que são de maior porte, têm elevada proporção de pessoal capacitado e possuem projetos aprovados ou já em fase

de implementação. Os sistemas produtivos TIC, bens de consumo e química são aqueles em que esse tipo de estratégia é mais provável de ocorrer.

- **Empresas seletivas:** uma estratégia seletiva é mais provável (em quase 40%) quando a empresa tem porte médio-grande, nível intermediário de capacitação e possui projetos aprovados ou em execução em um determinado direcionamento (interno ou externo). Os setores TIC, química e bens de consumo foram aqueles que mostraram maior probabilidade de ocorrência para essa estratégia.
- **Empresas analógicas:** há 75% de probabilidade de ocorrência de estratégia de digitalização limitada em empresas de menor porte, sem capacitação e sem qualquer projeto com vistas à sua digitalização futura. Os sistemas produtivos em que essa estratégia tende a destacar-se são a agroindústria (63,3% de probabilidade de a empresa ser analógica), os outros (que reúnem empresas de outros setores) e as atividades relativas aos insumos básicos, em que a probabilidade de a empresa ser analógica é superior a 50%.

2.6 Requisitos para uma trajetória sustentável de digitalização

Os executivos das empresas brasileiras esperam que a indústria brasileira siga uma trajetória expressiva de modernização por meio das tecnologias digitais. Para a maioria deles é alta ou muito alta a probabilidade de tecnologias digitais avançadas predominarem em seus setores de atividade. Isso significa um ambiente concorrencial marcado pela sofisticação tecnológica, em particular no relacionamento da empresa com seus fornecedores e clientes. A digitalização avançada marcará o ambiente concorrencial brasileiro em 2027, de acordo com as expectativas dos executivos da indústria.

Se esse é o ambiente concorrencial esperado em 2027, a posição relativa de cada empresa, em 2017, pode ser caracterizada como sendo, no mínimo, desafiadora. São muito baixos os níveis de utilização de gerações digitais avançadas em 2017, em todas as funções empresariais e por empresas de distintos setores, tamanhos e níveis de capacitação.

Porém, quando a referência é o futuro, as expectativas de modernização digital das organizações são muito positivas, mesmo que o consenso não seja tão alto com relação ao uso das tecnologias em 2017. Exatamente por conta de uma maior dispersão das respostas na pesquisa de campo, foram realizados testes de consistência das estratégias de modernização digital das empresas para verificar se estas se explicam por características estruturais ou comportamentais.

Os resultados mostram que há maior probabilidade de as empresas evoluírem em direção às gerações digitais avançadas: (i) se estas adotarem atitudes proativas, na forma de planos de futuro aprovados ou em execução; (ii) se têm capacitação, na forma de pessoal qualificado; (iii) se são de maior porte; e (iv) se têm origem em setores com alguma intensidade tecnológica. As implicações disso são muito relevantes.

Pelas características estruturais, são somente empresas de grande porte e de setores industriais específicos as que têm maior probabilidade de engajamento digital? Certamente empresas de maior porte podem mobilizar, com facilidade relativamente maior, os recursos (financeiros e outros) para fazer frente aos investimentos em digitalização. Da mesma forma, empresas de setores com uma base técnica que já incorpora o paradigma digital também terão maior facilidade para avançar na modernização. Porém, empresas de outros portes e setores também podem avançar. Em particular, estratégias de modernização focalizadas em funções específicas, como relacionamento externo, para fortalecer laços com provedores ou clientes, ou relacionamento interno, para desenvolver produtos ou gerir processos intensivos em tecnologias digitais, são adequadas para empresas de outros setores que não os de alta intensidade ou para empresas de menor porte.

Para além das características estruturais, as características comportamentais das empresas são tão ou mais relevantes para o avanço na digitalização: o investimento em capacitação, o desenvolvimento e a implementação de estratégias de modernização digital no longo prazo. Investimentos e atitudes para fortalecer os processos de digitalização independem de porte ou setor de origem e são decisão de seus líderes. O futuro das empresas depende da disposição em investir em capacitação e desenvolver estratégias de adoção de tecnologias digitais.

As empresas com projetos aprovados e projetos iniciados de modernização são aquelas com maior probabilidade de utilizarem tecnologias digitais mais avançadas no futuro. Empresas que nada estão fazendo em 2017 para se preparar também são as que apontam para gerações digitais menos avançadas no futuro e vice-versa. A mensagem dos executivos brasileiros não poderia ser mais clara: o futuro se constrói por meio de investimentos em capacitação, por meio de planos que miram o longo prazo e que se implementam dia após dia.

2.7 Referências bibliográficas

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016.

GEISSBAUER, R.; VEDSO, J.; SCHRAUF, S. **Global Industry 4.0: building the digital enterprise**. London: PwC, 2016.

IE-UNICAMP – INSTITUTO DE ECONOMIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS; IE-UFRJ – INSTITUTO DE ECONOMIA INDUSTRIAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira**. Campinas; Rio de Janeiro: IE-UNICAMP; IE-UFRJ, 1994.

JAIN, B.; ADIL, G.; ANANTHAKUMAR, U. Development of questionnaire to assess manufacturing capability along different decision areas. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 71, p. 2091-2105, 2014.

JMAC – JAPAN MANAGEMENT ASSOCIATION CONSULTANTS. **Industry 4.0 on air in Japan**. Milano: JMAC Europe, 2016.

KPMG. **The disruptors are the disrupted**. Disruptive technologies barometer: technology sector. Amstelveen: KPMG International, 2016.

MCKINSEY & COMPANY. **Industry 2014 after the initial hype**. Where manufacturers are finding value and how they can best capture it. New York: McKinsey & Company, 2016.

SVOBODOVA, L. Advanced Manufacturing Technology Utilization and Realized Benefits. *In: WSEAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS*, 15., July 14-16, Corfu Island, Greece, 2011. **Annals...** Corfu Island: WSEAS, 2011.

UNITED STATES. Maryland Department of Business and Economic Development. **Advanced Manufacturing Survey**. Baltimore: Maryland Department of Business and Economic Development, 2014.

VDMA – GERMAN ENGINEERING FEDERATION. **Guideline Industrie 4.0**. Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses. Frankfurt; Darmstadt; Karlsruhe: VDMA; DIK; KIT, 2015.



3

DIFUSORES DE INOVAÇÕES: ACOMPANHAR A FRONTEIRA PRODUTIVA E EXPLORAR SINERGIAS COM SETORES COMPETITIVOS

3.1 Quais são os sistemas difusores de inovações?

Os sistemas produtivos difusores de inovações abrangem a produção de equipamentos e sistemas de TIC e BK. Para o projeto I2027, o primeiro compreende produtos que viabilizam a disseminação das inovações das tecnologias digitais para si e para outros setores da indústria: componentes de microeletrônica, *software* e equipamentos e sistemas de telecomunicações, assim como dispositivos de acesso (computadores pessoais – PC e *smartphones*), *displays* e computadores de alto desempenho. A delimitação da indústria de BK é restrita ao setor de máquinas e equipamentos: máquinas e equipamentos agrícolas, máquinas-ferramenta, equipamentos para geração, transmissão e distribuição de energia e bens elétricos seriados de uso industrial.

As diferenças entre esses dois sistemas produtivos são muito aparentes: TIC tem base técnica de origem eletrônica, ao passo que BK é de origem mecânica; os BKs mecânicos surgem no século XIX; o transistor, que deu origem à tecnologia-chave das TICs, o microprocessador, surgiu durante os anos 1940 do século XX; a trajetória das TICs é processar um maior número de informações em um espaço físico cada vez menor; a trajetória do BK é processar um crescente número de operações com igualmente crescente precisão para diversas atividades econômicas e, para tal, a diversificação de produtos é essencial. De grande importância é o fato que o progresso no sistema de BK é crescentemente dependente da incorporação de tecnologias digitais para a função de comando dos equipamentos.

Então, por que reuni-los? Porque eles têm em comum quatro atributos de natureza tecnológica e competitiva e uma particularidade, no caso brasileiro, em termos de capacitação em inovação e capacidade competitiva. Os atributos tecnológicos comuns são: (i) à semelhança dos produtores especializados (ver capítulo 5), essas são atividades intensivas em conhecimento, dependentes do resultado de esforços científicos e tecnológicos realizados por empresas e pelo ecossistema de inovação a que estão associadas; (ii) o ritmo de mudança tecnológica é muito acelerado; (iii) a capacidade de diferenciar produtos e serviços define, em grande medida, o sucesso competitivo; e (iv) à diferença dos especializados, as inovações aqui desenvolvidas ou absorvidas e aplicadas são tecnologias de aplicação genérica.

Igualmente distinto dos produtores especializados são as particularidades desses sistemas produtivos e focos setoriais no caso brasileiro: a maior parte da produção local vem de empresas com limitada capacidade e desempenho competitivo (revelada ou potencial); as importações cumprem papel relevante no provimento da demanda por equipamentos de base eletrônica ou mecânica; e em nichos específicos de mercado, as empresas brasileiras têm capacidade potencial de acompanhar a fronteira tecnológica internacional.

3.2 Qual a importância econômica dos difusores de inovações e quais são os determinantes da mudança tecnológica?

Em grande medida, o principal determinante das mudanças em TIC e em BK advém do próprio progresso nas tecnologias digitais, ao longo de trajetórias de: (i) crescente capacidade de processamento de informações em espaços físicos cada vez menores; (ii) crescente facilidade de uso e inteligência incorporada nas soluções tecnológicas; e (iii) crescente oferta de bens e serviços a custos decrescentes (exemplo, Lei de Moore nos microprocessadores).

A importância do sistema TIC pode ser avaliada pelo seu peso econômico, equivalente a 5% do PIB global e a cerca de 9% do valor econômico agregado na indústria mundial. O valor do faturamento mundial foi estimado em US\$ 3,8 trilhões em 2016. Nesse ano, os Estados Unidos representavam o principal mercado de TIC, com 31% do total, mas a Ásia, que cresce rapidamente e respondia por 29%, deve ultrapassá-los em pouco tempo. A Europa detinha 24%; a América Latina, 9%; e a África, 7%.

A verdadeira importância do sistema TIC está associada à capacidade revelada nas últimas décadas de desenvolver soluções que mudam radicalmente produtos e processos produtivos de um amplo leque de atividades econômicas, principalmente da indústria. Como já visto, vários dos *clusters* geradores de inovações disruptivas de amplo alcance estão associados às tecnologias digitais.

O mercado de soluções ou plataformas para desenvolver negócios por meio das TICs deverá, nos próximos dez anos, ganhar densidade, diversidade e grande escala, à medida que se expande a IoT e difundem-se os sistemas de manufatura inteligente e conectada. A indústria de TIC é diretamente afetada por tais transformações pelo fato de ser, ao mesmo tempo, pioneira no uso de tecnologias emergentes e núcleo gerador de inovações críticas para o resto da economia.

No Brasil, o mercado de tecnologia da informação (TI), incluindo *hardware*, *software*, serviços e exportações de TI, movimentou US\$ 39,6 bilhões em 2016, representando 2,1%

do PIB brasileiro e 1,9% do total de investimentos de TI no mundo. Desse valor, US\$ 8,475 bilhões vieram do mercado de *software* e US\$ 10,227 bilhões do mercado de serviços.

O crescimento do sistema de TIC no Brasil vem sendo sustentado pelo segmento de *software* e serviços, enquanto a produção de *hardware* vem declinando desde 2013. O Brasil não é ator relevante na fabricação de componentes e equipamentos eletrônicos no cenário mundial. Os fabricantes brasileiros realizam localmente montagem de produtos para o mercado interno, com forte conteúdo importado. O Brasil é o 11º mercado de *software* e serviços de TI e o quarto em número de servidores conectados à internet. Dados de 2016 revelam que 22,5% do mercado brasileiro de *software* corresponde a produtos desenvolvidos no país. Em 2016, a utilização de programas de computador desenvolvidos no país (incluindo o *software* sob encomenda) representou 31% do investimento total em TI. Mais de 15 mil empresas dedicam-se ao desenvolvimento, à produção e à distribuição de *software* e de prestação de serviços. Deste total, quase 5 mil são empresas desenvolvedoras de *software*. Algumas empresas brasileiras de *software* de gestão e de serviços têm competência reconhecida, inclusive no cenário competitivo internacional. Uma trajetória ascendente é o surgimento de *startups* baseadas em soluções digitais, em especial para servir setores específicos, como a indústria financeira (*fintechs*) e agricultura (*agritechs*).

O sistema produtivo de BK, que representa uma parcela de aproximadamente 12% do valor total da produção industrial mundial, constitui também um importante polo gerador e difusor de inovações para a indústria. Geograficamente, a produção acompanhou o deslocamento da atividade industrial para a região Ásia-Pacífico, com destaque para a China, com 42,7% da produção mundial em 2016.

O Brasil conta com um sistema produtivo de BK sofisticado, liderado por filiais de empresas transnacionais em praticamente todos os segmentos. Conta também com um grupo de empresas nacionais capacitadas e que internacionalizaram sua produção. A combinação de filiais estrangeiras com empresas nacionais garante uma oferta diversificada e atualizada de equipamentos. Os investimentos em atividades econômicas, como agricultura, mineração, extração de petróleo, geração de energia e indústria de transformação, alimenta a produção de BK e atrai investimentos. O Brasil ocupa a 11ª posição no *ranking* mundial de produção e consumo de BK; a produção brasileira representa pouco mais de 1% do total mundial e é voltada para o mercado interno. As exportações representam 19% da produção e as importações representam 33% das vendas no mercado brasileiro.

3.3 Quais são as tecnologias relevantes e seus impactos potenciais?

O quadro 7 informa as tecnologias relevantes para TIC e BK. A indústria TIC é responsável pelo desenvolvimento e, ao mesmo tempo, é pioneira no uso de tecnologias emergentes, como as de inteligência artificial. Baseada em famílias de algoritmos matemáticos e estatísticos, a inteligência artificial abrange diferentes áreas, definidas de acordo com os recursos e insumos informacionais utilizados. A computação em nuvem permitiu o armazenamento de *big data* e deu origem a novos serviços de acesso à informação, incluindo aplicativos, ferramentas de busca, redes de comunicação, centros de armazenamento e processamento de dados. O desenvolvimento e a fabricação de equipamentos mudam substantivamente com a introdução de sistemas ciberfísicos de interconexão, digitalização, processamento e otimização de informações, embarcada nos equipamentos. Ao mesmo tempo, as soluções digitais manifestam-se nos processos produtivos (produção inteligente e conectada), ampliando a flexibilidade das plantas, o que aumenta o potencial de diversificação de produtos das empresas. Inovações em materiais avançados, nanotecnologia e AE irão alterar drasticamente o *status quo* da produção de BK na próxima década.

Quadro 7 – Clusters tecnológicos relevantes: BK e TIC

	BENS DE CAPITAL	TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	↑	↑
REDES DE COMUNICAÇÃO	↑	↗
INTERNET DAS COISAS	↑	↑
PRODUÇÃO INTELIGENTE E CONECTADA	↑	↗
MATERIAIS AVANÇADOS	↗	↗
NANOTECNOLOGIA	↗	↗
BIOTECNOLOGIA	□	→
ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	↗	→

□ NÃO SE APLICA	→ IMPACTO MODERADO EM 2017 E EM 2027	↗ IMPACTO POTENCIALMENTE DISRUPTIVO ATÉ 2027	↑ IMPACTO DISRUPTIVO EM 2017 E ATÉ 2027
-----------------	--------------------------------------	----------------------------------------------	-----------------------------------------

Fonte: Elaboração I2027.

3.3.1 TIC

No plano internacional, observa-se um processo de inovações digitais potencialmente disruptivas, desencadeado pela convergência, e a integração de soluções que vinham se desenvolvendo há várias décadas de forma paralela, mas que atualmente dispõem de fortes sinergias para deflagrar, em conjunto, inovações radicais.

Os avanços rápidos na internet, impulsionados pela IoT e pela produção inteligente e conectada, vêm permitindo que tecnologias como *big data* e *data analytics*, *machine learning*, inteligência artificial, robôs e sistemas com capacidades cognitivas próprias, realidade virtual, processadores de alto desempenho e redes avançadas de comunicações sejam desenvolvidas e aplicadas na reconfiguração dos modelos de negócios e das formas de articulação dos agentes econômicos.

Plataformas tecnológicas que integram *softwares*, sistemas e equipamentos vêm se configurando como a base para disponibilizar produtos e serviços digitais para empresas e pessoas. Essas plataformas organizam-se em camadas – suas bases técnicas repousam em equipamentos e sistemas de processamento integrados via internet que, por sua vez, suportam camadas de serviços e aplicativos que podem ser agrupados para diferentes tipos de usos, mercados e aplicações verticais, produtores de conteúdo etc. Competir em apenas uma etapa ou camada sem estar inserido em plataformas integradas pode representar um alto risco para as empresas independentes.

O mercado de soluções ou plataformas digitais deverá ganhar, nos próximos dez anos, densidade, diversidade e grande escala, à medida que se expande a IoT e difundem-se os sistemas de manufatura inteligente e conectada. A indústria de TIC é diretamente afetada por tais transformações pelo fato de ser, ao mesmo tempo, geradora e usuária de soluções. Os principais impactos previstos da IoT e da manufatura avançada no sistema de TIC estão a montante da cadeia de valor, especialmente em: microcontroladores, sensores e atuadores; *microchips* para uso embarcado; e capacidade de processamento distribuída (*cloud* e *fog*). Haverá grande necessidade de sensores com dimensões reduzidas, baixíssimo consumo de energia e custos compatíveis.

Fornecedores de circuitos integrados já oferecem soluções para IoT com diferentes graus de customização e atendendo a um conjunto mais específico dos requisitos do “objeto” a interconectar. Em um prazo estimado entre cinco e dez anos, soluções completas para IoT, mais facilmente customizáveis, serão disponibilizadas para diversos segmentos de mercado. Essas soluções-componentes são, por exemplo, os *systems-on-chips* (SoC), contendo módulos de comunicação (geralmente sem fio) e sensores embarcados; processadores *open-source*; SoC customizados e dispositivos e *softwares* para segurança e privacidade. Processo similar também está em curso para o avanço dos sistemas integrados de manufatura inteligente. Empresas integradoras desenvolvem soluções customizadas para sensorizar, conectar e otimizar partes ou o conjunto dos processos produtivos de empresas interessadas em avançar na direção

da produção inteligente e conectada. Empresas do setor de máquinas e equipamentos desenvolvem ou fazem alianças com empresas de automação e gestão avançada da produção, visando oferecer soluções “mecatrônicas” completas.

Nos campos do *big data*, computação em nuvem e inteligência artificial, os impactos transformadores sobre o sistema produtivo TIC deverá ser gradual. A difusão da *data analytics* e da inteligência artificial depende da integração de sistemas nas organizações, condição ainda indisponível na maioria dos potenciais usuários. Sistemas legados pouco compatíveis entre si, tanto no interior das empresas quanto, principalmente, na cadeia produtiva, constituem uma barreira à inteligência artificial dificilmente superável em curto prazo. Não obstante, à medida que a adoção das novas tecnologias digitais avança, serão imediatos e significativos os seus impactos sobre a produtividade e sobre os modelos de negócio.

Uma exceção é a indústria de *software*. Por sua própria natureza, avanços nos produtos dessa indústria demandam a incorporação de crescente conexão, integração e inteligência. E, para ofertar soluções dessa natureza, as empresas de *software* mudam seus modelos de negócio para ter capacidade de ofertar capacidade de armazenamento e processamento de informações em nuvem, assim como *big data*, por meio da sensorização dos clientes. A expansão de arquiteturas abertas (*open source*) é uma tendência forte, assim como modelos de negócio do tipo *product-as-a-service* e *product sharing*. A servitização, isto é, a oferta de soluções e serviços de acordo com as especificidades dos clientes, portanto, passa a ser a direção da orientação dos modelos de negócios de empresas anteriormente conhecidas como “empresas de *software*”. Os preços de seus serviços são hoje 30% menores do que há quatro anos e deverão cair mais 30% nos próximos três ou quatro anos, provocando a quebra de empresas que não atualizarem tecnologias e modelos de negócios. Ao mesmo tempo, surgem empresas de alta intensidade de conhecimento (*knowledge intensive business services* – KIBS), que, por sua origem e porte, desenvolvem soluções “foco”, adequadas para clientes específicos. Por serem empresas de menor porte, elas têm maior flexibilidade, comparativamente a empresas de maior porte, para poderem ajustar-se a mudanças nos mercados e atender clientes com rapidez.

Sublinhe-se que o desenvolvimento de novas aplicações e a customização de inteligência artificial para usuários distintos requer recursos humanos muito qualificados, escassos no país e no exterior. A velocidade de difusão de inteligência artificial depende também da disponibilidade de redes de comunicações de alta velocidade e da capacidade computacional para processar e tornar disponíveis grandes volumes de dados. A inteligência artificial está se difundindo mais rapidamente nos segmentos de serviços avançados de *marketing*, como o cruzamento de múltiplos referentes a padrões de consumo, preferências políticas e sociais e localização de usuários e consumidores.

As mudanças tecnológicas vêm afetando o setor de telecomunicações, acelerando a convergência para plataformas de rede inteiramente baseadas em protocolo IP

e comutação de pacotes. A migração para redes inteiramente digitais resultará em ganhos significativos de eficiência; os *data centers* ganharão maior importância na infraestrutura das redes, possibilitando crescimento da capacidade e transformações nos padrões de tráfego, impulsionando aplicações de computação na nuvem.

Aliada à expansão das redes sobre IP, uma arquitetura de redes definida por *software* (*software-defined networks* – SDN) promete se consolidar como padrão. Essa arquitetura, que permite mover o controle da rede da borda (roteadores e *switches*) para o centro da rede (servidores), coincide com os interesses de provedores de computação na nuvem e possibilita maior flexibilidade e possibilidade de resposta em tempo real às mudanças de demanda e tráfego. Entretanto, pode ser disruptiva para fabricantes de equipamentos e sistemas, caso esses não se adaptem às mudanças de padrão. Ainda não se chegou a um padrão tecnológico para a virtualização das redes, mas a tecnologia *network functions virtualization* (NFV) caminha para estabelecer-se como padrão e já faz parte do desenho de equipamentos, inclusive de empresas brasileiras. A ampla adoção dessas duas tecnologias (SDN e NFV) será impulsionada principalmente pela necessidade de redução de custos para operadoras de telefonia.

Os impactos transformadores das novas tecnologias de redes no sistema produtivo TIC estão associados à criação de oportunidades para os segmentos de *hardware* e de serviços técnicos especializados. Representam também uma ameaça para empresas de telecomunicações e TV por assinatura que mantiverem serviços caros diante das opções baseadas na internet. A expansão do uso de redes privadas e tecnologias proprietárias nas redes pode provocar um aumento de barreiras à entrada de empresas de menor porte. No Brasil, a pouca disponibilidade de infraestrutura em grande parte do país poderá retardar a ampla difusão dos serviços avançados em rede.

A virtualização e a integração de plantas industriais a seus clientes e fornecedores deverão criar uma demanda por componentes customizados, abrindo oportunidades para projeto e/ou fabricação de produtos como sensores, atuadores e MEMS, SoC, controladores inteligentes da produção e *middleware/gateways*. A necessidade de novos *hardwares* e *softwares* embutidos criará oportunidades para a produção de *chips* dedicados, com menores escala produtiva e capacidade de processamento (*application specific integrated circuits* – ASIC).

3.3.2 BK

O *cluster* de tecnologias que articulam a produção inteligente e conectada (inteligência artificial, IoT, redes avançadas de comunicação, além das tecnologias de manufatura aditiva e a robótica), bem como os materiais avançados, em especial aqueles que propiciam maior resistência e menor peso, já apresentam impactos disruptivos no sistema produtivo de BK. É possível constatar sinais de mudanças nas condições da concorrência na produção de máquinas e equipamentos decorrentes da evolução da tecnologia de

manufatura avançada. As estruturas de mercado e os modelos de negócio no sistema produtivo começam a refletir o impacto transformador das novas tecnologias.

A introdução de sistemas ciberfísicos de interconexão, digitalização, processamento e otimização do desenvolvimento e da fabricação de produtos, com crescente utilização de inteligência artificial, constitui inovação de processo importante na atividade econômica e representa, para os fabricantes de BK, um novo mercado de grande potencial. As máquinas são conectadas e acessíveis enquanto objetos na rede, podendo dispor de dados em tempo real, que são passíveis de exploração, análise e intervenção por meio da própria rede. Ademais, as máquinas poderão guardar documentos e informações sobre si mesmas fora do seu corpo físico, implicando uma representação virtual com identificadores próprios, bem como habilitação para processos cognitivos (*machine learning*). A produção inteligente e conectada deve permitir, assim, um novo patamar de interação entre os mundos físico e virtual.

Além disso, propicia o surgimento de novos modelos de negócios, a otimização do ciclo de vida dos produtos, os sistemas de manufatura reconfiguráveis e a integração vertical de atuadores e sensores até os sistemas de planejamento de recursos (ERP). Dessa forma, a geração de valor na cadeia produtiva não se dá apenas na etapa de fabricação, mas principalmente nas etapas a montante e a jusante da produção. As atividades a montante incluem atividades de P&D, de cadeia de suprimentos e de planejamento de processos. Já as atividades a jusante incluem a distribuição, a manutenção e o monitoramento do ciclo de vida do produto.

Para os fabricantes de BK, tratam-se de inovações de produtos que serão intensivos em infraestruturas de comunicação, aliadas à inteligência artificial. Isso requer das empresas capacidade para integrar tecnologias de equipamentos e processos industriais, como robótica avançada, ou manufatura aditiva e tecnologias associadas, como *big data*, à cadeia produtiva em que essas tecnologias são aplicadas. Os avanços arquiteturais tornam-se, assim, cada vez mais complexos, incertos e disruptivos, pois serão variadas e específicas para cada organização as formas de melhor integrar internamente seus vários departamentos e a empresa com seus clientes e fornecedores.

As competências necessárias ultrapassam o escopo das tecnologias tradicionalmente dominadas pelos fabricantes de equipamentos mecânicos e elétricos. Representam um salto significativo em relação aos desafios colocados pela automação microeletrônica dos anos 1980, quando se destacaram ferramentas de desenho, manufatura e engenharia assistidos por computador (*computer-aided design* – CAD; *computer-aided manufacturing* – CAM; e *computer-aided engineering* – CAE), além dos sistemas flexíveis de manufatura (*flexible manufacturing system* – FMS).

A demanda por novas competências tem levado os produtores de BK a articular redes de cooperação para o desenvolvimento conjunto, estabelecer alianças com empresas de outros setores – notadamente do sistema TIC –, assim como tentar capturar novos

ativos tecnológicos por meio de fusões, aquisições ou investimentos internacionais. Tratam-se de iniciativas que visam tanto aproveitar as novas oportunidades quanto defender as atuais posições das empresas nos mercados. Paralelamente, geram-se oportunidades para o surgimento de novos atores (*startups*) e para a entrada de novos concorrentes.

As empresas líderes da tecnologia digital, como Google, Amazon, Microsoft, Apple e IBM, possuem competências e recursos em escala suficientes para capturar novos mercados. Constituem, dessa forma, potenciais parceiros e potenciais concorrentes dos fabricantes tradicionais de BK mecânicos e elétricos. A IBM, por exemplo, elegeu o agronegócio como uma área estratégica para sua operação em alguns países, como o Brasil.

Atualmente, a introdução e os impactos da produção inteligente tendem a ocorrer de forma incremental, com foco em etapas específicas da cadeia de produção. Não se tem conhecimento de arranjos empresariais – no sentido de empresas interligadas com fornecedores e clientes – que utilizem sistemas de produção inteligente e conectada no limite da técnica. São pouquíssimos os casos de instalações fabris que as utilizam em plenitude. Há, entretanto, iniciativas-piloto que demonstram a viabilidade de arranjos organizacionais radicalmente inovadores.

As soluções na direção da produção inteligente vão se ampliar nos próximos anos, o que implicará transformações importantes tanto nos setores usuários quanto nos fabricantes de equipamentos. Isto se refletirá nas estruturas de mercado e nas estratégias da concorrência no sistema de BK. A evolução convergente da inteligência artificial, da IoT e das redes deve potencializar o impacto disruptivo da produção inteligente e conectada até 2027. Inovações em materiais avançados, nanotecnologia e AE também devem alterar drasticamente o *status quo* do sistema na próxima década.

A produção conectada e inteligente, no entanto, traz impactos em velocidades diferentes nos diversos segmentos da indústria de BK. No setor de **máquinas agrícolas**, estima-se um salto radical na mecanização da produção pela utilização de veículos autônomos e conectados (tratores, colheitadeiras, semeadoras etc.) e sistemas de monitoramento remoto das condições do solo e da lavoura, além do favorecimento à gestão integrada da cadeia de valor a montante e a jusante; o trator é ponto de passagem obrigatório para onde convergem as tecnologias digitais e as soluções derivadas da biotecnologia em direção à agricultura de precisão. No segmento de **máquinas-ferramenta**, deve haver aumento da precisão e da flexibilidade nos equipamentos para usos diversos, além da ampliação da capacidade de virtualização da produção, inclusive do projeto, da fabricação e do uso de todos os tipos de máquinas; além da incorporação da manufatura aditiva. No segmento de **equipamentos para geração, transmissão e distribuição de energia (GTD)**, preveem-se a incorporação crescente de sensores, a integração com redes (inteligentes) de energia e o desenvolvimento de soluções para fontes renováveis. Já no segmento de **bens elétricos seriados para uso industrial**, esperam-se a incorporação crescente de atuadores e sensores

conectados, a crescente eficiência no consumo de energia e o desenvolvimento de novas aplicações (motorização elétrica de veículos).

3.4 Onde estamos? Para onde vamos? Tecnologias relevantes nas empresas

3.4.1 TIC

O sistema mundial de produção de bens de TIC passou por intensos processos de transformação, especialização, terceirização e realocização, tanto das cadeias de produção quanto das atividades de P&D. Mais ainda, os ciclos de desenvolvimento dos produtos, sistemas e equipamentos seguiu trajetórias rápidas, quando não disruptivas. Enquanto isso, a configuração da indústria brasileira permaneceu, com pouquíssimas exceções, relativamente defasada em termos de produtos e sistemas.

A produção de *hardware*, que é altamente automatizada e intensiva em BKs sofisticados, tornou-se uma atividade muito especializada e, em grande parte, terceirizada. Apenas empresas que operam em altas escalas, mirando o mercado global, e que desfrutam de ambiente institucional favorável, conseguem subsistir de modo verticalmente integrado. A indústria asiática concentra hoje a maior parte da produção mundial, sendo capaz de produzir em grande escala e obter economias de escopo com grandes contratos do tipo CEM (*contract electronic manufacturers*) ou ODM (*original design manufacturer*) em uma ampla gama de produtos eletrônicos em fábricas flexíveis, de altíssima produtividade. As grandes empresas globais norte-americanas tipicamente recorrem à terceirização da produção de *hardware* para concentrarem-se na inovação no *design* eletrônico e no *software* básico, detendo para si a propriedade intelectual e as mais lucrativas camadas de *software* e serviços associados às suas plataformas.

No Brasil, por outro lado, observa-se um declínio tanto da produção quanto da participação dos produtos montados de *hardware*. Efetivamente, fatores de caráter estrutural explicam os problemas enfrentados pela indústria brasileira: (i) queda global da participação relativa, em valor, das atividades de fabricação de *hardware*, contraposta à expansão dos serviços de telecomunicações, novos serviços digitais e respectivos *softwares*; (ii) tendência ao acirramento da concorrência e de concentração, na Ásia, da produção de componentes e da montagem de bens finais de *hardware*; (iii) poucas vantagens logísticas e operacionais do Brasil; e (iv) a rarefação da inovação efetivamente realizada no país.

No Brasil, as oportunidades para a indústria de TIC estão associadas ao *design* de sistemas, projetos de componentes e desenvolvimento e implementação de *software* de gestão e de aplicação para distintas atividades econômicas. A fabricação de

dispositivos microeletrônicos poderá se dar em produtos de menor escala e desenvolvidos para aplicações específicas.

No segmento de semicondutores, a manufatura também se encontra concentrada na Ásia e, na última década, aumentou muito a intensidade de capital (principalmente nos segmentos fabris de *wafers* e de encapsulamento de *chips*), bem como a intensidade de P&D no setor. O quadro brasileiro é heterogêneo, revelando atividades de *design* e manufatura enfrentando grandes dificuldades para se sustentar.

A indústria mundial de equipamentos e sistemas de telecomunicações, por seu turno, atravessa um processo de transformação semelhante ao observado no segmento de computadores: transição para modelos de negócios mais intensivos em *software* e serviços; redução das barreiras à entrada; e redução das margens de lucro pelo acirramento da competição entre operadoras de telefonia e serviços de telecomunicações. No Brasil, a capacidade competitiva é baixa devido ao elevado custo de componentes importados, à baixa escala produtiva e aos elevados custos operacionais e logísticos. No entanto, o mercado potencial interno, que vem sendo suprido com um aumento da importação de produtos prontos, apresenta-se como oportunidade para fabricantes instalados no país.

O avanço da IoT e da produção inteligente e conectada no Brasil abrirá oportunidades expressivas para a indústria de TIC. A principal delas reside no desenvolvimento de soluções baseadas em *software* e/ou em *softwares* embarcados em componentes integrados em *chips* ou em *systems-on-chips*. O desenvolvimento de tais soluções demanda das empresas conhecimento em profundidade dos negócios dos clientes, de modo a transformá-los e torná-los mais eficientes e produtivos. Os principais espaços para IoT estão a montante da cadeia de valor, especialmente em microcontroladores, sensores e atuadores; em *microchips* para uso embarcado; e na capacidade de processamento distribuída (*cloud* e *fog*). Haverá grande necessidade de sensores com dimensões reduzidas, baixíssimo consumo de energia e custos compatíveis. Os fornecedores brasileiros de circuitos integrados já oferecem soluções para IoT com diferentes graus de customização e atendendo a um conjunto mais específico dos requisitos da “coisa” a interconectar. Também no Brasil, as operadoras de telefonia deverão migrar para um sistema de redes inteiramente digitais baseadas no protocolo IP. As empresas nacionais fornecedoras de *hardware* e serviços de manutenção e suporte às redes legadas continuarão a ter mercado, mas se veem diante de uma perspectiva de migração da demanda para soluções baseadas em *software* sobre *hardware* genérico.

Prospectivamente, os produtores de *hardware* precisam desenvolver serviços e associar-se a outros parceiros para entender as necessidades dos usuários de IoT, da manufatura avançada e de outras tecnologias emergentes, beneficiando-se da existência de demandas que requerem esforços de adaptação ao tamanho e às características do mercado local. Mais do que produzir componentes isolados, o futuro das empresas brasileiras de TIC depende da capacidade de desenvolver *design* de projetos

visando integrar diferentes componentes de *hardware*, de *software* e de serviços em sistemas ou soluções customizadas.

Diferentemente do constatado para a produção de *hardware*, o segmento de *software* e serviços no país apresenta vigor. Nos últimos anos, registrou taxas de crescimento positivas, acima da economia como um todo, e ostenta taxas significativas de inovação. Algumas empresas brasileiras de *software* e serviços de *software*, como TOTVS e Stefanini, tornaram-se internacionais operando principalmente na América Latina, mas buscando também se inserir nos competitivos mercados europeu e norte-americano. *Startups* localizadas em parques tecnológicos e mirando nichos de mercado específicos terão chances interessantes, em razão do acesso mais fácil ao *pool* de mão de obra qualificada e a outras empresas/clientes. O desafio para esse segmento está tanto na capacitação tecnológica quanto na capacidade em gestão.

A capacidade de atender à demanda por inovação das empresas usuárias e de desenhar e integrar soluções combinando componentes locais e importados constitui a capacitação crítica para a indústria local. O estímulo à contratação de *design* e projetos de sistemas e soluções no país é condição-chave para gerar uma cadeia produtiva e tecnológica. Trata-se de uma relação puxada pela demanda, partindo de capacitações existentes e potenciais, diferentemente de uma postura em que os equipamentos eram projetados e produzidos sem se considerar, com a devida atenção, as particularidades da demanda. Os executivos entrevistados pelo I2027 anteveem um uso intensivo de tecnologias digitais avançadas em todas as funções empresariais (desenvolvimento de produtos, gestão da produção e, principalmente, relacionamento com clientes e fornecedores). As expectativas de uso intensivo de tecnologias avançadas definem um potencial de mercado interessante para os provedores de soluções tecnológicas. A trajetória na direção de produtos TIC personalizados constitui tendência forte e oportunidade para a indústria brasileira, à semelhança de trajetórias identificadas na farmacêutica, nos alimentos processados, nos bens de consumo, nos equipamentos especializados.

3.4.2 BK

O sistema de BK acompanha de perto as melhores práticas mundiais de produção e de gestão. As potenciais vantagens da produção integrada, inteligente e conectada devem, portanto, ser amplamente exploradas nessas atividades, gerando demanda por soluções desse tipo. Do lado da oferta, o sistema produtivo de BK no Brasil conta com a presença de empresas globais cujas matrizes são atuantes no desenvolvimento de soluções avançadas, enquanto as de capital nacional acompanham as melhores práticas.

As empresas líderes, sejam filiais de empresas estrangeiras, sejam de origem nacional, têm acesso aos recursos técnicos, empresariais e financeiros para enfrentar os desafios do mercado, embora nem sempre nas mesmas condições que seus concorrentes de

outros países. Esse grupo de empresas e seus clientes sofisticados percebem o potencial disruptivo das novas tecnologias e mobilizam seus recursos em função dessa percepção. No entanto, a despeito da percepção da importância das mudanças em curso, são relativamente poucas as empresas de menor porte, que atendem a segmentos de mercado pouco exigentes, efetivamente engajadas em ações concretas para adotar tecnologias de nova geração. O sistema produtivo de BK é composto por empresas de perfil muito heterogêneo, com capacidades e competências extremamente desiguais.

As empresas líderes na produção de máquinas agrícolas que atuam no país são um caso ilustrativo de sucesso, oferecendo aos produtores do agronegócio brasileiro soluções integradas, conectadas e inteligentes para aumentar a produtividade agrícola e a evolução na direção da agricultura de precisão. Fabricantes de máquinas-ferramenta, a despeito das condições conjunturalmente desfavoráveis do mercado doméstico, atualizam sua linha de produtos, acrescentando conectividade aos seus equipamentos. A empresa brasileira líder em motores elétricos investe no desenvolvimento de motores elétricos para caminhões e ônibus na expectativa de explorar um nicho do mercado no qual o país parece contar com vantagens significativas. A presença de empresas líderes, estrangeiras e nacionais, com estratégias de inovação agressivas e com capacitação tecnológica, garante que a oferta de BK acompanhe o deslocamento da fronteira tecnológica internacional nos sistemas mais competitivos da indústria e da economia.

Contudo, há no Brasil um grupo numeroso de empresas fabricantes de máquinas e equipamentos elétricos e mecânicos menos sofisticados para os quais acompanhar a fronteira tecnológica representa um sério desafio. Constituem o segmento mais frágil em termos de capacidade de transitar para uma nova geração de tecnologias. A maioria encontra-se em um estágio muito incipiente de desenvolvimento de equipamentos para a nova manufatura inteligente e conectada. Predominam ainda a produção e o uso de equipamentos para a manufatura rígida ou flexível. A permanecer esse quadro, sua participação no processo de acompanhamento da fronteira internacional, produzindo equipamentos e soluções atualizados, deverá ser muito restrita e defasada.

O trânsito desse grupo de empresas para níveis mais adequados de atualização de seus produtos requer a atuação de outras empresas com ativos tecnológicos complementares, que possam desenvolver soluções de prateleira para incorporar inteligência e conectividade aos equipamentos tradicionais ou desenvolver conjuntamente novas gerações de equipamentos. Nesse particular, é essencial a atuação de empresas de base tecnológica, com competências complementares às dos fabricantes de equipamentos e integradoras de soluções digitais. Empresas de base tecnológica, surgidas em instituições de C&T, são atores relevantes no ecossistema gerador e difusor de inovações para acompanhar a fronteira tecnológica nas TICs e nos BKs e promover o aumento da produtividade e da competitividade na indústria brasileira.

3.5 Nossos desafios, riscos e oportunidades

3.5.1 Em comum

Acompanhar a fronteira tecnológica internacional em um momento de grandes mudanças e rupturas não é simples. Envolve apostas em tecnologias cujo processo de seleção pelo mercado ainda está em curso. Porém, o Brasil não pode aguardar o amadurecimento e a redução dos riscos envolvidos no desenvolvimento e na disseminação de novas tecnologias para promover a difusão entre empresas de menor capacitação, tampouco deixar de explorar oportunidades por parte das empresas de maior capacitação.

O risco de não acompanhar a fronteira internacional consiste em que eventuais defasagens possam vir a desarticular parte da produção local, principalmente no caso de BK, além de criar obstáculos ao salto de produtividade dos setores usuários e resultar em perda de oportunidades de novos negócios para as empresas brasileiras.

O Brasil ainda não conta com iniciativa sólida, nos moldes das que existem nos Estados Unidos, na China ou na Alemanha, que reduza e compartilhe os riscos atuando como instância mobilizadora e coordenadora dos esforços de desenvolvimento tecnológico das instituições de pesquisa, das empresas fabricantes de equipamentos e componentes e dos demandantes. Porém, o momento de mudanças no plano das tecnologias abre janelas de oportunidades. As novas tecnologias podem ser catalisadoras de um novo posicionamento dos sistemas produtivos difusores de inovações.

Desde a perspectiva dos produtores de bens e serviços difusores de progresso técnico, a mudança tecnológica traz oportunidades para eles mesmos introduzirem novos processos, resultando em ganhos de eficiência e no aumento da capacidade de ofertar novos bens e serviços portadores de oportunidades de expansão de negócios e de emparelhamento (*catching-up*) competitivo com concorrentes internacionais. Do mesmo modo, as empresas destas atividades industriais devem se preparar, antecipadamente, para o momento de reversão do ciclo de investimentos da economia brasileira, período no qual as firmas já com capacidade instalada em novas tecnologias terão vantagens sobre aquelas que somente reagirão aos movimentos cíclicos da economia.

Desde a perspectiva da demanda, essas tecnologias abrem espaços para induzir a renovação do parque industrial, o crescimento da produtividade, o aumento da qualidade e da diferenciação de produtos. Note-se que os mercados de novas soluções estão se expandindo e os seus custos caindo velozmente. Essas duas tendências fortes apontam para um processo de difusão acelerada de bens e serviços intensivos em novas tecnologias.

A demanda por tecnologias digitais e/ou BK (também com alta densidade de tecnologia digital embarcada) será mais provável: (i) onde o progresso técnico da atividade demande investimentos em tecnologias complementares, como nas atividades especializadas e

de conhecimento avançado (A&D, exploração de petróleo, farmacêutica, bioeconomia); (ii) onde a relação investimento em tecnologias digitais/investimento total seja baixa, como ocorre na maioria dos produtores de bens intermediários, intensivos em processos; (iii) onde os mercados, pela ótica da demanda, estejam em expansão e a propensão investimento seja positiva, como no próprio setor de BK, em máquinas agrícolas, em motores elétricos para motorização de veículos pesados ou para equipamentos de energia renovável; e (iv) em nichos de mercado associados a serviços de alta intensidade de conhecimento, orientados para servir mercados em expansão, como *agritechs* e *fintechs*.

Nesse sentido, é desafio comum para os sistemas produtivos de TIC e de BK o Brasil ser capaz de desenhar e implementar plataformas que coordenem iniciativas públicas e privadas para acompanhar o ritmo de deslocamento da fronteira tecnológica, ampliando o número de empresas envolvidas e as oportunidades de negócios.

3.5.2 Específicos

3.5.2.1 SP TIC

O desafio da indústria de TIC é aproximar-se com velocidade da fronteira da eficiência produtiva e acompanhar a fronteira tecnológica em nichos de mercado específicos, especialmente nos quais a demanda no país é dinâmica o suficiente para dar economicidade a projetos empresariais, servindo o mercado local como base de aprendizado e competitividade para expansões para outros mercados de produtos e geográficos.

Pelo lado da produção, os fornecedores brasileiros de equipamentos e componentes não têm dificuldades de fornecer soluções de fronteira, não em bases a uma cadeia local de fornecedores, e sim em insumos importados. Essa tendência não deverá mudar, a não ser em segmentos nos quais a demanda brasileira justificar a produção eficiente. Aí se inserem equipamentos em que é menor a escala técnica de produção (alguns segmentos de sensores ou microprocessadores de maiores dimensões).

Acompanhar a fronteira tecnológica mundial é factível, principalmente no segmento de *software* de gestão e serviços de TIC, para atividades econômicas específicas na quais já se verifica, inclusive, proximidade entre provedores de soluções e usuários. Para avançar na difusão de tecnologias avançadas na indústria brasileira – tendência forte na percepção dos executivos das empresas entrevistadas pelo I2027 –, requer-se dos produtores de bens e serviços TIC o entendimento das necessidades de cada usuário, pois nem sempre soluções genéricas atendem às necessidades da demanda. Isso abre oportunidades para ecossistemas digitais e espaços para empresas e centros de pesquisas com capacidades flexíveis, com vistas a desenvolver soluções específicas para seus clientes. Estes ecossistemas digitais, coordenados por provedores de

soluções (bens e serviços), são multidisciplinares e podem incluir integradores, centros de pesquisa e fornecedores de equipamentos e componentes. Eles serão mais ativos onde a demanda é mais dinâmica: nas atividades especializadas e de conhecimento avançado (A&D, exploração de petróleo, farmacêutica, bioeconomia); e entre os produtores de bens e insumos intermediários, como agricultura, comércio eletrônico, serviços (por exemplo, saúde e finanças).

Além das transformações nos modelos de negócios e nas estratégias competitivas das empresas, o processo de servitização e o crescimento de produtos associados a serviços apontam para a necessidade de aproximação entre produtores e clientes, para que os primeiros possam atender efetivamente às peculiaridades da inovação em serviços.

O desenvolvimento de soluções inovadoras passa pelo processo de *design* e concepção no país. Isso requer o fortalecimento das bases nacionais de engenharia de *design* de produtos, sistemas, componentes e *softwares*, e a proximidade com a demanda: empresas usuárias e/ou por meio de contratos públicos que enderecem projetos de relevante interesse social. A simples montagem de componentes e equipamentos no país, embora possa ser economicamente útil, não assegura o desenvolvimento de soluções inovadoras. É imprescindível que ou estejam integrados, ou sejam base para soluções específicas demandadas pelo mercado brasileiro, de modo a assegurar demanda firme e escala mínima de produção competitiva.

Os segmentos de *software* e serviços ganharão maior espaço devido ao fato de as tecnologias como IoT, inteligência artificial, computação em nuvem e *big data analytics* serem intensivas em *software*. As suas características, incluindo aquelas observadas em um produto/solução inteligente, apontam para a necessidade de formação de capacitações em áreas tais como engenharia de sistemas, segurança em TI, engenharia de *software* e ciência de dados. À medida que a disseminação de plataformas de IoT avançar, haverá oportunidades para empresas existentes e *startups*, embora a escassez de recursos humanos no país possa constituir um grave gargalo. A reformulação dos programas de ensino em engenharia surge como um desafio a ser enfrentado no curto prazo.

As políticas públicas vigentes para o setor de TIC ainda estão, em larga medida, voltadas para a substituição das importações, exigindo que processos produtivos específicos sejam realizados no país, ainda que nem sempre os mais relevantes em termos econômicos e tecnológicos. Tais políticas devem ser atualizadas para favorecer mais a inovação (P&D), promover intensa cooperação (inclusive internacional) nos ecossistemas de inovação e acelerar a difusão das novas tecnologias disruptivas.

3.5.2.2 SP bens de capital

A heterogeneidade da indústria brasileira de BK aponta para um triplo desafio a ser enfrentado:

- (i) Empresas ainda não possuem capacidade produtiva eficiente e devem encurtar a distância entre o seu nível de capacitação e desempenho atual e a fronteira produtiva. Empresas de menor porte e provedoras de equipamentos simples tecnologicamente são mais propensas a estarem neste estágio de desenvolvimento.
- (ii) Empresas com níveis de eficiência, fornecedoras de equipamentos próximos à fronteira produtiva e ao melhor perfil de produtos, devem se manter nessa posição e avançar no desenvolvimento de soluções inovadoras (tecnologias digitais embarcadas, novos materiais e servitização) de modo crescente.
- (iii) Empresas com capacidade de inovação devem evoluir com a fronteira tecnológica, desenvolvendo provedores locais e inserindo-se de modo ativo nos ecossistemas de inovação, como os produtores de máquinas agrícolas ou os fabricantes de motores elétricos, por exemplo.

O principal desafio para a indústria de BK como um todo consiste em ultrapassar a disseminação defasada e desigual da produção integrada, conectada e inteligente, acelerando o ritmo e ampliando o alcance para além do grupo de empresas líderes, de modo que os ganhos de produtividade espalhem-se de forma mais ampla na estrutura produtiva.

A difusão do uso das novas tecnologias deveria ser ampla e rápida. É necessário fortalecer a capacidade de desenvolver e disseminar conhecimento sobre as novas tecnologias digitais e promover sua utilização. Implica estabelecer canais que tornem fluido o fluxo de conhecimentos entre os participantes dos ecossistemas de inovação.

As empresas de base tecnológica podem realizar uma contribuição nesse sentido. Suas competências são complementares às das empresas líderes da indústria de BK. Criar um ambiente no qual o segmento das empresas de base tecnológica possa se expandir e renovar continuamente é uma forma de promover uma trajetória acelerada e ampla de difusão da manufatura digital.

O Brasil já desenvolveu capacidades para gerar e disseminar conhecimento em algumas das tecnologias que sustentam o avanço da produção integrada, conectada e inteligente. Conta com grupos de pesquisadores sofisticados em várias das áreas relevantes de conhecimento e com empresas no sistema produtivo de BK e outras aptas a aplicar esse conhecimento.

A capacidade institucional de mobilizar e fazer as competências existentes no país convergirem é um desafio a se enfrentar. Na ausência de iniciativas estruturantes nessa direção, a disseminação da produção integrada, conectada e inteligente no horizonte de cinco a dez anos deve seguir uma trajetória bastante limitada e defasada em relação ao verdadeiro potencial da economia e do sistema produtivo brasileiro de BK.



ATIVIDADES ESPECIALIZADAS E DE CONHECIMENTO AVANÇADO: EXPLORAR E EVOLUIR COM A FRONTEIRA TECNOLÓGICA INTERNACIONAL

4.1 Quais são as atividades especializadas e de conhecimento avançado?

Fazem parte desse grupo os sistemas produtivos A&D e farmacêutica e os focos setoriais E&P de petróleo em águas profundas e bioeconomia, pertencentes aos sistemas produtivos de petróleo e gás e química, respectivamente.

As diferenças entre esses sistemas e focos são significativas, pela própria natureza das atividades e seus mercados. Os investimentos diretos e indiretos do complexo de petróleo e gás chegaram a representar 15% do investimento total da economia brasileira, por volta de 2013. Como as reservas de petróleo e gás no Brasil estão localizadas longe da costa e em grandes profundidades, para explorá-las eficientemente foi necessário que a principal empresa do setor – a Petrobras – e os fornecedores de equipamentos e serviços (indústria parapetrolífera) desenvolvessem um ecossistema produtivo e de inovação no Brasil com alto grau de sofisticação. Em A&D, a Embraer é líder mundial (tecnologia, produção e mercado) no segmento de jatos regionais, e o seu novo equipamento de transporte (militar ou não) KC-390 desponta como promissor líder em seu segmento de mercado. Seu ecossistema de inovação é sofisticado, enquanto a cadeia de valor é marcada por alto grau de internacionalização produtiva. Bioeconomia não é propriamente um setor industrial, mas um conceito para delimitar um conjunto de atividades econômicas promissoras, associadas à economia de baixo carbono e baseadas em processamentos tecnologicamente sofisticados de matérias-primas que podem redundar na elevação de patamares de produtividade de atividades existentes, geração de novos produtos e criação de novos mercados. Já a indústria farmacêutica brasileira vem avançando em etapas de crescente sofisticação tecnológica, de expansão da produção de genéricos para fármacos derivados da síntese química ou da biotecnologia tradicional. As oportunidades derivadas dos biofármacos (com forte ênfase em genômica) abrem, potencialmente, novas possibilidades para o aprofundamento desta trajetória.

Por que, então, reuni-los? Porque eles têm em comum quatro atributos de natureza tecnológica e competitiva e uma particularidade, no caso brasileiro, em termos de capacitação em inovação e capacidade competitiva.

Os atributos tecnológicos comuns são: (i) trata-se de atividades intensivas em conhecimento, dependentes do resultado de esforços científicos e tecnológicos realizados por empresas e ecossistemas de inovação a que estão associadas; (ii) as inovações aí desenvolvidas ou absorvidas e aplicadas não são tecnologias de aplicação genérica, e sim de propósito específico, se comparadas às inovações geradas em setores TIC e BK; (iii) o ritmo de mudança tecnológica é muito acelerado; e (iv) a capacidade de diferenciar produtos e serviços define, em grande medida, o sucesso competitivo.

A particularidade desses sistemas produtivos e focos setoriais no caso brasileiro recai sobre o fato de que a maior parte da produção, mesmo que em nichos específicos de mercado, vem de empresas com capacidade e desempenho competitivo (revelada ou potencial) suficientes para desafiar e mesmo evoluir com a fronteira internacional.

4.2 Qual é a importância econômica das atividades especializadas e quais são os determinantes da mudança tecnológica?

4.2.1 A&D

Esse setor é marcado por interesses geopolíticos e políticas nacionais de apoio às suas indústrias, pela concorrência acirrada em escala global em todos os segmentos e por intenso progresso técnico. Tal combinação de fatores explica, em grande medida, a estrutura do sistema produtivo A&D, que é formado por poucos, mas grandes, conglomerados concentrados em alguns países. Os fabricantes de produtos finais concentram a maior parte da receita do setor e comandam cadeias globais de suprimentos. Em geral, esses conglomerados atuam tanto no segmento civil quanto no militar. A liderança comercial e tecnológica do segmento é dos Estados Unidos, seguido da Europa. Contudo, há uma crescente participação de empresas da China e da Rússia no mercado internacional.

No Brasil, o sistema produtivo é marcado pela elevada participação do setor aeronáutico, seguido pelo setor de defesa e uma pequena participação do setor espacial – respectivamente 80%, 18% e 2% das receitas em 2015. A Embraer, terceira maior fabricante mundial de aeronaves comerciais, responde por mais de 80% da receita do setor no país. A cadeia produtiva local é formada majoritariamente por fornecedores de segundo e terceiro níveis, enquanto os fornecedores de primeiro nível estão localizados, em sua maior parte, fora do país. O sistema produtivo passou por notável expansão entre 2003 e 2015: as receitas cresceram de US\$ 2,5 bilhões para US\$ 6,9 bilhões, e o mercado mundial é o mercado relevante, uma vez que as exportações correspondem a mais de 80% das receitas do setor.

As perspectivas da demanda para o segmento dominado pela Embraer são positivas. No entanto, o cenário que se avizinha é de acirramento da concorrência pela ação de empresas existentes e pela entrada de novos concorrentes. Para sobreviver e crescer, a empresa terá que fortalecer ainda mais a base de recursos e capacitações que a notabilizou.

4.2.2 E&P de petróleo

Este foco setorial é condicionado por fatores geoeconômicos e políticos aos quais se agregou a dimensão da mudança climática. Tais fatores têm impulsionado a E&P de petróleo e gás para novas fronteiras, com destaque para os recursos não convencionais, como *shalegas*, *shaleoil* e *tightoil* – em especial na América do Norte –, e para a exploração em águas profundas e ultraprofundas – em especial o pré-sal no Brasil. Isso se deve a dois fatores principais: primeiro, a economia mundial é dependente dos hidrocarbonetos (petróleo e gás natural), mas navega em cenários de rápido esgotamento das fontes tradicionais; e, segundo, são crescentes os custos de acesso a jazidas de petróleo e gás natural devido à crescente escassez de grandes descobertas de reservas de mais baixo custo.

Em função desses determinantes, os avanços em novas fronteiras têm sido significativos. A produção norte-americana passou de 6,9 milhões de barris/dia (bbl/dia), em 2005, para 11,6 milhões, em 2014. No Brasil, a capacitação e a especialização no desenvolvimento de recursos petrolíferos *offshore* foram logradas, ao longo de décadas, pela cooperação industrial entre empresas petrolíferas, em particular a Petrobras, e as parapetrolíferas. Os resultados são economicamente relevantes: em 2016, foram produzidos 2,5 milhões de bbl/dia e exportados 798 mil bbl/dia, contra 178 mil bbl/dia de importações. A produção corrente do pré-sal atingiu, em junho de 2017, 1,42 milhão de bbl/dia, ultrapassando a produção dos campos pós-sal.

Se essa trajetória se mantiver, podem-se esperar: (i) enfraquecimento do papel da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP); (ii) mudanças nas estruturas de mercado das petroleiras; (iii) queda da importância do petróleo como preço diretor da matriz energética mundial; e (iv) acirradas disputas por fatias de mercado que acentuarão a essencialidade da busca de redução de custos na E&P, por meio de inovações tecnológicas. Para os produtores, a referência para decisões é o nível de preços que define a redução ou mesmo interrupção da produção dos campos que já estão em atividade. As referências são muito eloquentes: o planejamento estratégico de empresas líderes mundiais considera que a tendência forte de futuro para preços é *lower for longer* ou mesmo *lower forever*.

O investimento em E&P no mundo vem se recuperando lentamente no passado recente; os resultados dos leilões de 2017-2018 no Brasil são indicativos importantes desta retomada. Esses resultados significam que uma nova onda de investimentos

deverá ocorrer no Brasil ao longo dos próximos cinco a dez anos. Nesse contexto, e não obstante os preços terem alcançado o patamar de US\$ 65 em janeiro de 2018, as petroleiras estão engajadas em reduzir o tempo de execução de projetos, estender a vida útil de campos produtores e, principalmente, reduzir custos de CAPEX (*capital expenditure*) e OPEX (*operational expenditure*). Para isso, o sucesso competitivo de empresas no Brasil será determinado pela capacidade de os investimentos em gestão incorporarem novas soluções tecnológicas e ferramentas de gestão para ampliar ganhos de produtividade e explorar diferentes fontes de redução de custos.

4.2.3 Farmacêutica

O sistema produtivo farmacêutico mundial é intensivo em conhecimento: as empresas líderes investem acima de 10% de suas receitas líquidas em P&D e todos buscam liderança competitiva pelo lançamento de novos produtos. Atualmente, a estrutura da indústria farmacêutica brasileira espelha a estrutura da indústria mundial. Mais de 500 empresas disputam os diferentes segmentos de mercado, mas apenas um pequeno grupo determina a dinâmica industrial sem, entretanto, configurar-se uma elevada taxa de concentração. Ao final de 2016, os quatro e os dez maiores grupos possuíam parcelas de mercado de 22,7% e 43,3%, respectivamente. Porém, de forma também semelhante à estrutura em nível global, são observadas consideráveis taxas de concentração nas diferentes classes e subclasses terapêuticas.

O mercado farmacêutico brasileiro saltou da décima posição do *ranking* mundial, em 2011, com aproximadamente US\$ 17 bilhões, para a oitava posição, em 2016, com US\$ 28 bilhões. Em 2021, deverá avançar para a quinta posição, com US\$ 40 bilhões, e ficar somente atrás de Estados Unidos, China, Japão e Alemanha. Pelo prisma da oferta, o mercado brasileiro mudou muito nos últimos anos. Enquanto, em 2000, as empresas de capital nacional respondiam por 33,6% do total das vendas de medicamentos, essa participação cresceu para 46,3%, em 2016. Essa evolução está relacionada ao aumento da participação dos medicamentos genéricos no mercado farmacêutico. No entanto, embora tenham crescido e se modernizado, as principais empresas nacionais ainda não atingiram escala e escopo relevantes *vis-à-vis* o mercado global.

O progresso nessa indústria é determinado por fatores relacionados à demanda e à oferta. Pelo lado da demanda, o envelhecimento da população e as melhorias no padrão de vida nos países em desenvolvimento, o crescimento acelerado das despesas com saúde nos países desenvolvidos e as consequentes restrições orçamentárias dos sistemas nacionais de saúde deverão alavancar tecnologias que otimizem a relação custo/efetividade de medicamentos. Nesse sentido, cada vez mais a busca da cura, e não o tratamento de doenças, deverá orientar a pesquisa em doenças crônicas com lacunas terapêuticas. Pelo lado da oferta, os avanços na genômica, na proteômica, na bioinformática e nos biomarcadores viabilizarão o conceito de medicina de precisão

ou personalizada como prática generalizada. Um constrangimento central aos avanços se impõe: os limites éticos envolvidos “no conserto e na melhoria” de pedaços do genoma humano.

4.2.4 Bioeconomia

As atividades econômicas associadas à bioeconomia têm, em comum, a exploração de oportunidades associadas à economia de baixo carbono. A exploração industrial da biomassa para a produção de biocombustíveis, produtos químicos, materiais e energia inscreve-se nesse processo. Por sua extensão, essas atividades não constituem propriamente um setor produtivo em suas definições clássicas (similaridades de processos ou de mercados).

Nessas atividades atuam empresas de diferentes portes, origens e bases de conhecimento, que buscam explorar e abrir novos mercados, entre elas *startups*, líderes da indústria química e petroquímica, petroleiras, empresas de agronegócios, produtores de alimentos e ingredientes, e empresas de papel e celulose.

Os mercados associados à bioeconomia estão em expansão. Enquanto a produção de biocombustíveis tradicionais cresce à taxa anual de 2,5%, os biocombustíveis avançados (mesmo que ainda em fase de *scaling-up*) expandem-se a 10% ao ano. Mesmo que sua capacidade anual de produção seja muito baixa (em torno de 1% da capacidade global dos plásticos convencionais), bioplásticos e bioprodutos têm se mostrado economicamente viáveis, ao substituírem seus similares de base fóssil. Sua produção deverá crescer para 8 milhões de toneladas em 2020.

Os *drivers* do desenvolvimento da bioeconomia são: (i) rápidos avanços do conhecimento científico em engenharia genética, processos fermentativos e enzimas, que contribuem para a utilização eficiente das biomassas como matérias-primas e produtos; (ii) o fenômeno de mudança climática e as regulações daí derivadas, que viabilizam matérias-primas renováveis; e (iii) posturas empresariais inovadoras pró-sustentabilidade.

4.3 Quais são as tecnologias relevantes e seus impactos potenciais?

4.3.1 A&D e E&P de petróleo

Os desafios são muito fortes nos segmentos nos quais o Brasil se destaca: na aviação comercial, é preciso estender os limites da eficiência energética, segurança, durabilidade e conforto dos equipamentos; no segmento de E&P, é preciso atingir a eficiência

nas operações em águas ultraprofundas, na gestão de logística de campos a 200 km da costa e na destinação de fluxos gasíferos com elevadas concentrações de CO₂.

As tecnologias que provocarão fortes impactos em A&D e E&P implicam inovações em equipamentos e serviços, inovações de processos e mudanças organizacionais. Essas tecnologias têm natureza semelhante, apesar de as soluções específicas serem naturalmente distintas: materiais avançados, inteligência artificial, redes de comunicação, IoT, produção inteligente e conectada, nanotecnologia e AE. Algumas são tecnologias maduras e conhecidas; porém, em sua maioria, são tecnologias recentes, sem padrões técnicos dominantes. Também em ambos os segmentos há forte tendência à servitização: os usuários de equipamentos de A&D e E&P demandam que seus fornecedores entreguem bens e, crescentemente, serviços de todas as naturezas – da tradicional manutenção à operação de equipamentos.

O quadro 8 mostra a coleção de tecnologias com impactos disruptivos imediatos e a coleção de tecnologias que, em até dez anos, deverão resultar em mudanças nos modelos de negócio e nos *drivers* competitivos. Qual o significado desses impactos? Que mudanças eles trazem para as empresas, seus fornecedores e os ecossistemas de inovação a eles associados?

Quadro 8 – Clusters tecnológicos relevantes: A&D e E&P

CLUSTERS TECNOLÓGICOS	A&D	E&P
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	↗	↗
REDES DE COMUNICAÇÃO	↗	↗
INTERNET DAS COISAS	↗	↗
PRODUÇÃO INTELIGENTE E CONECTADA	↗	↗
MATERIAIS AVANÇADOS	↑	↑
NANOTECNOLOGIA	→	↑
BIOTECNOLOGIA		
ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	→ SUBSEA, VANT/VTOL	→

 NÃO SE APLICA	 IMPACTO MODERADO EM 2017 E EM 2027	 IMPACTO POTENCIALMENTE DISRUPTIVO ATÉ 2027	 IMPACTO DISRUPTIVO EM 2017 E ATÉ 2027
---------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Elaboração I2027.

As tecnologias de materiais avançados terão impacto disruptivo no sistema A&D e na E&P, por permitirem redução de peso e maior resistência dos materiais empregados nos equipamentos. Esse impacto se dará principalmente pelo uso combinado desses materiais com as tecnologias digitais. O uso de compósitos ainda está em seus dias iniciais, mas a trajetória é firme: as empresas estão testando novos produtos e a tendência forte é de modelos híbridos, com a combinação de ligas metálicas para produzir partes e componentes estruturais. Essa trajetória será facilitada pela automação da produção e pelo uso de manufatura aditiva para produção de componentes de elevada complexidade.

As tecnologias de inteligência artificial e *big data* permitirão fazer imageamentos e gráficos 3D de alto nível de definição e realizar análises do desempenho de equipamentos a distância, além de melhorar a interface homem-máquina e a pilotagem autônoma. As tecnologias de rede desempenharão papel-chave por viabilizar a integração das plataformas de comunicação (controle de tráfego aéreo e guerra centrada em redes, no caso de A&D; e gestão a distância de plataformas, no caso de E&P). A IoT possibilitará captar informações por meio de sensores e retornar ações por meio de atuadores. Tecnologias de robótica, manufatura aditiva e virtualização da produção, somadas às redes de comunicação, IoT e inteligência artificial, viabilizarão sistemas de produção integrados, conectados e inteligentes, com alto nível de automação.

Em equipamentos específicos, como aviões militares e veículos aéreos não tripulados (VANT) e em atividades *subsea*, os principais avanços devem concentrar-se nas tecnologias relacionadas à inteligência artificial, às redes e à IoT, que permitirão o monitoramento detalhado do desempenho dos equipamentos, e melhorar a interface homem-máquina. Da mesma forma, novas formas de AE serão decisivas para viabilizar a longevidade das operações de veículos aéreos urbanos autônomos (*vertical take-off and landing* – VTOL), VANT e *subsea*. Ainda na A&D, *clusters* de inovações integrados, conectados e inteligentes poderão resultar na criação do setor de VTOL. É exemplo o Uber Elevate – projeto capitaneado pela Uber com participação da Embraer, Bell Helicopter, Aurora Flight Sciences, Pipistrel e Mooney International Corp, além do apoio dos governos locais de Dallas (Estados Unidos) e Dubai (Emirados Árabes Unidos) e do suporte técnico da National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Na E&P, as operações *subsea*, inicialmente voltadas ao aprimoramento da interligação dos poços aos sistemas de produção, evoluem para se tornar *subsea factories*, logrando mitigar as restrições de peso e espaço das plataformas *offshore*. Segundo estimativas da Petrobras, a incorporação de inovações tecnológicas submarinas levaria a uma redução de 35% a 40% dos custos em comparação a projetos tradicionais. Destacam-se como vetores-chave de inovação e redução de custos: a robótica autônoma e colaborativa; o uso crescente de materiais avançados e nanomateriais; o aperfeiçoamento das tecnologias de imageamento e sísmica para melhoria do processo de decisão de locação de poços e da capacidade de interpretação de dados

e para a elaboração de modelos geológicos sobre geração, migração e acumulação de hidrocarbonetos; a integração de *hardware/software* e novos modelos de gerenciamento de dados, informações e novas rotinas, para tomada de decisão por meio do uso de inteligência artificial.

O quadro 9 sintetiza o alcance atual e potencial de soluções tecnológicas orientadas pelos dois desafios já mencionados: viabilizar novas fronteiras e a baixo custo.

Quadro 9 – Trajetórias para E&P: trajetórias, soluções e tendências

TRAJETÓRIAS	SOLUÇÕES	TENDÊNCIAS
Integração e interação de novas tecnologias de geração e transmissão de dados	Produção compartilhada de equipamentos e serviços	Perfuração a laser
Otimização de processos com inteligência artificial e ampliação do uso de <i>big data</i>	Poços horizontais	Poços com nanossensores e <i>smartfields</i>
Automação, geração e gerenciamento de dados, interação entre resposta e rotinas	Imageamento e interpretação de dados geológicos (geração, migração e acumulação de fluidos)	Sísmica 4D
Dados em tempo real (Real-time data)	Algoritmos para interpretação sísmica e identificação de zonas permoporosas de melhor qualidade (<i>cream do sweet spot</i>) e seleção de locação	Completação inteligente: monitoramento em tempo real de reservatórios

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. (2017).

4.3.2 Bioeconomia e farmacêutica

Assim como em A&D e E&P, na bioeconomia e na farmacêutica as tecnologias relevantes são semelhantes, apesar de diferirem quanto às aplicações: novos materiais, nanotecnologia, biotecnologia e tecnologias digitais, em particular inteligência artificial e *big data*. O quadro 10 mostra o perfil dessas inovações. Uma leitura rápida das tecnologias relevantes para a farmacêutica poderia indicar ser esse um sistema produtivo com baixa intensidade de mudanças. No entanto, a tecnologia-chave desse sistema, que são as novas biotecnologias (genômicas) associadas à inteligência artificial e *big data*, está transformando modelos de negócio, padrões de concorrência e estruturas de mercado. Na bioeconomia, de forma semelhante, as biotecnologias ocupam espaço transformacional de releve. Para as atividades fabris (biorrefinarias), surgem como potencialmente disruptivas a IoT e a produção inteligente e conectada.

Quadro 10 – Clusters tecnológicos relevantes: farmacêutica e bioeconomia

CLUSTERS TECNOLÓGICOS	FARMACÊUTICA	BIOECONOMIA
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	↗	↗
REDES DE COMUNICAÇÃO	→	→
INTERNET DAS COISAS	→	↗
PRODUÇÃO INTELIGENTE E CONECTADA	→	↗
MATERIAIS AVANÇADOS	↗	↗
NANOTECNOLOGIA	↗	↗
BIOTECNOLOGIA	↑	↑
ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	→	→

NÃO SE APLICA
→ IMPACTO MODERADO EM 2017 E EM 2027
↗ IMPACTO POTENCIALMENTE DISRUPTIVO ATÉ 2027
↑ IMPACTO DISRUPTIVO EM 2017 E ATÉ 2027

Fonte: Elaboração I2027.

Na farmacêutica, tratamentos empíricos cedem lugar a terapias baseadas no mecanismo molecular da doença, e a intervenção passa a ocorrer antes, e não após a constatação da doença. Essas mudanças são possibilitadas pelo progresso técnico e suas convergências. As novas ciências da biologia molecular e genômica avançam, desde o início dos anos 2000, em conjunto com outras tecnologias – como a bioinformática, a nanotecnologia, a medicina regenerativa, a inteligência artificial, técnicas avançadas de imagem – produzindo tecnologias disruptivas para as indústrias de saúde. O conceito de medicina personalizada ou de precisão define, em grande medida, a trajetória de desenvolvimento em curso.

A seguir identificam-se as tecnologias que impelem a trajetória de medicina personalizada, e fica claro que o progresso na farmacêutica deve-se à integração entre a biotecnologia e as tecnologias digitais:

- (i) Na genômica, a análise genômica em diagnóstico e terapias individualizadas.
- (ii) Na bioinformática, a inteligência artificial e *big data*, para direcionar e selecionar estratégias de P&D, e o desenvolvimento de compostos líderes com maior foco e precisão, gerando economia de tempo e recursos nessa etapa.

- (iii) Em biomarcadores, o uso de biomarcadores genéticos para estratificar e estabelecer dosagens para pacientes conforme seu genótipo, ou para identificar aqueles que apresentarão reações adversas.⁶
- (iv) Na engenharia genômica, a edição genômica, procedimento que permite inserir, excluir ou substituir o DNA no genoma de organismos vivos ou células-tronco, por meio do uso de enzimas artificialmente modificadas denominadas *engineered nucleases*. Ressalta-se, aqui, que a descoberta, em 2015, de uma das famílias dessas enzimas, denominada sistema CRISPR/Cas9, ou simplesmente CRISPR, tem grande potencial disruptivo para a indústria farmacêutica.
- (v) No diagnóstico automatizado de imagem, o uso de algoritmos envolvendo *deeplearning* para analisar milhares de padrões de diagnóstico envolvendo imagens de pacientes.
- (vi) Na *big data enabled medicine*, a análise por inteligência artificial de dados multimodais gerada por plataformas de pesquisa e diagnóstico. No limite, a descoberta de complexos padrões associativos pode contribuir para o desenvolvimento de novos medicamentos, para a determinação das causas ambientais das doenças humanas e para a viabilização da medicina de precisão.

A medicina personalizada altera modelos de negócio e as bases de competição do sistema produtivo farmacêutico. A segmentação das populações ampliará a relevância do diagnóstico laboratorial e sua indústria, até aqui relegada a um segundo plano pela dinâmica do *one-size-fits-all*. Espera-se, portanto, uma crescente integração entre a indústria farmacêutica e a de diagnóstico. Uma segunda provável fonte de disrupção provocada pela medicina personalizada, com consequências para o modelo de negócio farmacêutico, está relacionada ao ciclo de vida de produtos e à gestão de portfólios de produtos. À medida que avanços nos campos da genômica, biomarcadores e bioinformática reduzirem os custos e o tempo necessário para o desenvolvimento e o lançamento de um novo produto, aumentará o número de lançamentos de novos medicamentos no mercado. Nessa trajetória haverá concorrência terapêutica para uma mesma indicação clínica, ou seja, um medicamento poderá vir a substituir outro como referência para tratamento, ainda no período de vigência da patente daquele sendo substituído. As empresas com foco em medicamentos genéricos poderão sofrer forte impacto negativo, uma vez que o processo de P&D se tornará mais rápido e menos custoso.

No cenário mais provável para um horizonte de dez anos, o modelo atual de negócios da indústria farmacêutica não desaparecerá. Seus líderes continuarão a busca pela aferição de lucros por meio de P&D e comercialização de novos medicamentos, visando atingir o maior número de pessoas, com o maior potencial de mercado

⁶ Na prática clínica, biomarcadores apoiam o diagnóstico indicando probabilidades de um indivíduo desenvolver determinada doença, monitorar sua evolução ou indicar seu prognóstico.

possível. Contudo, é muito provável que se estabeleça um sistema híbrido, em que os grandes *players* tradicionais terão que conviver com novos entrantes, com estratégias de negócio aderentes aos conceitos da medicina personalizada.

Na bioeconomia, o progresso dependerá da coevolução do progresso em matérias-primas, em processos de tratamento e conversão da biomassa, e em produtos e modelos de negócio. Atualmente muitos esforços estão localizados nas biorrefinarias, no sentido de se obterem processos produtivos (fermentativos ou enzimáticos, utilizando ou não biologia sintética) capazes de converter biomassa com altos níveis de eficiência. O cenário é de grande número de projetos inovadores competindo com soluções diferentes em resposta a oportunidades identificadas por empresas inovadoras. Essas terão bases de conhecimento associadas à biotecnologia avançada, inclusive biologia sintética. São projetos de *startups*, apoiadas pelo fomento de políticas de inovação, com recursos de capital de risco e investimentos de empresas estabelecidas em diversas indústrias. O quadro 11 informa a provável evolução dos processos associados à bioeconomia.

Quadro 11 – Evolução de processos industriais associados à bioeconomia

	PROCESSOS 1ª GERAÇÃO	PROCESSOS 2ª GERAÇÃO	BIORREFINARIA DO FUTURO
ESTRUTURA INDUSTRIAL	Conhecida	Em estruturação	A ser moldada
DRIVER	Custo	Custo e diferenciação	Custo e diferenciação
MERCADOS	<i>Commodities</i>	<i>Commodities</i> e especialidades	Em aberto
ESTÁGIO TECNOLÓGICO	Maduro	Início de comercialização	Laboratório/piloto/demo

Fonte: Adaptado de Bomtempo (2017).

4.4 Onde estamos? Para onde vamos? Tecnologias relevantes nas empresas

4.4.1 A&D

Na A&D os processos de geração, uso e difusão de inovações estão centrados na Embraer. A empresa é referência internacional no uso de tecnologias digitais em projetos e na produção, e desenvolve esforços de inovação multidirecionais: transversais, verticais e diversificantes.

Caracterizam-se como transversais em função da implementação de inteligência artificial, redes, IoT e produção inteligente e conectada. A digitalização foi iniciada na engenharia de produtos (“avião digital”) e tem sua expansão orientada para o processo

produtivo (“fábrica digital”), por meio da constituição do Centro de Realidade Virtual (CRV). Ainda nos processos, a empresa avançou no uso de robôs e automação da montagem estrutural e de etapas como pintura, fabricação de interior e movimentação de ferramentas, e está iniciando esforços em manufatura aditiva e aprofundando capacitação em novas tecnologias de materiais. Essas inovações visam à redução dos erros a praticamente zero na fabricação de aeronaves.

Em seu principal mercado – jatos regionais –, a empresa decidiu em 2011 manter-se no segmento de jatos bimotores de médio alcance, projetando um equipamento de nova geração que logra um consumo de combustível 17% menor do que a geração anterior, diminuindo emissões e propiciando voar em distâncias maiores. O equipamento foi homologado por três agências (brasileira, norte-americana e europeia) simultaneamente, e a primeira entrega foi realizada em abril de 2018. Em grande medida, novos motores, desenho de asa e sistema *fly-by-wire* permitem os ganhos de eficiência.

No processo de verticalização a empresa está reinternalizando atividades antes encomendadas a terceiros, ao mesmo tempo em que empreende esforços de diversificação geográfica, com plantas de montagem em Portugal e nos Estados Unidos, para fins distintos. Para perseguir a servitização, a empresa está introduzindo inteligência artificial e *big data* nos processos de manutenção de aeronaves e *machine learning* para automatizar a classificação dos eventos ocorridos na frota. Ao mesmo tempo, pode-se afirmar que a cadeia de valor localizada no Brasil ainda é bastante frágil, limitando-se a fornecedores de segundo ou terceiro níveis. Evoluir essa cadeia de valores é um desafio a ser enfrentado.

O esforço de diversificação mais recente é verificado no âmbito de transportes, com ênfase militar. A empresa está introduzindo um equipamento (KC-390) com características de *custo-performance* capazes de atender a nichos de mercado de alto potencial de crescimento, não atendendo somente à área de defesa. Ao mesmo tempo, a empresa inicia esforços associados à produção de caças, em parceria com a empresa sueca Gripen, o que está demandando a requalificação de pessoal e a introdução de processos produtivos específicos ao projeto deste equipamento. A empresa, em parceria com outras empresas, entre as quais a Uber, está investindo em abrir o mercado de VTOL. O plano é que o equipamento inicie testes em 2020 e, entre 2023 e 2026, seja iniciada a operação comercial. Essas oportunidades, se bem aproveitadas, abrirão novas áreas de crescimento para a empresa.

4.4.2 E&P

O investimento e as operações no sistema de petróleo e gás brasileiro têm sido marcados pela cooperação entre petrolíferas e parapetrolíferas, universidades e centros de pesquisa, cujo traço mais notável é o Parque Tecnológico da Ilha do Fundão, no *campus* da UFRJ. Essas articulações, que resultaram na formação de um

ecossistema produtivo e inovativo único no país e no mundo, têm sido fundamentais para a bem-sucedida busca de soluções tecnológicas para os desafios próprios da exploração de petróleo no Brasil.

Essas articulações resultaram em um leque amplo de soluções e inovações tecnológicas para os desafios do *offshore* brasileiro: sísmica 3D – agora 4D –, que influencia a taxa de sucesso dos poços exploratórios e de desenvolvimento; tecnologias de perfuração em lâminas d'água de alta profundidade; perfuração horizontal, com consequente diminuição do número de poços e aumento da taxa de recuperação para 30% a 40%; plataformas semissubmersíveis e os navios FPSO (*floating production storage and offloading*), com posicionamento dinâmico; novos materiais, capazes de suportar pressões elevadas.

Tecnologias submarinas de E&P de petróleo não constituem novidade, pois já são utilizadas nos campos produtores da Bacia de Campos. Entretanto, a tendência forte é de expansão do número de equipamentos instalados no leito submarino, para vencer restrições de limites físicos de plataformas fixas e FPSO. Nesses equipamentos, a ampliação do número de equipamentos embarcados levou à competição por espaço e peso com tanques de armazenamento de óleo, dado o porte dos sistemas de produção. A solução, portanto, é “descarregar” sistemas para o leito submarino. Da mesma forma, a complexificação progressiva das soluções *subsea*, cujo objetivo inicial era aprimorar a interligação entre poços e sistemas de produção, passou a requerer a integração de diferentes tecnologias de suporte, conexão, monitoramento e geração de informação. Essa integração está evoluindo para sistemas *subsea*. Os avanços nessa direção são promissores. Um exemplo é a última geração de *manifolds* produzida pela TechnipFMC, que incorpora novos materiais, componentes eletrônicos e robóticos, e logrou reduzir seu peso médio de 250 para 100 toneladas. Equipamentos mais leves facilitam o seu deslocamento e a incorporação de robôs permite minimizar atividades de manutenção de equipamentos *subsea*. Em caso de reparo, pode ser efetuada a simples troca do robô em vez de todo o *manifold*.

A complexidade tecnológica das operações de exploração de petróleo e gás nas condições brasileiras impõe barreiras à entrada não apenas para as empresas petroleiras de médio e pequeno portes; são provavelmente mais importantes as barreiras à entrada de novos produtores de equipamentos e tecnologias submarinos. Esse mercado tem se notabilizado por aumento da concentração industrial e fortalecimento da condição oligopolista das empresas líderes, via importantes operações de fusões e aquisições, como a fusão entre a Technip e a FMC (TechnipFMC), em 2017, e a esperada união entre GE e Baker Hughes.

O ecossistema produtivo e inovativo e a cadeia de valor da indústria do petróleo no Brasil são relativamente sofisticados. Aqui estão presentes os principais atores da indústria mundial, mas o refluxo dos investimentos no passado recente levou à desmobilização de importantes ativos, em particular no Parque Tecnológico da Ilha

do Fundão. Esse momento está passando; a retomada de investimentos virá em um prazo relativamente curto, porém com referenciais bastante distintos dos observados na última onda de investimentos: baixo custo e alto nível de atendimento a especificações. Esse referencial somente pode ser logrado pelos resultados de altos investimentos em CT&I. Esse é o principal desafio para as empresas de E&P.

4.4.3 Farmacêutica

Podem ser identificados três grupos de empresas farmacêuticas em atuação no Brasil que possuem capacitações distintas, sofrerão impactos e terão oportunidades diferentes em decorrência das transformações tecnológicas e das pressões de demanda em curso: (i) grandes empresas globais que possuem atividades de P&D nas matrizes e/ou próximas a centros tecnológicos de ponta (as pesquisas no país restringem-se à pesquisa clínica); (ii) empresas de capital nacional, cujo foco de atuação é atualmente restrito à produção de genéricos; e (iii) empresas de capital nacional de grande porte, com portfólios diversificados, incluindo medicamentos genéricos e similares e de prescrição.

A indústria farmacêutica brasileira tem capacidade de produção adequada, assim como capacidades de otimização de processos e introdução de novos produtos. De fato, após a introdução, pela ANVISA, de regulamentações que dispõem sobre o cumprimento e a fiscalização das boas práticas de fabricação,⁷ o parque fabril brasileiro se modernizou. As empresas farmacêuticas detêm as capacidades necessárias para a produção, em regime de boas práticas, de medicamentos sólidos, semissólidos, líquidos, hormonais e injetáveis. Várias empresas demonstram competências para inovações de cunho incremental, baseadas em plataformas tecnológicas. Algoritmos de inteligência artificial, associados ou não a *big data*, já estão sendo testados para melhorar a produtividade do P&D farmacêutico. Novos materiais, associados às técnicas de nanotecnologia, já vêm sendo empregados pela indústria, principalmente em dispositivos de liberação diferenciada de medicamentos. Em relação a inovações radicais, no entanto, apenas um grupo menor de empresas já internalizou estruturas de P&D e possui parcerias no Brasil e no exterior visando ao desenvolvimento de novos produtos.

Em biofármacos, a inserção do Brasil não é recente. Já de longa data, laboratórios oficiais, como Instituto Butantan e Fundação Oswaldo Cruz, produzem vacinas e outros produtos biológicos. A Fundação Oswaldo Cruz, por meio da Bio-Manguinhos, desde 2003, tem um acordo de transferência de tecnologia com Cuba para a produção de biofármacos de primeira geração. A Biobrás produziu insulina de origem animal em escala industrial de 1983 até 2002, quando a Novo Nordisk adquiriu suas operações. A criação da Bionovis, em 2009, pode ser considerada o marco da retomada da moderna biotecnologia no país. Seis empresas estão empenhadas nos segmentos de biossimilares:

⁷ RDC nº 275/2002 e RDC nº 17/2010.

Biommm, Bionovis, Cristália, Libbs, Orygen e Recepta. Esse conjunto de empresas pode auferir receitas de até R\$ 2 bilhões em 2020. Os biossimilares representam uma janela de oportunidade para que empresas capacitadas possam aprofundar a internalização de capacidades em biotecnologia e, em um cenário otimista, serem a base para o desenvolvimento de biofármacos inovadores no médio e longo prazos.

4.4.4 Bioeconomia

No Brasil há um amplo espectro de empresas em atividade com estratégias ativas em biotecnologia industrial e em vários estágios de desenvolvimento. Em estágio comercial ou próximo, estão polietileno verde, etanol 2G, óleos e derivados de microalgas heterotróficas e especialidades químicas. Também estão em curso projetos de P&D em escalas-piloto ou demonstração em butadieno, isopreno, monoetilenoglicol (MEG) direto do açúcar, açúcares celulósicos, bio-óleo, nanocelulose, lignina e fibras de carbono, entre outros. Também merecem destaque algumas iniciativas empresariais voltadas para o desenvolvimento de novo grupos de matérias-primas e produtos especiais com base na biodiversidade brasileira. Avanços das empresas na bioeconomia são facilitados pela existência de institutos de pesquisa, com foco na capacitação para desenvolver processos e produtos em parceria com empresas: Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Agroenergia e três Institutos SENAI de Inovação (biomassa, biossintéticos e química verde). O nível de articulação entre empresas e institutos de pesquisa não tem precedentes em ciclos anteriores de desenvolvimento da indústria química brasileira.

As atividades econômicas associadas à bioeconomia são variadas em termos da origem das empresas, do tipo de processos e produtos de interesse e do estágio de desenvolvimento. Esse estágio não é distinto do que ocorre no cenário internacional, e a maioria dessas iniciativas está em um limiar próximo ou muito próximo da introdução de inovações de processo e produtos de fronteira. Mais importante: as perspectivas em bioeconomia são promissoras e a posição brasileira atual para o avanço futuro já conta com interesses empresariais, investimentos já realizados e capacitações acumuladas que são ativos únicos e imprescindíveis para possíveis desenvolvimentos futuros.

4.5 Nossos desafios, riscos e oportunidades

4.5.1 Em comum

A&D, E&P de petróleo (com a especificidade brasileira), farmacêutica e bioeconomia correspondem a atividades econômicas nas quais a competição se dá pela inovação e pela capacidade de as empresas moldarem mercados. As tecnologias relevantes

são materiais avançados, nanotecnologia e biotecnologia; as tecnologias digitais, em especial a inteligência artificial e o *big data*, são essenciais por habilitarem as tecnologias específicas, além de elas mesmas (como IoT, produção inteligente e redes de alto desempenho) trazerem contribuições relevantes para a eficiência, a qualidade e a diferenciação de produtos. E, se já não o são, essas tecnologias serão disruptivas em até dez anos.

Nessas atividades, assim como em qualquer atividade intensiva em tecnologia, as empresas competem por novos produtos e processos, e as bem-sucedidas são parte de ecossistemas produtivos e inovativos que reúnem universidades, centros de pesquisa, fornecedores de componentes, equipamentos e serviços. A força desses ecossistemas aumenta quanto mais próximos estiverem os diferentes atores, principalmente para permitir fluxos eficientes da cadeia de valor e quando se trata de desenvolvimento tecnológico, por mais que redes de comunicação de alto desempenho e sistemas de logística eficientes possam viabilizar as atividades em uma situação de dispersão geográfica.

Em A&D, E&P (com a especificidade brasileira), farmacêutica e bioeconomia, os ecossistemas brasileiros, com a capacitação já acumulada e o desempenho competitivo comprovado, podem contribuir para a evolução junto à fronteira internacional. Essa é uma situação quase que única: em poucos momentos da história brasileira, diante de um contexto de intensa mudança tecnológica, o país contou com um estoque de empreendedores, pesquisadores, investimentos realizados e capacitação acumulada suficientes para fazer face aos desafios tecnológicos e competitivos que se impõem. Dadas as capacitações e as posições que as empresas e os institutos de pesquisa ocupam, para avançar, explorar e empurrar fronteiras, é essencial monitorar oportunidades, planejar investimentos em inovação, mesmo que de longo prazo de maturação e em um ambiente tecnológico em estruturação.

Almejar liderança tecnológica internacional é uma habilidade difícil para países, para ecossistemas de inovação e para empresas emergentes. Exige capacitação científica e tecnológica, muitas vezes em terrenos novos e ainda em construção, assim como capacidade de avaliação econômica prospectiva e muita capacitação em gestão da inovação. Esse é um desafio particularmente crítico para os órgãos de formulação de políticas industriais e de financiamento, além de algo valioso para as decisões empresariais. É forte prerequisite ter conhecimento setorial associado a bases científico-tecnológicas. É crucial “compreender” trajetórias e desafios tecnológicos e competitivos. E é essencial ter a disposição a investir no longo prazo e estar pronto tanto para o sucesso quanto para o fracasso em inovação, mas sempre com uma visão de longo prazo, o que pode ser particularmente difícil, dada a inexperiência brasileira em participar de corridas tecnológicas.

4.5.2 Específicos

4.5.2.1 Foco setorial A&D

A emergência convergente de novas tecnologias relevantes para A&D constitui uma oportunidade única e vem ao encontro de uma estratégia para a Embraer não apenas consolidar sua posição como terceira maior fabricante mundial de aviões, mas também aprofundar a atuação no segmento militar e de controle de sistemas, liderando em nichos de mercado específicos, e diversificar para novos segmentos, como o do projeto do veículo aéreo autônomo urbano. Os desafios podem ser enfrentados por estarem relacionados a áreas em que a empresa apresenta competências: projeto, especialmente na concepção de novos modelos de aeronaves; integração e produção avançada de aeronaves, com uso combinado de materiais avançados em processos e produtos e de gestão eficiente de um ecossistema produtivo e inovativo.

As transformações tecnológicas em curso afetarão esse ecossistema. A estrutura de fornecedores em níveis discretos deverá ser alterada pela crescente importância da integração da eletrônica, do digital, nos segmentos de partes e componentes físicos que também estarão em transformação em direção a novos materiais. Nas cadeias de valor, a metalmeccânica, em que atua a maioria dos fornecedores nacionais, perderá importância para produtores de novos materiais. Fornecedores especializados terão de enfrentar a estratégia de reinternalização da empresa. Porém, novas oportunidades surgirão para empresas que se mostrarem competentes em novas tecnologias, com destaque para empresas de engenharia de integração e de materiais que podem, inclusive, almejar a posição de fornecedoras de primeiro nível. A negociação com parceiros internacionais da Embraer deve ter como referência o fortalecimento da capacidade inovativa e produtiva do ecossistema local, nos segmentos em que a empresa se destaca, em contrapartida ao próprio processo de internacionalização da organização.

Esses são os caminhos para consolidar e aprofundar a liderança tecnológica nos segmentos de A&D, nos quais o Brasil se destaca. Quanto mais a Embraer se internacionalizar, mais deve ser fortalecido o ecossistema produtivo e inovativo de A&D brasileiro, para que a densidade competitiva da empresa mantenha-se e aumente. Isso significa reforçar e ampliar as competências locais (o Centro de Pesquisa Setorial, o CTA, o Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA) e, principalmente, fortalecer um sistema de redes de institutos de pesquisa que possam contribuir para as tecnologias relevantes desta indústria, como são certos institutos de inovação do SENAI (sistemas embarcados e metalurgia e ligas especiais, por exemplo). Nesse ambiente de rápido progresso técnico, em que prevalece a incerteza quanto às soluções inovadoras que serão selecionadas pelos mercados, é essencial sustentar a empresa líder por meio de investimentos em novas competências em instituições formadoras de recursos humanos e de pesquisa.

4.5.2.2 Foco setorial E&P

Os desafios e as oportunidades em E&P são semelhantes aos de A&D, mas aqui diferem as cadeias de valor e o ecossistema produtivo e inovativo. As novas e convergentes tecnologias oferecem a oportunidade para se lograr custos competitivos na exploração *offshore* de petróleo e gás de alta complexidade. Em um ambiente de novos referenciais competitivos e intensa mudança tecnológica, a base existente de recursos deve ser ampliada e renovada, em um referencial de baixo custo, para consolidar e aprofundar a liderança brasileira em E&P *offshore*. Entre as petroleiras, o protagonismo até o momento praticamente único da Petrobras cederá lugar para a convivência com outras empresas (líderes mundiais). A importância econômica da empresa brasileira permanecerá; porém, para que ela continue a destacar-se entre seus pares, sua agenda produtiva e inovativa deve acompanhar as mudanças tecnológicas em curso. Nesse contexto, o próprio processo concorrencial deve impelir a Petrobras a manter seu papel de referencial para soluções complexas em E&P, ao mesmo tempo em que o Brasil deverá aprender novas práticas de relacionamento e investimento com os novos entrantes investidores.

No ecossistema produtivo e inovativo, as parapetrolíferas também são protagonistas relevantes. Elas são ponto de passagem obrigatório entre soluções emanadas ou demandadas pelas petroleiras, outros fornecedores e institutos de pesquisa. Para isso, essas empresas estão se movendo no sentido de: (i) perscrutar soluções tecnológicas possíveis e adequadas; (ii) modificar o perfil e a especificação de recursos (equipamentos e pessoas) com a introdução de novas bases técnicas (novos materiais) e manufatura avançada e aditiva; e (iii) desenvolver capacitação em servitização, da manutenção à operação de equipamentos, o que pode, inclusive, implicar a propriedade compartilhada de processos.

Mesmo assim, haverá reorganização da cadeia de fornecedores, no provável sentido: (i) da reverticalização de partes e componentes; (ii) da integração com empresas provedoras de tecnologia digital; e (iii) do surgimento de pequenos fornecedores especializados (*startups*).

Um ativo que o Brasil construiu e que contribuiu, nas últimas décadas, ao sucesso competitivo da E&P *offshore* é a infraestrutura de ensino e pesquisa direta ou indiretamente associada ao petróleo. A subutilização dessas competências, ocorrida nos anos de recessão do investimento, está por terminar, diante de novas expansões de capacidade produtiva, já definidas pelos compromissos das petroleiras nos últimos leilões. Renovar essa infraestrutura, em bases a novos referenciais tecnológicos e competitivos (desde a perspectiva das petroleiras), é um desafio estruturante a ser enfrentado.

4.5.2.3 SP farmacêutica

A indústria farmacêutica brasileira pode acompanhar e explorar nichos na fronteira tecnológica. Para que as empresas não percam os espaços competitivos conquistados e avancem, será necessário encampar as novas tendências tecnológicas e intensificar o esforço inovador, a fim de construir portfólios de maior valor agregado, fora de uma competição em preços. A aproximação da indústria brasileira em relação aos seus pares internacionais é possível. O surgimento de novas frentes tecnológicas, a consolidação do conceito de medicina personalizada e a intensificação de pressões pelo lado da demanda conferem oportunidades para as empresas avançarem na direção da fronteira tecnológica em saúde.

Para a indústria farmacêutica, a acelerada transição demográfica brasileira é uma oportunidade única. Contudo, a evolução da indústria farmacêutica nacional demandará a superação de desafios de ordem institucional para consolidar um robusto ecossistema produtivo e inovativo em saúde no Brasil. Para cada um dos três diferentes grupos de empresas farmacêuticas em atuação no país, as pressões de demanda e tecnológicas trazem implicações distintas, que devem ser reconhecidas quando da formulação e da implantação de estratégias empresariais e políticas públicas.

Para o grupo de empresas de capital estrangeiro com operações no Brasil, se seguirem a trajetória passada, a resposta virá de produtos e soluções importadas. Porém, o avanço da medicina personalizada demandará investimentos em inovação no país. Para as empresas de capital nacional, com foco em genéricos, as novas tecnologias constituem uma forte ameaça. O avanço das biotecnologias e das tecnologias de informação relacionadas à saúde contribuirá para a redução do tempo e do custo de descoberta e desenvolvimento de um novo medicamento. Medicamentos inovadores e de baixo custo podem substituir medicamentos genéricos. No entanto, as capacidades organizacionais dessas empresas conferem-lhes flexibilidade necessária para adaptações, desde que reconheçam a necessidade de intensificar – e efetivamente intensifiquem – seus esforços em inovação. Para o terceiro grupo de empresas, de capital nacional, com portfólio diversificado, pouca dependência de genéricos e capacitação em bioequivalentes, os riscos e as oportunidades são diferentes. O surgimento de novas frentes tecnológicas, a consolidação do conceito de medicina personalizada e a intensificação de pressões pelo lado da demanda com alto potencial de impacto conferem às empresas potencial suficiente para avançar, sendo razoável supor a real possibilidade de se posicionarem mais próximas à fronteira tecnológica na saúde.

4.5.2.4 Foco setorial bioeconomia

Na bioeconomia, a inexistência de uma estrutura de mercado estabelecida cria para o Brasil oportunidade de explorar suas vantagens comparativas, competitivas e inovativas. Embora existam segmentos, como o da biologia sintética, em que a estratégia de *catching-up* seja necessária, a utilização de recursos biológicos renováveis apresenta

importante especificidade local, que sugere que o Brasil esteja diante da possibilidade de empurrar a fronteira mundial em melhores práticas inovadoras e moldar mercados.

Alguns desafios devem ser enfrentados: (i) valorizar a base de conhecimento científico, tecnológico e operacional em biotecnologia industrial e, em particular, biologia sintética; (ii) estruturar uma oferta de longo prazo de biomassa, a partir de requisitos de produtividade, disponibilidade, qualidade, custo, *performance* ambiental da empresa e da cadeia logística de suprimento; (iii) diversificar a base de materiais renováveis, por meio do desenvolvimento de pacotes tecnológicos e logísticos para novas matérias-primas, da exploração do potencial da biodiversidade para matérias-primas especiais (para cosméticos e outros usos de elevado valor agregado) e da estruturação do conhecimento do potencial brasileiro em biomassas associadas a resíduos urbanos, agrícolas e agroindustriais; (iv) investir em *scale-up* e operar novos processos, em particular os que envolvem biotecnologia avançada; e (v) promover a difusão de novos produtos.

Vale destacar o desafio relacionado às matérias-primas e aos processos, dados os avanços já obtidos no Brasil. A principal vantagem comparativa brasileira reside na produtividade agrícola, em particular da cana-de-açúcar e das florestas plantadas. Entretanto, existem desafios ligados ao atual estágio de produtividade que devem ser enfrentados nos próximos anos e ao desenvolvimento de novos produtos, como a cana-energia, mais adequados aos requisitos das inovações em bioeconomia. Também permanece em aberto o potencial da biodiversidade para matérias-primas especiais. O conhecimento estruturado dos biomas brasileiros é essencial para o desenvolvimento da bioeconomia. Com relação aos processos, persistem desafios ligados às tecnologias de conversão, de pré-tratamento e de engenharia de processos. Conceber e operar uma unidade industrial utilizando processos baseados em biologia sintética tem sido um grande desafio para os pioneiros. Alcançar tecnologias capazes de disponibilizar de forma competitiva os açúcares dos materiais lignocelulósicos ou outros produtos de partida, como celulose e lignina, é decisivo para o desenvolvimento da indústria.

Uma condição básica para facilitar a estruturação de empresas produtivas em bioeconomia é avançar na precificação do carbono, via mercado ou tributação. Essa é uma agenda relevante e prioritária para políticas públicas, em parceria com o setor privado.

4.6 Referências bibliográficas

BOMTEMPO, J. V. **Relatório do Estudo do Sistema Produtivo Química e Foco Setorial em Bioeconomia**. Projeto Indústria 2027: Riscos e Oportunidades para o Brasil Diante de Inovações Disruptivas. Rio de Janeiro; Campinas: IE-UFRJ; IE-UNICAMP, 2017. Mimeo.

PINTO JR, H. Q. **Relatório do Estudo do Sistema Produtivo Petróleo e Gás e Foco Setorial em Exploração e Produção em Águas Profundas**. Projeto Indústria 2027: Riscos e Oportunidades para o Brasil Diante de Inovações Disruptivas. Rio de Janeiro; Campinas: IE-UFRJ; IE-UNICAMP, 2017. Mimeo.



5

PRODUTORES DE INSUMOS INTERMEDIÁRIOS: ACOMPANHAR A FRONTEIRA DA PRODUTIVIDADE E EXPLORAR SINERGIAS COM SETORES COMPETITIVOS

5.1 Quem são os produtores de insumos intermediários?

Fazem parte desse grupo os sistemas produtivos ou focos setoriais associados a refino de petróleo, química, insumos básicos, inclusive siderurgia, e as *commodities* agrícolas.

Essas são atividades econômicas muito distintas. O refino do petróleo está concentrado em uma empresa e seu produto destina-se prioritariamente ao mercado interno. A indústria química depende essencialmente dos produtos derivados do petróleo, produzidos pela Petrobras, e apresenta elevado grau de heterogeneidade e diversidade. Ao lado de empresas de porte e capacidade competitiva compatíveis com a indústria internacional, há empresas médias e pequenas ainda defasadas. Os insumos básicos (siderurgia, mineração, metalurgia, cimento, cerâmica, vidro e celulose) diferenciam-se por fatores como orientação comercial – mercado doméstico *versus* exportação –, inserção em cadeias produtivas, eficiência, taxa de crescimento da demanda e nível de utilização de capacidade instalada. As *commodities* agrícolas caracterizam-se por produtores primários, etapas de processamento e logística de escoamento. O país é líder mundial nas exportações de açúcar, café, suco de laranja e carne vermelha, segundo exportador de soja e aves e quarto de suínos.

Por que, então, reuni-los? Os produtores de insumos intermediários têm em comum pelo menos um de cinco atributos de natureza tecnológica e competitiva e uma particularidade, no caso brasileiro, em termos de capacidade competitiva.

Os atributos tecnológicos e competitivos são: (i) alta intensidade de capital e processamento contínuo da produção e/ou localização nos elos a montante das CGVs; (ii) as principais inovações tecnológicas vêm de fora dos setores, já que essas são atividades receptoras de progresso técnico gerado fora delas; (iii) o ritmo de progresso técnico é relativamente lento e, em grande medida, as transformações que neles ocorrem têm caráter essencialmente incremental; e (iv) os produtos são relativamente homogêneos, de forma que as inovações de processo são determinantes para efeito de competitividade, ao passo que a eficiência produtiva (revelada em baixos custos por unidade

de produto) e o atendimento a especificações definem as vantagens competitivas das empresas que disputam mercados, em geral bastante concentrados.

No caso brasileiro, esses sistemas produtivos e focos setoriais apresentam uma distinta particularidade: na maioria dessas atividades, grande parte da produção está em empresas e cadeias produtivas com capacidade e desempenho competitivos, revelados pelo desempenho exportador e por vantagens de custo derivadas, principalmente, do acesso privilegiado a matérias-primas. Manter tais vantagens competitivas, acompanhando a fronteira produtiva – da eficiência e da qualidade – internacional, é o desafio que os produtores de insumos intermediários enfrentam. Em alguns nichos específicos, as empresas brasileiras podem, inclusive, explorar tecnologias de fronteira. As capacitações acumuladas nos ecossistemas produtivos e inovativos na indústria de bens intermediários, quando somadas e renovadas pelas novas tecnologias, constituem uma oportunidade única para as empresas posicionarem-se competitivamente em seus mercados, de forma sustentável.

5.2 Qual é a importância econômica dos insumos intermediários e quais são os determinantes da mudança tecnológica?

5.2.1 Refino

Estão em curso duas transformações importantes na indústria de refino, uma associada às características dos processos industriais e outra de caráter locacional.

Do ponto de vista técnico, o *mix* de derivados no refino ainda não é flexível a ponto de maximizar ou priorizar a produção de um derivado específico em relação a outros. Mesmo assim, as empresas tentam “empurrar” ao máximo as restrições técnicas, por meio de investimentos em modernização e flexibilização para aumentar o rendimento do processamento e o perfil qualitativo dos derivados. Isso ocorre porque a participação do óleo pesado no *mix* refinado vem aumentando, assim como a necessidade de produzir derivados mais leves e médios em resposta ao perfil da demanda.

Do ponto de vista locacional, nos países da União Europeia e no Japão, a demanda diminuiu entre 2005 e 2015 a uma taxa média de, respectivamente, 1,7% e 2,5% ao ano. Essa queda na demanda, especialmente no caso de gasolina e diesel, advém em parte do papel, ainda que modesto, dos biocombustíveis, das alternativas de mobilidade urbana, dos preços elevados entre 2004 e 2014 e, por fim, das medidas regulatórias e de política energética visando à substituição de combustíveis fósseis.

Essas tendências repercutiram na estrutura de oferta. Após um período de crescimento da capacidade de processamento de petróleo bruto nas refinarias até o fim dos anos 1990, observam-se mudanças significativas nas duas últimas décadas. A capacidade da União Europeia, que, em 2006, era de 16 milhões de barris por dia, caiu para 13,9 milhões, em 2016. Ao mesmo tempo, na China, na Índia e no Oriente Médio – basicamente na Arábia Saudita –, a demanda e a capacidade produtiva têm se expandido. Do aumento total da capacidade mundial de refino entre 2010 e 2016 – 4,84 milhões de barris por dia –, a China foi responsável por 53,1%, com um acréscimo de 2,6 milhões de barris por dia. Esse aumento equivale ao total da capacidade brasileira.

No final de 2015, o Brasil contava com 17 refinarias com capacidade para processar 2,4 milhões de barris de petróleo e outras cargas por dia. A Petrobras detém praticamente o monopólio da atividade, com 13 dessas unidades e 98,2% da capacidade nacional. Esse poder de mercado tem implicações para o processo de formação de preços de derivados e para as condições de entrada de outros agentes na indústria. No entanto, a maior parte do parque de refino brasileiro foi construída há muito tempo, principalmente as refinarias de maior porte. Isso não significa, contudo, que seus processos datem do momento da inauguração de cada um. Ao longo do tempo e, especialmente em 2010, foram realizados investimentos importantes de atualização de controles de processos. A emergência e a difusão recente de tecnologias digitais avançadas abrem oportunidades para a modernização desse parque produtivo.

5.2.2 Química

As vendas mundiais da indústria química em 2016 foram da ordem de US\$ 3,7 trilhões, sendo que a China representou cerca de 40% desse total, e a América Latina, 3,8%. Os produtos químicos são vendidos, em sua maioria (75%), como produtos intermediários, sendo 26% destinados à própria indústria química, e 49% a outros setores. Os produtos vendidos diretamente para consumo final (25% do total) pertencem principalmente à indústria farmacêutica e à agroquímica. Como sistema produtivo, a química mundial (excluindo-se a farmacêutica e incluindo-se a petroquímica) apresenta estrutura pulverizada, com taxas de concentração bastante baixas: em 2014, as 50 principais empresas detinham apenas 18% das vendas. Entre as principais empresas, 17 têm sede na Europa; 12 nos Estados Unidos (quatro entre as dez líderes); oito no Japão; e quatro na Coreia do Sul. A Braskem, única empresa brasileira dessa lista, aparece em 14º lugar em vendas, com 0,36% do mercado mundial. Também consta apenas uma chinesa, a Sinopec.

O sistema produtivo brasileiro é o oitavo do mundo. As vendas em 2016 foram de US\$ 113,5 bilhões, cerca de 3% do total mundial. A participação no PIB entre 2008 e 2015 manteve-se em torno de 2,5%. Considerando-se o PIB industrial, a indústria química é o terceiro setor mais importante, abaixo de alimentos e bebidas, petróleo e combustíveis

e à frente do setor automobilístico. Entretanto, do ponto de vista da balança comercial, nos últimos anos ela tem sido fonte de grandes e crescentes déficits: em 2016 atingiu US\$ 22,1 bilhões. Nos últimos dez anos, esse déficit tem sido determinado pela variação das importações, já que as exportações têm se mantido estáveis e mesmo declinantes desde 2008. Em termos da natureza dos produtos comercializados, 54,9% das vendas destinam-se ao setor industrial. A indústria química brasileira apresenta maior grau de concentração se comparada com o mercado global. Em 2016, as quatro maiores empresas nacionais detinham 14,61% do mercado.

Em 2015, o mercado global de petroquímicos foi avaliado em US\$ 419,4 bilhões. A trajetória de crescimento da indústria é determinada pela demanda por seus derivados nas indústrias automotiva, têxtil, de construção, industrial, médica, farmacêutica, eletrônica e de bens de consumo. A indústria petroquímica é madura do ponto de vista tecnológico. A partir dos anos 1980, a indústria entrou em uma trajetória de consolidação, com taxas de crescimento modestas. Assim, trata-se de uma indústria concentrada em grandes empresas intensiva em capital, com fortes barreiras à entrada e movimentos cíclicos de investimentos, preços e margens de lucro. Os principais fatores de competitividades são escala de produção, acesso a matérias-primas de qualidade a baixo custo, integração para lograr economia de escopo e vantagens de custo.

Na produção de resinas, a competitividade pode também depender do esforço de diferenciação de produtos. Nesses casos, as relações com os utilizadores finais (indústria automobilística e eletroeletrônica) são críticas para a competitividade. Do ponto de vista de seus principais produtos – as resinas de grande consumo –, a indústria pode ser considerada pouco inovadora. Porém, não devem ser desconsiderados os esforços de desenvolvimento e adaptação de grades a condições específicas de uso. Nas especialidades, o padrão de concorrência é distinto. Crescem em importância a inovação e a diferenciação de produtos (orientados a mercados ou para funções específicas). Esses são usados em aplicações específicas de indústrias como eletrônica, indústria do petróleo, mineração e agricultura, e são desenvolvidos para uma função ou propriedade que os define e identifica: adesivos, antioxidantes, aromas, fragrâncias etc.

De modo semelhante à indústria de refino, no passado recente vem ocorrendo um processo de deslocamento da produção da petroquímica para países com potencial de crescimento de mercado, como os asiáticos, em particular a China, ou para aqueles com posição favorável em matérias-primas, óleo e gás natural. Assim, nesse século foram muitos raros os projetos de expansão nos países do Hemisfério Norte. Entretanto, essa tendência tem sido revista, com a disponibilidade de gás natural a baixo custo nos Estados Unidos, que fez com que voltassem a surgir projetos de investimento em petroquímica, de primeira e segunda gerações, nos Estados Unidos.

As plantas industriais da indústria petroquímica brasileira têm escalas competitivas e são consideradas atualizadas do ponto de vista tecnológico e operacional. Sua principal desvantagem é o acesso a matérias-primas de qualidade a preços competitivos.

As condições internacionais recentes de oferta de gás natural a baixos preços no mercado norte-americano desfavorecem ainda mais a sua competitividade.

Nas especialidades, o segmento mais importante é o de defensivos, com a demanda brasileira representando 20% do mercado mundial. O atendimento a esse mercado é feito por grandes empresas internacionais: Syngenta, Bayer e Basf, que atendem cerca de 70% do mercado, enquanto 30% têm origem em produtores de genéricos. A busca de uma agricultura de baixo carbono, o uso de melhores e mais modernos defensivos, as inovações nas formas de controle biológico de pragas e a agricultura de precisão colocam o segmento no alvo de grandes transformações. O surgimento de numerosas *startups* e as evoluções dos modelos de negócio, tanto de incumbentes quanto de desafiantes, ilustram essas transformações. Outros quatro segmentos devem ser destacados pelo dinamismo do crescimento e potencial para incorporar inovações a partir de matérias-primas renováveis: lubrificantes, produtos químicos para a indústria de óleo e gás, aditivos para alimentos humanos e animais e aromas e fragrâncias.

5.2.3 Insumos básicos

Os mercados de insumos básicos são concentrados e os produtos são homogêneos. A principal barreira à entrada decorre das economias de escala dos incumbentes, embora possa haver diferenças significativas em cada segmento. O progresso técnico é lento, as inovações são de caráter incremental, e as vantagens competitivas das empresas derivam de vantagens de custo e capacidade de atendimento às especificações técnicas. Quando a produção envolve altos volumes e os mercados situam-se a longas distâncias, como no caso da mineração de ferro e mesmo da celulose, uma parcela expressiva dos investimentos é direcionada à logística (ferrovias, portos). A eficiência na logística de transporte pode ser decisiva para as empresas assegurarem vantagens de custo.

Entre 2005 e 2015, a produção de insumos básicos aumentou sua participação no valor da transformação industrial (VTI) mundial. A metalurgia básica (siderurgia e alumínio) passou de 9,8%, em 2005, para 10,7%, em 2015. Os minerais não metálicos (cerâmica e vidro) expandiram-se de 5,2% para 5,5%. Essa trajetória deve ter continuidade nos próximos anos, e certos minerais (lítio e cobalto) deverão crescer a taxas ainda mais elevadas, decorrentes da demanda para veículos elétricos. A celulose está crescendo a taxas de aproximadamente 3%, com destaque para a celulose de fibra curta, e o nível de utilização da capacidade instalada da indústria mundial de celulose encontra-se em patamares elevados (93% em 2017) quando comparado aos demais insumos básicos, como a siderurgia (69% em 2016).

Como no caso das outras *commodities*, nos insumos básicos a tendência forte é de diminuição da importância relativa das nações envolvidas na geração do VTI setorial. Na metalurgia básica, esse valor regrediu de 76,4%, em 2005, para 64,7%, em

2015. Trajetória similar foi verificada para produtos minerais não metálicos (79,8% para 68,3%, respectivamente). De modo similar, celulose e papel registraram diminuição de 77,3%, em 2005, para 64%, em 2015. Nessa indústria, os cinco maiores produtores em 2016 foram Estados Unidos, Brasil, Canadá, China e Suécia. Já na produção de cimento, as plantas tendem a apresentar elevada integração vertical, até mesmo por ser um produto de baixo valor agregado em relação ao custo logístico. Em 2016, a participação da China na capacidade mundial de clínquer foi de 54,1%, e, na fabricação mundial de cimento, de 57,4%.

A situação estrutural da siderurgia é complexa (e não só pelas ações recentes da administração norte-americana). Essa é uma atividade difundida internacionalmente, com 94 países produzindo 1,63 bilhão de toneladas de aço bruto em 2016, para atender a uma demanda de 1,52 bilhão de toneladas. Desde 2010, a demanda chinesa por aço tem oscilado em torno de 45%. Na produção, em 2016, a participação de países asiáticos – à exceção da China – atingiu 19,5%. A participação chinesa passou de 15,1%, em 2000, para 49,6%, em 2016. Os 28 países da União Europeia foram responsáveis por 9,9%, enquanto os países do North American Free Trade Agreement (NAFTA) detiveram uma fatia de 6,7%. A produção siderúrgica das Américas do Sul e Central foi equivalente a 2,5% do volume mundial em 2016. Considerando que a capacidade instalada atual totaliza 2,39 bilhões de toneladas de aço bruto, o parque atual não precisaria ser aumentado durante um período entre cinco e dez anos para abastecer a demanda global. No *front* externo, as exportações mundiais de placas, blocos e tarugos (em que se concentram as vendas externas brasileiras) caíram de 58,7 milhões de toneladas, em 2010, para 51,1 milhões, em 2016. Essas são evidências que indicam que a indústria siderúrgica continuará enfrentando desequilíbrios importantes entre capacidade de oferta e demanda durante um longo período.

5.2.4 Commodities agrícolas

O sistema produtivo agroindústria detém parcela significativa do produto industrial da maioria dos países (entre 10% e 30%). A produção anual mundial somente de alimentos e bebidas é estimada em US\$ 4 trilhões, gera 25 milhões de empregos e está concentrada nos países de alta renda (dois terços), mesmo que nestes se localizem algo em torno de 16% da população mundial. Porém, países como Brasil, Índia, China e Rússia já são os mercados mais dinâmicos. As 100 maiores multinacionais produzem cerca de 38% do total mundial e destacam-se na introdução de inovações.

O agronegócio representa aproximadamente 23% do PIB do Brasil – uma participação maior que nos Estados Unidos, em que se situa abaixo de 10%. Os agronegócios atingiram R\$ 1,4 trilhão em 2016, com uma participação da agricultura de R\$ 541,7 bilhões, dividida entre lavoura (R\$ 355 bilhões) e pecuária (R\$ 200 bilhões). Suas exportações, na casa de US\$ 86 bilhões em 2016, têm peso significativo para o país: quase 50% do

total brasileiro. O país é líder mundial nas exportações de açúcar, café, suco de laranja e carne vermelha; é o segundo maior exportador de soja e aves, além do quarto exportador mundial de suínos. A China tornou-se a principal parceira do Brasil, recebendo 25% das exportações agrícolas nacionais. No entanto, essas exportações são quase exclusivamente de *commodities* não processadas ou semiprocessadas. As exportações de produtos altamente processados ou embalados (*packaged foods*) são pouco significativas, e a indústria de processados atende fundamentalmente o mercado doméstico.

A evolução recente das *commodities* agrícolas varia muito entre os diversos segmentos. Antes de ser atingido pela crise global de 2008, o setor sucroalcooleiro estava em pleno crescimento, recebendo uma onda de novos investimentos, visando liderar o nascente mercado global de etanol e o avanço rumo à bioeconomia. A crise, porém, levou muitas empresas a encerrarem suas operações, enquanto a falta de recursos para renovar os canaviais baixou a produtividade. Preços desfavoráveis para o etanol, a seca prolongada e as crises específicas que sofreram Petrobras e Odebrecht – importantes investidoras do setor – completaram esse quadro de fragilização.

Nas proteínas animais, a partir do início dos anos 2000, algumas empresas nacionais expandiram-se mediante processos de fusões e aquisições. Esse processo diminuiu fortemente o abate clandestino e abriu espaço para pastagens plantadas e o semiconfinamento. A adoção de técnicas de qualidade, rastreamento e georreferenciamento, sistemas organizados de manejo e técnicas de melhoramento genético, estão gradativamente deixando para trás a pecuária extensiva.

O café, historicamente o carro-chefe da agricultura brasileira de exportação, foi duramente afetado por produtos de qualidade da Colômbia e outros países, bem como pelo café barato do Vietnã. Estimulado pela nova demanda por cafés especiais na Europa e pelo surgimento de uma cultura de *coffee shops* no Brasil, o setor vem dando uma guinada para a qualidade que levou as exportações a alcançarem até mesmo o exigente mercado japonês. Ao mesmo tempo, a produtividade mais que dobrou em função de mudanças no processo produtivo e da mecanização da colheita.

Atualmente o carro-chefe das *commodities* agrícolas é a soja. O avanço do grão anda cada vez mais em paralelo com o do milho, que é plantado imediatamente após a colheita da soja e tornou-se também um importante produto de exportação. A soja já incorporou o modelo de plantio direto com o uso de variedades transgênicas resistentes a herbicidas, o que simplifica o processo produtivo e estimula maiores escalas. Por sua vez, investimentos em equipamentos viabilizaram a adequação dos plantadores a essas novas escalas. Apesar de importantes avanços em produtividade, foi a expansão em área plantada – primeiro nos Cerrados e, em seguida, no Nordeste e no Norte do país – que viabilizou esse crescimento. Em 1990, o Brasil plantou menos de 10 milhões de hectares de soja, mas em 2016 já cultivava 33 milhões de hectares, produzindo 114 milhões de toneladas. Dessas, 52 milhões foram exportadas em grão: 62% para a China e 14% para outros países asiáticos. Quase a metade, entretanto, foi

direcionada ao consumo interno, demonstrando a importância da demanda doméstica. Na próxima década, espera-se aumentar a área cultivada com soja em mais de 10 milhões de hectares.

5.3 Quais são as tecnologias relevantes e seus impactos potenciais?

Como mostra o quadro 12, as transformações derivadas dos vários *clusters* tecnológicos, em grande medida, não causam impactos disruptivos nos produtores de insumos intermediários no curto prazo.

Para todos os produtores de insumos intermediários, desde a exploração da matéria-prima até sua transformação, as tecnologias relevantes são aquelas associadas ao controle de processos, como sensores, *big data*, inteligência artificial, redes de comunicação, embarcadas ou não em BK ou providas por prestadores de serviços digitais. Para as agroindústrias e para a celulose, ademais, são essenciais as biotecnologias e os novos materiais, potencializados pelo uso integrado com tecnologias digitais, à semelhança do que ocorre na farmacêutica e na bioeconomia.

Essas são inovações em processos e organizacionais, muitas delas em estágio maduro, como redes de comunicação. Porém, mesmo aí deverão surgir inovações (redes 5G, por exemplo) que ainda estão em processo de seleção quanto aos padrões dominantes. As inovações nos insumos intermediários são geradas por produtores de TIC, BK, de insumos químicos ou mesmo por empresas dedicadas à biotecnologia, em forte interação com os usuários.

Como na produção de insumos intermediários predominam processos de natureza contínua, em que o progresso técnico avança lentamente, podem-se prever poucas rupturas até 2027 como consequência da difusão de novas tecnologias. Essas devem reforçar trajetórias já existentes e implicar melhoria contínua de processos e enobrecimento de produtos. Em particular, as tecnologias digitais são adequadas para processos contínuos, por otimizar fluxos de transformação e conversão físico-química.

Como se trata de atividades em geral intensivas em escala, é baixo o investimento em novas tecnologias relativamente ao investimento total, enquanto as taxas de retornos podem acentuar as vantagens competitivas de custo e capacidade de atendimento a especificações técnicas, essenciais para essas atividades.

Quadro 12 – Clusters tecnológicos relevantes para insumos intermediários

CLUSTERS TECNOLÓGICOS	INSUMOS INTERMEDIÁRIOS
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	→
REDES DE COMUNICAÇÃO	→
INTERNET DAS COISAS	→
PRODUÇÃO INTELIGENTE E CONECTADA	→
MATERIAIS AVANÇADOS	→
NANOTECNOLOGIA	→
BIOTECNOLOGIA	↑ AGROINDÚSTRIAS
	→ CELULOSE
ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	→

NÃO SE APLICA	IMPACTO MODERADO EM 2017 E EM 2027	IMPACTO POTENCIALMENTE DISRUPTIVO ATÉ 2027	IMPACTO DISRUPTIVO EM 2017 E ATÉ 2027
---------------	------------------------------------	--------------------------------------------	---------------------------------------

Fonte: Elaboração I2027.

Nessas indústrias, os controladores lógico-programáveis, que registram parâmetros de transformação físico-química, já estão presentes há muito tempo. Seu uso, porém, tende à intensificação, e seu *design*, à redução e à autonomização. Os sensores, por exemplo, estão cada vez mais miniaturizados pelo desenvolvimento de nanotecnologias resistentes à temperatura e à pressão, dotados de baterias melhoradas e integrados a um sistema de transmissão de informação. As novas gerações de tecnologias digitais podem estender ainda mais a vida útil de plantas e equipamentos, em geral de muito alto valor unitário. Elas também introduzem novas funcionalidades, como a manutenção preditiva e o conhecimento preciso das necessidades e dos desafios de seus clientes, podendo, inclusive, levar a uma relação direta entre produtores e usuários finais, eliminando elos de intermediação comercial.

Porém, as mudanças serão disruptivas para os fornecedores de soluções tecnológicas: produtores de BK, de insumos químicos e biotecnológicos e provedores de serviços de TIC. Na base técnica dos produtores de BK cai a importância das tecnologias de base metalmeccânica e cresce a importância de tecnologias digitais e materiais avançados. Alguns segmentos de produção agrícola e os produtores de insumos químicos e biotecnológicos terão que introduzir tecnologias genômicas, com potencial de transformar modelos de negócio, padrões de concorrência e estruturas de mercado.

Os provedores de serviços de TIC transcendem a geração e a difusão de informações técnicas para prover especificações de como e quando plantar ou colher com alto grau de precisão. As *agritechs* ou *agtechs* surgem como um novo agente econômico e os processos de sobrevivência, crescimento ou absorção por outras empresas ainda estão em um estágio preliminar. Do mesmo modo, se no início dos anos 1980 as então novas biotecnologias levaram à absorção da indústria de sementes pela indústria química, hoje é o gerenciamento do *big data* que reestrutura as indústrias tanto de insumos quanto de maquinaria. Empresas que não atuavam tradicionalmente no setor, como Google e IBM, estão envolvendo-se diretamente no fornecimento de serviços agrícolas.

Quando a pesquisa cresce de importância para a geração de novos produtos e processos, como é o caso da biologia sintética em convergência com as tecnologias digitais, os ecossistemas, principalmente aqueles orientados para a inovação, tornam-se relevantes para o agronegócio. Nos Estados Unidos e na Europa estão sendo montados grandes consórcios de instituições públicas e privadas para organizar o sequenciamento genômico em escala global de toda a vida na terra, incluindo as microbiotas associadas a plantas e animais. O objetivo é desvendar em profundidade o processo evolutivo e entender como os organismos adaptaram-se aos diferentes ecossistemas ao longo da evolução. Tratam-se de iniciativas de *big data* em genômica com impacto sem precedentes para a ciência em geral e para a biotecnologia em particular. Uma das iniciativas, com custos estimados em US\$ 4 bilhões, é o Earth Biogenome Project (EBP), que tem como objetivo sequenciar 2 milhões de espécies de eucariotos representativos dos cinco biomas megadiversos do planeta. O Brasil, por meio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), já está dando os primeiros passos para participar do EBP.

Os ecossistemas nos agronegócios no Brasil são muito particulares. Eles podem ser completamente privados, como quando empresas de base química associam-se com empresas digitais e/ou produtoras de equipamentos; e também podem ser liderados pelo setor público, interagindo diretamente com os usuários, como no caso da EMBRAPA. Podem também ser organizados em parcerias público-privadas, como o CTC, empresa de P&D de variedades de cana-de-açúcar que tem como sócios empresas privadas e o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). São muitas as configurações dos ecossistemas no sistema produtivo dos agronegócios, o que lhe confere flexibilidade suficiente para enfrentar e propor soluções variadas para a indústria.

Mesmo que o progresso técnico seja lento nas indústrias intermediárias, as tecnologias digitais têm o potencial de induzir uma produção integrada, conectada e inteligente, que “empurra” níveis de eficiência, qualidade, flexibilidade e segurança. Esse tipo de produção racionaliza a gestão da unidade de negócios e da produção, por meio da coleta e da transmissão de dados para centros de análise especializados e equipados com *hardware* e *software* com capacidade para capturar, processar e, na direção da inteligência artificial, prover soluções em tempo real ou antecipadamente.

Isso proporciona avanços em manutenção preventiva que permitem aos operadores detectar sinais de problemas e anteciparem-se à ocorrência de colapsos nos processos. Além disso, a robótica, inclusive autônoma, e os *drones* têm se tornado importantes nas rotinas de inspeção de áreas isoladas de operação.

A utilidade das tecnologias digitais para as indústrias de processo é inconteste, dada a complexidade de gerenciar grandes quantidades de processos em grandes espaços físicos. Em contrapartida, o volume de dados e informações a tratar requer mudanças nas rotinas de gestão e na capacitação das pessoas. Em virtude de essas soluções serem fornecidas por empresas de fora desses setores, a implementação delas é disponibilizada para todas as empresas de uma indústria. A disposição ao investimento e o tipo de decisões de cada empresa com respeito às tecnologias digitais assumem, então, importância estratégica no processo concorrencial.

Para além dessas trajetórias comuns entre produtores de intermediários, em dois elos das cadeias produtivas dos agronegócios – a produção agrícola e a logística de escoamento – algumas das tecnologias digitais manifestam-se de modo específico, e outras tecnologias, principalmente de natureza biotecnológica, surgem com relevância.

A expressão que sintetiza a orientação da mudança tecnológica é “agricultura de precisão”. De forma semelhante ao processo em curso na farmacêutica, em que se busca por medicamentos adaptados ao perfil do paciente, no setor agrícola os equipamentos, as informações e as soluções bioquímicas devem ter capacidade de distinguir e agir sobre áreas físicas muito delimitadas. O uso de sensores e *drones* para monitorar condições do solo e da lavoura permite maior seletividade no uso da água e de defensivos. Na produção agrícola em escala, o trator transforma-se em ponto de passagem obrigatório, tanto dos insumos químicos quanto dos genéticos. Há protótipos de tratores e colheitadeiras autônomos, mas os atuais já estão conectados, gerando e recebendo informações. Outra trajetória é a substituição de grandes tratores por unidades menores para mitigar problemas derivados de compactação de solo. Essas são inovações integradas, convergentes, conectadas e crescentemente inteligentes que implicam mudanças em processos e organizacionais tanto nos agronegócios quanto nos ecossistemas. Essas soluções estão em estágios diferentes de desenvolvimento: algumas maduras, outras ainda em rápido desenvolvimento, como no caso da biologia sintética, mas todas abrem espaços para a maior qualidade e para o desenvolvimento de novos produtos quase substitutos dos existentes.

O processo de geração e difusão de tecnologias integradas, conectadas e inteligentes está resultando em movimentos empresariais surpreendentes: empresas líderes de sementes e insumos químicos compreenderam esse deslocamento do poder econômico para o controle dos sistemas de informação sobre o uso de insumos, cujo ponto de passagem é o trator, e firmam acordos de cooperação com produtores de equipamentos. Ao mesmo tempo, cada empresa estende suas atividades para diferentes segmentos do mundo digitalizado. Por exemplo, a Monsanto comprou a Precision

Planting em 2002 e a The Climate Corporation em 2003 – ambas desenvolvedoras de sistemas de informação para gestão de fazendas. As empresas de equipamentos, como Deere, CNH e AGCO, estão adquirindo empresas de *drones*. Mesmo no caso de produtos que representam uma ameaça direta a seus produtos principais, as líderes não ignoram o potencial de novas empresas. Já existe mais de uma dezena de *startups* desenvolvendo alternativas à carne, seja a partir de vegetais, seja por meio de técnicas de culturas de tecido e fermentação. A Tyson, líder global no conjunto das carnes, comprou participação na *startup* Beyond Meat, cujo produto The Beyond Burger, de base vegetal, já está à venda em 11.000 *outlets* dos Estados Unidos. A Cargill, por sua vez, adquiriu a Memphis Meat, empresa que desenvolve *strips* de carne a partir da reprodução de células.

Esses exemplos mostram que, inseridas em um pacote de *big data* e inteligência artificial, as biotecnologias experimentam hoje avanços importantes nos agronegócios, como é o caso da tecnologia CRISPR, capaz de manipular genes individuais ao desenhar e padronizar componentes biológicos – ou até mesmo estruturas biológicas inteiras – para modificar o funcionamento de organismos. Na área agrônômica, além da produção de *microbials*, seus objetivos são aumentar a resistência a condições de estresse hídrico e térmico e modificar a rota da fotossíntese para acelerar o crescimento e promover a fixação de nitrogênio. A biologia sintética está transformando as tecnologias de fermentação, cruciais para o avanço do modelo de biorrefinarias, que foram concebidas para biocombustíveis e *bulk chemicals*. Empresas petroquímicas, agroquímica, florestais e *traders* estão investindo na área, enquanto as novas técnicas de fermentação viabilizam a reprodução de sabores, fragrâncias e óleos naturais em concorrência direta com a agricultura. Por exemplo, a ADM trabalha com a Ginko Bioworks na produção de ingredientes, e a Cargill lançou recentemente, em parceria com a Evolve, um adoçante de estévia a partir dessa tecnologia.

As tecnologias digitais também otimizam os parâmetros de eficiência e qualidade da gestão de cadeias logística e de escoamento, essenciais para atividades que mobilizam o transporte a longa distância de volumes altos de produção. O uso de *big data* e inteligência artificial nessas atividades tem seus processos de introdução e difusão facilitados pela disponibilidade real ou potencial – porém, de fácil compilação – das informações necessárias à montagem e à manipulação de grandes bases de dados. Os *traders* enfrentam diversos problemas de gerenciamento de cadeia de fornecedores, para os quais estratégias de digitalização integrada são mais desafiadoras, mas já começam a transformar modelos de negócios e de coordenação. Todas as empresas líderes estão desenvolvendo sistemas para digitalizar as suas operações comerciais. Por exemplo, a Bunge adotou em 2015 o Cargo Docs para eliminar todos os documentos físicos, e planeja ter *bills of lading* e *presentations* eletrônicos para todas as operações de grãos e oleaginosas; a ADM adotou a plataforma Tradeshift e a Luis Dreyfus desenvolveu a Demeter International Trading, uma plataforma *in-house* já implementada na Argentina e cuja extensão para outras operações é pretendida.

Nas atividades primárias, como na agricultura, estão disponíveis altos volumes de informação pública capturados por equipamentos sensoriais a longa distância, como satélites e informações recolhidas de propriedades privadas, com alta precisão. A ampla disponibilização de informações públicas e a captura, a análise e a disponibilização dessas informações como serviços propiciam referências comparativas para os agronegócios, além de indicações de possibilidades de melhorias na produção. Ao mesmo tempo, o uso de informações recolhidas de produtores leva a debates, ainda em aberto, sobre privacidade de dados. Diferentes estratégias de apropriação do *big data* animam esse debate, que irá requerer, em algum momento próximo, um mínimo de regulação que permita conciliar-se interesses diversos. Além disso, outros fatores restringem a velocidade de adoção dessas tecnologias, como a idade dos produtores, os custos e as limitações de infraestrutura. No entanto, os ganhos de eficiência são relevantes. Os *softwares* de *big data* e a perspectiva de queda livre de preços de *drones* e sensores permitem combinar escalas de produção cada vez maiores, com o controle e o conhecimento íntimo do terreno – antes vistos como vantagens exclusivas da pequena produção. Em médio prazo, com a difusão da IoT, vislumbra-se uma agricultura controlada a distância, em que a presença física do técnico seria excepcional.

5.4 Onde estamos? Para onde vamos? As tecnologias relevantes nas empresas

Na maior parte das empresas brasileiras produtoras de bens intermediários, a intensidade de uso de tecnologias avançadas, especialmente as tecnologias digitais, ainda é baixa, mas há indícios de aumento para uma difusão moderada em 2022 e alta em 2027. No que se refere a setores específicos, o ano de 2027 indica a prevalência de uso intenso de tecnologias avançadas nas indústrias de alumínio, cimento, mineração e celulose, enquanto na siderurgia as expectativas são de uma adoção moderada. Apesar da posição ainda inicial em uma escala de maturidade (de estar atento à importância de utilizar tecnologias avançadas), as empresas acompanham de perto o que é feito em outros países, preocupam-se com a ampliação do hiato tecnológico e compreendem que é necessário acelerar os esforços nacionais. Essa trajetória das empresas brasileiras foi destacada no capítulo que analisou a digitalização da indústria brasileira e está alinhada com as referências internacionais. Nesse ambiente, no entanto, algumas empresas já possuem estratégias proativas, utilizando soluções de fronteira.

Por serem essas atividades intensivas em processos e capital, não deveria ser difícil e custoso às empresas empreender esforços de modernização digital. Para organizações com plantas mais antigas, como é o caso de várias refinarias de petróleo, essas soluções poderiam estender a vida útil dos equipamentos, aumentando a eficiência operacional. Para as plantas atualizadas, como é o caso de algumas empresas de celulose, as soluções digitais já estão incorporadas nos equipamentos.

Mesmo que essas inovações sejam incrementais e “otimizadoras”, no sentido de não virem a causar disrupções nos fatores-chave de competitividade e nas estruturas de mercado, os desafios no âmbito da gestão não são menores. Empresas que implementaram tecnologias avançadas tiveram que dar atenção e empreender processos de mudanças significativas no modo de organizar tarefas, no perfil de trabalhadores e na relação com fornecedores.

As lições comuns das empresas mais avançadas são relevantes. Todas elas partem da constatação da existência de muitos dados, pouca informação organizada e raras análises indutoras de ações voltadas para a promoção da eficiência, da qualidade e da segurança. Da mesma forma, para implementar a modernização digital é imprescindível a decisão vir do mais alto colegiado das empresas e haver o envolvimento direto dos principais executivos no planejamento, na implementação e no monitoramento de resultados. As mudanças na forma de comunicação interna (via *smartphones*, por exemplo) e o uso de equipamentos com sensores para assegurar procedimentos de segurança no trabalho ocasionam mudanças nas rotinas dos trabalhadores. Esses tiveram que passar por treinamento no uso de tecnologias digitais e a oferta de cursos nem sempre esteve disponível, demandando fortes interações com instituições de formação profissional, como o SENAI, que também apenas estavam iniciando esforços nessas direções.

As mudanças no relacionamento externo também são importantes. Ao implementar soluções para rastrear produtos (com o uso de localizadores de radiofrequência, por exemplo), foi necessário estabelecer novas bases de relacionamento com clientes. Empresas integradoras para modernização digital são um complemento importante para auxiliar na definição de padrões que surjam com rearranjos nas relações internas e externas. Na química, por exemplo, uma tendência a ser ainda capturada, talvez de forma mais expressiva nas especialidades, é que os impactos das transformações digitais vão além dos ganhos de eficiência operacional. As tecnologias digitais permitem melhorar a qualidade da utilização de produtos. Além disso, novos serviços podem ser oferecidos e, em alguns casos, a venda dos produtos pode ser convertida em prestação de serviços. A possibilidade de surgirem agentes com capacidade de organizar, estruturar e explorar dados sugere a entrada de competidores até então não pertencentes à cadeia produtiva da indústria química, como as *startups*.

O caso das *agritechs* brasileiras é emblemático. Em vários lugares do país, *startups* agrícolas estão surgindo e sendo objeto de ações públicas e privadas de promoção, na forma de *agrihubs*, com o fornecimento de infraestrutura e apoio para a transição entre as etapas de invenção e mercado. Destacam-se aí os ecossistemas de *startups* de Piracicaba e Mato Grosso. São centenas de empresas, a maior parte delas prestadora de serviços de informação para negócios baseados em aplicativos *on* e *off-line*, apontando para um problema sério na agricultura: o acesso adequado a redes de comunicação. Grandes empresas também estão se movendo. Alguns exemplos apontam para uma crescente sofisticação na oferta de tecnologias avançadas para os agronegócios.

A Totvs tem o robô Carol, cuja inteligência artificial fica à disposição na nuvem e acessível por meio de aplicativos iOS ou Android. Essa solução aplica *machine learning* aos dados, aprendendo sobre safras anteriores para aperfeiçoar suas recomendações. Os clientes da empresa incluem grandes produtores, como Bom Futuro, Amaggi, CGG e Granbio. A cooperação técnica entre IBM e Agrottools viabiliza a inteligência artificial a partir da plataforma Watson. A estratégia é oferecer serviços diferenciados para cada tipo de cliente. Já a Monsanto – agora Bayer – explora inteligência artificial em parceria com a Atomwise para avaliar potenciais aplicações de moléculas ao campo.

Outras transformações importantes na agricultura incluem a adoção de sistemas agrícolas de integração entre lavoura, pecuária e floresta (LPF) promovida pela EMBRAPA e incentivada por políticas de crédito de baixo carbono oriundas dos compromissos brasileiros nos acordos internacionais de mudanças climáticas. Calcula-se que 11,5 milhões de hectares no país já adotam variações desse sistema. Uma grande vantagem do modelo é o alinhamento à principal estratégia do setor de grãos: a verticalização agroindustrial e a transição da exportação para a transformação industrial em carnes e outros produtos. Por outro lado, o sistema é muito exigente em termos de gestão e esbarra na falta de mão de obra qualificada – problema central na transição para a agricultura de precisão no país.

Entre os produtores de bens intermediários, nas *commodities* agrícolas verificam-se maiores avanços em direção à geração, ao uso e à difusão de tecnologias avançadas. As empresas brasileiras já afirmaram sua competitividade internacional em um leque amplo de produtos – soja, milho, açúcar, suco de laranja, café, celulose, fumo, carnes. As indústrias a montante e imediatamente a jusante – todas líderes mundiais – já empregam e promovem tecnologias digitais e genéticas, e os grandes produtores agrícolas já incorporam, embora ainda de forma experimental, equipamentos com digitalização embarcada e insumos de biotecnologia genética para a agricultura.

As empresas estão avançando, mas também enfrentam desafios. A difusão de tecnologias avançadas depende da existência de uma nova geração de técnicos, com perfil de qualificação substantivamente distinto, com experiência e intimidade não só com as novas tecnologias, mas também com ferramentas de gestão. Os grandes produtores dispõem de internet em suas fazendas e mostram interesse em incorporar *big data analytics*. No entanto, falta acesso a redes de alta capacidade e velocidade, cruciais para a incorporação e a difusão de IoT. A resposta positiva e rápida dos grandes produtores sugere que a digitalização vai oferecer importantes incrementos em eficiência de custos e de produtividade, decorrentes de sua capacidade de gerenciar grandes empreendimentos com o controle minucioso característico da pequena produção. Nesse contexto, a difusão pela EMBRAPA de um modelo de integração entre lavoura, pecuária e floresta como o mais sustentável nos Cerrados pode enfrentar maiores obstáculos.

Para a agricultura de pequena escala, a projeção de queda exponencial de preços sugere que o acesso à tecnologia talvez não represente um obstáculo intransponível.

Os movimentos sociais e muitas associações que promovem a agricultura em pequena escala ou familiar desconfiam, no entanto, de tecnologias avançadas. Por outro lado, existem muitas experiências da promoção de cultivos digitalizados via sistemas de inovação aberta, adaptados a ecossistemas locais e à necessidade de preservação da privacidade dos produtores. Já há um grupo importante de produtores plenamente tecnificado; o problema maior não parece ser o acesso às tecnologias, mas as novas exigências de qualificação para o agricultor. Essa carência requer programas de extensão e assistência técnica de natureza distinta dos tradicionais programas do passado: a ênfase passa a ser a gestão, as soluções tecnológicas, o desenvolvimento de parcerias para implementá-las e os canais de financiamento adequados a esse novo cenário.

Nas agroindústrias vale um destaque para a produção de grãos no Cerrado. Vozes locais crescentes apontam para a necessidade de redirecionar o modelo agrícola nos Cerrados, que, em sua forma atual, pode não gerar condições inclusivas de desenvolvimento local e regional. Questiona-se em que medida o processo de digitalização do campo gera novos empregos complementares. Porém, o mais importante é o questionamento ambiental quanto aos impactos da agricultura de grãos sobre a biodiversidade dos Cerrados. Nessa ótica, a sustentabilidade pode passar a ser um vetor organizador da incorporação da digitalização no campo. As empresas do segmento têm competência comprovada e dependem de um mercado internacional cada vez mais exigente do ponto de vista ambiental, tendo condições, portanto, de aprimorar, em parceria com centros de pesquisa, suas fontes de competitividade sustentável. O maior risco à absorção dessa tecnologia, porém, é que seus ganhos de eficiência em custos e produtividade aprofundem o modelo atual em vez de se orientar em direção a práticas sustentáveis e estratégias para a geração de empregos e o desenvolvimento da dinâmica local/regional.

A indústria de celulose brasileira foi pioneira mundial não só na introdução de um novo insumo, o eucalipto, mas também na geração de inovações para o crescimento uniforme e rápido das árvores, reduzindo o tempo de rotação do capital e o uso de agrotóxicos nas plantações. Avanços em biotecnologia permitiram o desenvolvimento de eucaliptos geneticamente modificados: o primeiro uso comercial de um eucalipto desse tipo foi aprovado pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) em abril de 2015 para a empresa Futuragene, da Suzano, e permite a redução do tempo de maturação de sete para 5,5 anos. A biotecnologia também está presente nos processos: enzimas estão sendo desenvolvidas para substituir insumos químicos de modo a extrair uma celulose “limpa”; com isso, diminuem-se as emissões de CO₂, há economia no tratamento da água e o aumento da capacidade de geração de biocombustíveis.

Na siderurgia, podem ocorrer mudanças parciais nos modelos de negócios, derivadas das oportunidades geradas pelos avanços em materiais avançados, que se conectam também a inovações em nanotecnologia e AE: o avanço dos compósitos acirra a competição com sucedâneos, implicando melhoria do *mix* de produtos, como no desenvolvimento de ligas e compostos intermetálicos, assim como materiais magnéticos nanoestruturados.

No caso do alumínio, prevê-se o desenvolvimento de ligas mais leves e resistentes. Nesse setor e em cimento, a consolidação da tendência a empresas multimateriais será a direção da mudança no modelo de negócios. Na indústria de celulose, constata-se muitas oportunidades para aplicação de materiais nanoestruturados, como a nanocelulose, tanto na dimensão interna, no âmbito dos produtos do portfólio atual, quanto na externa, na forma de produtos inovadores que complementem a linha de produção atual.

É na mineração, porém, que o desenvolvimento e a difusão de materiais avançados ganham proeminência e têm o potencial de impulsionar novos setores. Trazem consigo a capacidade de reduzir peso e volume dos produtos, customizá-los às necessidades de cada equipamento, melhorar propriedades desejadas, aumentar sua vida útil e reduzir o consumo de materiais e energia. As novas ligas trazem grande benefício para os setores consumidores, reduzindo o consumo de energia, as emissões de gases do efeito estufa e os ruídos, além de aumentar segurança e durabilidade. Merece igualmente atenção o potencial das reservas brasileiras de quartzo de alta qualidade para a produção de células fotovoltaicas. Até 2027, acredita-se que as pesquisas já estarão mais maduras e a tecnologia mais difundida. No âmbito desses estudos, encontram-se as ligas nanoestruturadas à base de magnésio e os compostos à base de titânio e cromo, capazes de armazenar elevadas quantidades de hidrogênio. Na mesma situação estão as estruturas eletrônicas de nanotubos de nitreto de carbono e as microestruturas resistentes em silício.

5.5 Nossos desafios, riscos e oportunidades

Os principais desafios apontados pelas empresas produtoras de insumos intermediários para avançar relacionam-se aos ciclos dos mercados e do investimento. Por exemplo, no caso da siderurgia, o contexto é de um desequilíbrio estrutural entre capacidade instalada e demanda. No caso da celulose, mesmo com baixa ociosidade e o recente aumento dos preços internacionais, observa-se preocupação com a disciplina dos investimentos. No caso das *commodities* agrícolas, diante de uma demanda internacional ainda pujante, a disposição ao investimento é maior por parte dos principais exportadores.

Para a maioria dos produtores de bens intermediários, as novas tecnologias não implicarão transformações nos modelos de negócios. Nesse sentido, essas tecnologias são funcionais aos sistemas legados e ao parque de máquinas existentes, que têm longo ciclo de vida. Daí resultam, principalmente, aumentos de eficiência, qualidade, segurança e diminuição de emissões. Na mesma direção, o monitoramento *on-line* do comportamento dos equipamentos permite intervir de forma programada mediante a previsão de falhas, aumentando a disponibilidade e a confiabilidade dos parques de produção.

Portanto, a tendência forte é que as empresas produtoras de insumos intermediários acompanhem as melhores práticas produtivas e tecnológicas internacionais. Essa trajetória é factível para as empresas a montante das cadeias produtivas por duas razões complementares: (i) seus mercados, principalmente os internacionais, estão em crescimento e os preços de seus produtos são atrativos; e (ii) aí se localizam empresas de grande porte e elevada escala de produção (mesmo no caso da agricultura).

Isso significa que o investimento em novas tecnologias é uma necessidade competitiva e possui porte relativamente diminuto comparativamente a um investimento *greenfield*. As lições de empresas que já estão implementando a modernização digital são relevantes: são condições necessárias para o sucesso de empreitadas nessa direção o envolvimento direto da alta gestão e a atenção às mudanças nas rotinas de trabalho internas e no relacionamento externo. Com o envolvimento dos líderes empresariais, as empresas de insumos intermediários de grande porte deverão seguir o ritmo do progresso técnico mundial, com apoio dos seus ecossistemas produtivos e inovativos.

Em alguns nichos de mercado, como agricultura familiar e a jusante das cadeias de insumos, os desafios são de natureza distinta: as empresas médias e pequenas são tecnologicamente mais atrasadas, seus mercados podem não exercer pressões para a atualização tecnológica, o investimento em novas tecnologias pode ser significativo para os recursos disponíveis nas empresas e seus empreendedores podem não estar ainda informados do potencial de transformação que essas tecnologias podem trazer. Podem ser caminhos a serem trilhados com vistas a enfrentar os desafios existentes para os pequenos produtores, tanto a ampliação quanto a renovação das iniciativas de extensionismo, de forma que incorporem a gestão da tecnologia e da inovação, assim como o financiamento em condições especiais, tendo como contrapartida a adoção de novas tecnologias e a sustentabilidade ambiental.

Em certos ecossistemas, a situação é oposta: a indústria brasileira pode disputar a fronteira internacional. Na celulose, empresas empreendem esforços em biotecnologia avançada, seja em seus departamentos de P&D, seja em investimentos em empresas de base tecnológica, localizadas no Brasil e no exterior, e em cooperação com institutos de pesquisa públicos, como a EMBRAPA Agroenergia. Também avançam para empurrar a fronteira internacional da eficiência e da sustentabilidade ambiental, assim como para abrir novos mercados. O símbolo dessa transformação está na designação de sua associação como “Indústria Brasileira de Árvores”. O ecossistema da celulose é, pois, estruturado a partir de iniciativas empresariais, em parceria com o setor público.

Nos ecossistemas dos agronegócios, é grande a variedade de participantes e configurações. O sistema EMBRAPA, com mais de 2.400 doutores, é referência internacional de qualidade e capacidade de inovação. Outros atores relevantes são os institutos de pesquisa de governos estaduais e do governo federal, como o Centro de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM); empresas internacionais líderes; provedoras de

sementes e insumos químicos que contam com bases de pesquisa no país; e os centros de pesquisa de produtores de equipamentos, nacionais e estrangeiros, que desenvolvem soluções inovadoras em nível mundial. A emergência de centenas de *agritechs* de serviços digitais e de base biotecnológica está modificando as relações entre os elos das cadeias produtivas. As *traders* de produtos agrícolas estão introduzindo soluções digitais para a gestão de logística.

O Brasil é um dos cinco *hot spots* megadiversos do planeta, com centenas de milhares de espécies vegetais e animais e milhões de espécies de micro-organismos habitando áreas com solos pobres em nutrientes e sérias restrições hídricas. Interessantemente, a diversidade de espécies vegetais e animais é maior nesses ambientes secos e com solos pobres. Muito provavelmente, a diversidade microbiana desses ambientes interage com as plantas, possibilitando a aquisição de nutrientes e defesa contra patógenos. A genômica da biodiversidade brasileira, incluindo as plantas, os animais e a microbiota, é quase que totalmente desconhecida, e, assim, representa enorme oportunidade para a biotecnologia nacional. Porém, para avançar, é necessário renovar a base de pesquisas do país. O desafio é, a partir da base científica existente, implementar *pipelines* de P&D capazes de posicionar o país no mercado global de biotecnologia agrícola avançada. *Pipelines* operando em processos organizados envolvem equipes multidisciplinares com experiência em biologia molecular, genômica, bioinformática e ecofisiologia, entre outras disciplinas, para identificar potenciais genes-alvo e suas sequências reguladoras.

O EBP abre oportunidades para explorar fontes de informação genômica que poderão ser utilizadas diretamente, por meio da edição genômica, para a reconstrução alélica das grandes culturas, levando ao desenvolvimento de variedades mais eficientes na aquisição de nutrientes, maior eficiência fotossintética, maior eficiência na utilização da água e, sobretudo, maior tolerância a doenças e pragas. Por sua vez, o sequenciamento dos genomas das comunidades microbianas que habitam os diferentes órgãos das plantas e dos animais deverá criar oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos e processos relacionados à defesa das plantas contra patógenos e à saúde animal. O Brasil possui *expertise* em quantidade e qualidade para entrar de forma significativa nessa nova era da biotecnologia. Centros de sequenciamento genômico, como os da UNICAMP e da USP, poderão rapidamente aumentar a capacidade de geração de dados a baixo custo, podendo apoiar as necessidades para o país entrar nos grandes consórcios globais. A bioinformática brasileira já demonstrou sua força na realização do programa genoma da FAPESP e poderá ser rapidamente reagrupada. Entretanto, a participação em consórcios globais como o EBP não pode ficar exclusivamente limitada aos grupos de pesquisa das instituições acadêmicas. É fundamental criar mecanismos para a participação da iniciativa privada com investimentos diretos. A criação de *startups* com focos específicos para explorar as informações geradas pelo EBP é uma alternativa para alavancar aplicações industriais da biotecnologia avançada.



b

BENS DE CONSUMO: ENCURTAR DISTÂNCIAS DA FRONTEIRA PRODUTIVA PARA AUMENTAR A PRODUTIVIDADE

6.1 Quem são os produtores de bens de consumo?

Esse conjunto de atividades econômicas abrange produtores de grande variedade de bens industriais, incluindo bens duráveis, como automóveis e eletrodomésticos, e bens não duráveis, como alimentos processados, bebidas, artigos de higiene pessoal e de vestuário e calçados. Os focos setoriais selecionados foram veículos leves (do sistema produtivo automotivo); eletrodomésticos, têxtil, vestuário e calçados (do sistema produtivo bens de consumo); e alimentos processados (do sistema produtivo agroindústrias).

Os processos de fabricação desses bens têm características variadas. A produção de bens duráveis, como eletrodomésticos e automóveis, envolve sucessivas etapas de fabricação e posterior montagem de peças e componentes em grande escala, com elevado grau de automação e uso intensivo de equipamentos. No grupo dos não duráveis, a confecção e a fabricação de calçados são também processos de manufatura, porém são menos automatizados e demandam maior uso de mão de obra. Já os alimentos processados e os tecidos são produzidos em processos quase contínuos que apresentam elevada automação, grande escala e maior uso de equipamentos.

A despeito dessas diferenças, há características tecnológicas e concorrenciais comuns que aproximam os produtores de bens de consumo. Em primeiro lugar, a dinâmica da inovação está focada na criação de novos mercados, seja por meio do lançamento de novos produtos, seja pela renovação dos produtos existentes. A inovação do produto pela substituição de bens existentes ou pela incorporação de novas funcionalidades ou novo *design* é o principal vetor da competição. A diferenciação de produto com base em suas funcionalidades, *design*, embalagem, marca e publicidade, entre outras variáveis, é característica dos produtores de automóveis, de eletrodomésticos, de alimentos processados, de roupas e calçados.

O lançamento periódico de novos modelos em grandes eventos de *marketing*, antes restrito às coleções de confecções e calçados, é hoje generalizado entre os produtores de bens de consumo. A segmentação do mercado com base no estilo de vida e no nível de renda de grupos de consumidores é também parte essencial das estratégias de negócios nesses setores. As inovações de produto incorporam novos materiais

ou componentes desenvolvidos por fornecedores, mas o conhecimento acumulado sobre o perfil dos consumidores-alvo e sobre canais de distribuição é de domínio dos fabricantes de bens finais.

Em segundo lugar, em grande medida, os fabricantes de bens de consumo são receptores de inovações de processo desenvolvidas pelos seus fornecedores de insumos, equipamentos e serviços. Em alguns casos, trata-se de fornecedores especializados como os fabricantes de máquinas para indústria têxtil, para a indústria de confecções ou para a indústria de alimentos processados. Em outros, trata-se de fabricantes de equipamentos industriais de uso geral, como máquinas-ferramenta, braços mecânicos robotizados ou linhas de montagem. No caso de serviços, esses podem ser tanto provedores de soluções digitais (*softwares* de gestão) quanto prestadores de serviços técnicos especializados ou de inovação. Especializados ou não, os fornecedores de insumos, equipamentos e serviços intensivos em conhecimento são os difusores de inovações nas indústrias de bens de consumo.

O Brasil conta com um mercado consumidor de grandes dimensões, com forte presença de filiais de empresas globais, tanto em bens duráveis quanto em não duráveis. Em alguns segmentos, como na produção de automóveis, eletrodomésticos e eletroportáteis, as filiais de empresas globais são responsáveis pela quase totalidade da produção de bens finais e por parte significativa das peças e dos componentes. Em outros, como na produção de alimentos processados e de tecidos, há empresas nacionais de grande porte com atuação internacional. Empresas de capital nacional e de menor porte têm presença importante nas indústrias de vestuário e calçados e em alguns nichos de eletrodomésticos.

Para além da diversidade de produtos duráveis e não duráveis ofertados, no Brasil uma característica marcante dessas indústrias é a prevalência de forte heterogeneidade em termos de capacitação tecnológica e de competitividade das empresas dos diversos segmentos. Valem, no entanto, algumas considerações. Nas indústrias de bens duráveis, a qualidade dos produtos não deve para seus similares estrangeiros, quando qualidade é definida em função da adequação ao uso. Em termos de sofisticação tecnológica dos produtos, no entanto, uma proporção significativa dos bens ofertados ao mercado brasileiro não acompanha a fronteira internacional, sendo a demanda local – não expressiva em volume – suprida pelas importações. A cadeia de provedores, no entanto, possui características específicas nos distintos segmentos de duráveis; enquanto na indústria automobilística os fornecedores de primeiro nível têm capacidade equivalente às montadoras, ao longo das cadeias cresce a heterogeneidade, em paralelo à maior participação de empresas de menor porte.

Com relação às indústrias têxtil-vestuário-calçados, na base da cadeia têxtil estão presentes empresas de maior porte, com capacidade técnica e competitiva. Nos segmentos de vestuário e calçados, de modo geral prevalecem diferenças de capacitação e desempenho de acordo com o porte das empresas (devem ser

destacadas empresas de menor porte, operando em nichos de alto valor unitário que, inclusive, são *trend-setters* internacionais). Nos alimentos processados, as diferenças entre empresas também se dão por porte, mas aquelas de maior tamanho ainda não incorporam fortemente a agenda da saudabilidade, tais quais suas contrapartes internacionais, apesar de determinadas iniciativas isoladas de algumas empresas e associações de classe setoriais.

6.2 Qual a importância econômica dos bens de consumo e quais são os determinantes da inovação e da mudança tecnológica?

Três mudanças estão em aceleração e transformam o perfil da produção e da demanda mundial por bens e serviços de consumo:

- A primeira refere-se aos rápidos processos de industrialização e urbanização dos países asiáticos, notadamente a China, que deslocam a produção e permitem a entrada de novos concorrentes – a ascensão do que se denominou “classe média emergente”, na região asiática, mas também na América Latina, significou a incorporação de centenas de milhões de pessoas ao mapa do consumo mundial.
- A segunda é o aprofundamento da difusão de meios de comunicação, que disseminam global e instantaneamente imagens e mensagens que alimentam os desejos de consumidores.
- O terceiro conjunto de mudanças advém da elevação do nível de renda *per capita*, que praticamente universaliza o acesso a uma grande variedade de bens e, por consequência, potencializa a diferenciação de produtos como vetor importante da ampliação do mercado consumidor.

Os bens de consumo constituem a maior parte da oferta de bens finais da indústria mundial, e sua produção vem aumentando significativamente em quantidade e variedade. Os países asiáticos concentram a produção e a parcela relevante da demanda.

As mudanças no perfil do consumo ocorreram de forma concomitante com a transição para um novo regime internacional de comércio e de investimento promovida pela conclusão da Rodada Uruguai, em meados dos anos 1990. A maior permeabilidade dos mercados nacionais aos movimentos de mercadorias e de capitais promoveu transformações no mapa mundial da produção e do consumo – processo para o qual o sistema produtivo de bens de consumo foi palco importante.

Os fornecedores de bens de consumo têm ajustado suas estratégias a essa evolução, com impactos importantes para a estrutura de mercado e padrões de concorrência dominantes. Tanto os bens não duráveis quanto os duráveis passam por uma forte internacionalização de suas redes de produção e distribuição. Os produtores de bens

de consumo adotaram as CGVs como forma típica de organização de seus negócios no mundo. Assim, os principais atores comandam uma rede extensa e complexa de fornecedores, produtores e distribuidores espalhada por todo o mundo.

Naturalmente existem diferenças na forma de operação das cadeias globais do sistema produtivo de bens de consumo. No segmento de bens não duráveis de consumo, como na indústria têxtil, de vestuário e calçados, a cadeia de valor é comandada por empresas especializadas na gestão de marcas e de sistemas de comercialização, ou mesmo por empresas proprietárias de cadeias de varejo. Já no caso dos bens de consumo duráveis, como as indústrias produtoras de eletrodomésticos e de automóveis, a liderança é das empresas industriais.

As cadeias de valor articulam fornecedores de variados perfis, localizados em diversos países e submetidos à pressão permanente para reduzir custos e defender margens de lucro em um contexto de aceleração do ritmo da inovação e de encurtamento do ciclo de vida dos produtos. A disputa pela geração e captura de valor no interior das cadeias globais é acirrada.

O complexo automotivo é uma das indústrias mais poderosas e influentes do mundo. A indústria automotiva emprega 5% do total dos setores da indústria manufatureira, o que representa, aproximadamente, 9 milhões de empregos diretos em todo o mundo. Para cada emprego gerado diretamente por uma montadora, estima-se que são gerados mais cinco indiretos em outros setores relacionados à indústria, como siderúrgico, plástico, têxtil, de vidros etc. Em 2016, foram produzidos aproximadamente 95 milhões de veículos, um crescimento de 46% em relação a 2006. Em 2016, a China liderava a produção mundial de veículos, seguida pelos Estados Unidos, pelo Japão e pela Alemanha. Nesse mesmo ano, o Brasil era o décimo produtor mundial, com pouco mais de 2 milhões de unidades de veículos. Em 2015, as dez maiores montadoras foram responsáveis pela fabricação de 70% de todos os veículos produzidos.

No sistema automotivo brasileiro, o segmento de veículos leves é responsável por grande parte da produção e pela própria dinâmica do sistema. Paralelamente aos investimentos das montadoras estrangeiras no país, ocorreu a entrada de empresas internacionais fornecedoras de autopeças, como resultado de estratégias de plataformas mundiais, com a definição de fornecedores do tipo *global players* que, preferencialmente, devem seguir a montadora para onde quer que esta realize a produção. No período de 2005 a 2012, o sistema automotivo brasileiro passou por uma notável expansão, no que se refere a vendas, tornando-se um dos grandes mercados mundiais para veículos leves, embora distante das dimensões dos grandes mercados asiáticos.

A Ásia é a principal base mundial de fabricação de bens de consumo, concentrando cerca de dois terços da produção mundial de têxteis e vestuários e cerca de 80% da produção de calçados. Essa concentração justifica-se tanto pelo pujante mercado consumidor quanto por suas vantagens de custos de trabalho e logística. A participação

dos países desenvolvidos está concentrada nas atividades mais intensivas em tecnologias e de alto valor agregado.

A maior parte da produção do sistema produtivo de bens de consumo no Brasil tem origem em filiais de empresas estrangeiras no segmento de bens de consumo duráveis e empresas de capital nacional de grande porte, com inserção internacional, na indústria de vestuários e calçados. Neste último segmento também convivem empresas de menor porte, em geral de menor capacitação produtiva. Outra marca do sistema brasileiro é que a produção está majoritariamente destinada ao mercado interno. Nesse contexto de um mercado doméstico de grandes dimensões e uma base industrial sofisticada e heterogênea, o sistema produtivo brasileiro de bens de consumo é um caso *sui generis* relativamente autônomo e diferenciado com relação às CGVs.

A indústria de alimentos e bebidas destaca-se no setor manufatureiro, com uma participação de 10% a 30% do produto industrial, a depender do país. Globalmente, gera receitas da ordem de US\$ 4 trilhões e emprega 25 milhões de pessoas. O eixo da produção e da inovação está nos países industrializados, mas o crescimento de mercado desloca-se para países emergentes, em que também surgem empresas a caminho de tornarem-se *players* globais.

No Brasil, existe uma bifurcação nítida: de um lado, estão os agronegócios internacionalmente competitivos na produção primária de um grande leque de cadeias de *commodities*. De outro, está a indústria alimentar, que produz essencialmente para o mercado doméstico, com escassa capacidade de exportação, apesar da liderança de empresas globais. Calcula-se que, em 2015, as vendas da indústria de processamento, inclusive semiprocessados, chegaram a US\$ 225 bilhões; desse montante, US\$ 41,3 bilhões foram exportados e US\$ 173,8 bilhões foram consumidos domesticamente – dos quais US\$ 117,7 no varejo e US\$ 25,5 bilhões nos *foodservices*. O mercado doméstico é o sétimo maior do mundo e essencialmente autossuficiente, com a importante exceção do trigo e, em menor grau, dos lácteos. O crescimento do setor de fabricação de alimentos está condicionado pelas características socioeconômicas do Brasil. A desigualdade do nível de renda leva ao subaproveitamento do enorme potencial do mercado interno. As famílias brasileiras gastam, em média, 17,5% de sua renda em alimentação. Nos grupos socioeconomicamente mais baixos, a porcentagem é de 32,7% – quatro vezes a porcentagem gasta pelos grupos de maior renda. As exportações brasileiras de alimentos processados de primeira ou segunda transformação crescem lentamente *vis-à-vis* o segmento de *commodities* e os competidores internacionais.

6.3 Quais são as tecnologias relevantes e seus impactos potenciais?

As tecnologias de maior impacto potencial são aquelas que viabilizam novos produtos e novos modelos de negócios ou mudam radicalmente os existentes. Constatam-se impactos disruptivos desse tipo nas indústrias automobilística, de alimentos processados, de eletrodomésticos, de produtos têxteis e de confecções.

Existem, ademais, inovações que impactam fortemente os processos de fabricação e de gestão integrada da cadeia de valor. Os impactos mais intensos ocorrem nos processos de fabricação, com etapas sucessivas de produção e montagem de peças pela via da automação, resultando em: (i) eficiência produtiva, em termos da redução de perdas; (ii) flexibilidade para viabilizar a customização de produtos para segmentos de mercado específicos; e (iii) controle da gestão da cadeia de valor. Verificam-se impactos desse tipo na automobilística e nos eletrodomésticos, na confecção e na indústria de calçados. Na produção têxtil e de alimentos e bebidas, os impactos mais intensos ocorrem na gestão da cadeia de valor, uma vez que os processos já são quase contínuos e altamente automatizados, e o efeito sobre elas é relativamente menor.

O quadro 13 ilustra a intensidade dos impactos dos *clusters* tecnológicos sobre os diferentes produtores de bens de consumo aqui analisados. As inovações em cada um já se manifestam em todas as indústrias, e o impacto será crescente ao longo dos próximos anos. Poucas inovações, notadamente as relacionadas ao AE, não devem causar impactos disruptivos nesses sistemas e focos setoriais, com exceção da indústria automotiva, em particular veículos leves, cuja trajetória em direção à motorização elétrica está em franca construção. As novas biotecnologias (biologia sintética) já estão transformando modelos de negócio em alguns segmentos da indústria de alimentos processados, ao passo que os materiais avançados e a nanotecnologia, igualmente, estão afetando alguns produtores do complexo têxtil.

Quadro 13 – Clusters tecnológicos relevantes: alimentos, automotiva, eletrodomésticos e têxtil, vestuário e calçados

	ALIMENTOS PROCESSADOS	AUTOMOTIVA	ELETRODOMÉSTICOS	TÊXTEL, VESTUÁRIO E CALÇADOS
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	↗	↗	↗	↗
REDES DE COMUNICAÇÃO	↗	↗	↗	↗
INTERNET DAS COISAS	↗	→	↗	↗
PRODUÇÃO INTELIGENTE E CONECTADA	↗	↗	↗	↗
MATERIAIS AVANÇADOS	→	↗	↗	↑
NANOTECNOLOGIA	↗	↗	↗	↑
BIOTECNOLOGIA	↑			
ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	→	↑	→	→

NÃO SE APLICA

→ IMPACTO MODERADO EM 2017 E EM 2027

↗ IMPACTO POTENCIALMENTE DISRUPTIVO ATÉ 2027

↑ IMPACTO DISRUPTIVO EM 2017 E ATÉ 2027

Fonte: Elaboração I2027.

6.3.1 Automóveis

Todos os *clusters* tecnológicos impactam em algum grau o sistema produtivo automotivo. Os avanços em inteligência artificial, IoT e redes geram inovações nos produtos e também nos processos de fabricação (produção inteligente e conectada). Os desenvolvimentos em materiais avançados, nanotecnologia e AE viabilizam inovações de produtos.

Em até dez anos, os impactos disruptivos nos produtos mais importantes decorrerão dos avanços nas tecnologias de AE, IoT e redes. O desenvolvimento tecnológico desses *clusters* viabiliza inovações de produto que já impactam de forma visível as estratégias das empresas e a estrutura de mercado. O impacto disruptivo mais relevante é a mudança para a motorização elétrica dos veículos, em suas diversas vertentes – elétrico puro e híbrido –, além da crescente incorporação de TICs, que alteram perspectivas de apoio à condução, de lazer e de serviços no interior do veículo. Há ainda a possibilidade, mais remota em termos temporais e mais incerta quanto ao desenvolvimento comercial, de veículos autoguiados, ou seja, sem motoristas. A essas rupturas

somam-se potenciais mudanças importantes na forma de uso dos carros, com o avanço do compartilhamento e de restrições à circulação (veículos compartilhados).

Os processos de fabricação tendem a seguir a evolução geral da indústria mecânica em direção à produção inteligente e conectada – como automação, manufatura aditiva (impressão 3D), utilização de *big data* e de *machine learning*, conexão em rede, IoT. Tratam-se de avanços importantes, mas, de modo geral, essas ainda não configuram mudanças disruptivas tão intensas quanto a motorização elétrica.

Atualmente, a penetração dos veículos elétricos ainda é modesta, mesmo em países que adotaram políticas e medidas de incentivos: representa uma participação (*marketshare*) de 1,1% no mercado mundial. Há ainda as questões da aceitação dos consumidores e da infraestrutura necessária para a maior inserção dos veículos elétricos no mercado automotivo.

As principais barreiras para a difusão dos veículos elétricos estão relacionadas ao custo do veículo comparado aos custos totais (manutenção, combustível etc.), ao alcance e à infraestrutura de recarga e serviços. A aceitação do consumidor também é uma barreira. Além disso, há incertezas em relação à vida útil das baterias, uma vez que essas têm um número limitado de ciclos de carga e sofrem perda da capacidade com o aumento dos ciclos. Em termos de tecnologia, as grandes montadoras mundiais estão investindo em P&D e novas fábricas, inclusive em parcerias com empresas originárias de tecnologias de informação. O modelo de negócio para os veículos elétricos vai alterar a relação entre as montadoras e sua cadeia de suprimentos, mas a direção dessa reestruturação ainda não está clara.

O AE é o maior desafio tecnológico do setor, embora a trajetória pareça firme, se vista pelo ângulo da participação de modelos elétricos no portfólio de novos modelos de todas as montadoras e pela crescente regulação de países e cidades, que prevê a proibição de circulação de veículos leves a combustão interna.

6.3.2 Eletrodomésticos

A evolução das tecnologias associadas às mudanças no padrão de consumo, decorrentes da expansão da classe média, do envelhecimento populacional e da disseminação de novos estilos de vida, deverá provocar mudanças profundas no mercado de bens de consumo nos próximos anos.

Os *clusters* tecnológicos relevantes para o sistema produtivo de bens de consumo são: materiais avançados, inteligência artificial, produção inteligente e conectada, redes de comunicação, IoT, nanotecnologia e AE. As tecnologias de materiais avançados terão impactos disruptivos, pela substituição de componentes metálicos e plásticos, permitindo o desenvolvimento de eletrodomésticos e portáteis mais leves e resistentes.

Tratam-se, portanto, de inovações de produto com elevado valor agregado e preços *premium*. As tecnologias de inteligência artificial terão forte impacto, e as oportunidades englobam desde o desenvolvimento de robôs domésticos até a incorporação de inteligência artificial em equipamentos domésticos tradicionais, por exemplo, em eletrodomésticos inteligentes com reconhecimento de voz e processamento de linguagem natural. Esse impacto se refletirá na criação de novos mercados consumidores, no surgimento de novos modelos de negócios, no questionamento de vantagens estabelecidas associadas à posse de ativos de comercialização e distribuição, e na transformação e na criação de produtos. Além disso, as tecnologias de inteligência artificial também deverão impactar o mercado de varejo, particularmente nos sistemas de busca virtual, identificando os padrões de compra e comportamento individual dos consumidores.

A produção inteligente e conectada terá impactos relacionados às tecnologias de: (i) digitalização, permitindo o aumento da capacidade de interação entre máquinas, com a acumulação de dados e o aprendizado por parte dessas, permitindo a virtualização e a otimização abrangente da gestão; (ii) inteligência competitiva voltada aos consumidores, à gestão da cadeia de distribuição e ao varejo; (iii) manufatura aditiva; e (iv) desenvolvimento de produtos por tecnologias de virtualização, principalmente na fabricação de produtos personalizados. As mudanças associadas a tais tecnologias deverão produzir impactos significativos sobre a produtividade das empresas, de forma a reduzir o *lead time* no desenvolvimento de produtos e maior capacidade de atender a demandas específicas e personalizadas dos consumidores.

As tecnologias de redes, conjugadas com a IoT e o sensoriamento remoto, permitirão o acompanhamento do ciclo de vida dos bens de consumo duráveis, com efeitos positivos sobre a manutenção preditiva e a incorporação de novos atributos e funcionalidades ao consumidor por meio de aplicativos remotos. No segmento de bens de consumo não duráveis, as tecnologias de rede viabilizarão a adoção de novos usos e aplicações em áreas esportivas e de saúde – inclusive com a incorporação de tecnologias assistivas – em roupas e calçados dotados de sensores. Além disso, as tecnologias de rede conjugadas com as de inteligência artificial, IoT e produção inteligente e conectada produzirão impactos transformadores sobre os processos produtivos do sistema, que poderão se refletir em novos modelos de negócios que aproximem a indústria do consumidor final e impactos potenciais em toda a cadeia produtiva.

Os principais avanços da incorporação de IoT estarão ligados à capacidade de sensoriamento e monitoramento de produtos. No caso dos eletrodomésticos, essas tecnologias permitirão a incorporação de novos atributos aos produtos e serviços ao consumidor.

As tecnologias de AE produzirão impactos menores nesse sistema em comparação ao sistema automotivo, por exemplo. Contudo, a difusão de robôs domésticos, inteligentes e com alta mobilidade demandará soluções integradas em termos de AE.

6.3.3 Produtos têxteis, de vestuário e calçados

Na indústria têxtil e de vestuários destacam-se como principais tendências a passagem de um sistema de produção e operações baseado na customização em massa para a personalização dos produtos; a preocupação com a eficiência da operação de manufatura, que leva à incorporação de sistemas de baixo uso de energia e água; e a eliminação de diversos custos típicos da operação, como os relacionados ao estoque de produtos acabados, ao desenvolvimento de produtos com meses de antecedência e à logística e distribuição.

São esperadas inovações importantes de produto a partir da incorporação de materiais morfologicamente alterados, com incorporação de sensores e nanopartículas capazes de conferir propriedades funcionais aos tecidos – por exemplo, tecidos com nanocelulose e sintéticos funcionais combinados com biopolímeros, além de tecidos com capacidade de bloqueio da radiação ultravioleta, atividade fungicida e bactericida, repelência de insetos, liberação de medicamentos e autolimpeza.

Haverá também impactos da nanotecnologia, envolvendo a crescente incorporação de atributos e funcionalidades aos produtos com efeitos importantes sobre o padrão competitivo do setor. Vale destacar que esse segmento já é um usuário importante de soluções nanotecnológicas em tecidos técnicos, mas sua aplicação poderá ser estendida a outros produtos, como confecções e calçados. As tecnologias de AE produzirão impactos menores com o uso crescente de sensores nos *wearables*. As principais potencialidades da biotecnologia estão concentradas em futuras aplicações em biotecidos, biofibras e bioroupas em um horizonte de tempo mais dilatado.

A produção inteligente e conectada produzirá impactos, também nesse caso, relacionados às tecnologias de digitalização da gestão, fabricação e da distribuição. As mudanças associadas a tais tecnologias deverão produzir impactos significativos sobre a produtividade das empresas, de forma a reduzir o *lead time* no desenvolvimento de produtos e maior capacidade de atender a demandas específicas e personalizadas dos consumidores.

No varejo, essas tecnologias também permitem eliminar os custos de desenvolvimento de protótipos e produção mínima aumentando a flexibilidade para as empresas, viabilizando a produção de artigos de alto valor e pequeno volume e o varejo multi-canal. Além disso, as tecnologias de inteligência artificial também deverão impactar o mercado de varejo, particularmente nos sistemas de busca virtual, permitindo a difusão de recomendações de compra personalizadas e o surgimento de sistemas de compras de artigos de vestuário personalizados.

6.3.4 Alimentos processados

O desafio para a indústria alimentar é desenvolver produtos sem ingredientes e aditivos e/ou a substituição de insumos como açúcar, óleo, sal, ou mesmo produtos que passam por várias etapas de processamento. A trajetória em curso é incorporar ingredientes e insumos biológicos que permitam soluções pró-saudabilidade. Da nova biotecnologia podem surgir inovações relevantes. A aplicação da nova biotecnologia à fabricação de alimentos define-se como o uso de células vivas – ou parte delas – para produzir ou modificar alimentos e ingredientes alimentícios. Por exemplo, a biologia sintética está transformando as tecnologias de fermentação que viabilizam a reprodução de sabores, fragrâncias e óleos naturais em concorrência direta com a agricultura. O mesmo ocorre na busca por alternativas para ingredientes e aditivos tradicionais, como açúcar, sal e gorduras trans.

Os avanços na genética passam cada vez mais pela integração com a computação de alto desempenho, o *big data* e a inteligência artificial, que viabilizam técnicas de edição de genes (CRISPR/Cas9), que ampliam as possibilidades de identificação e o controle da expressão de características genéticas sem implicar transferências interespecies. Assim como na farmacêutica, essa combinação aumenta a velocidade e diminui o tempo de geração de novos produtos. Essas técnicas, de baixo custo e sem barreiras à entrada ou de regulação, foram desenvolvidas no âmbito universitário, e até o momento não passam por apropriação excludente pelas empresas líderes.

Muitas das aplicações da biotecnologia ao setor de alimentos são geradas por indústrias e serviços de apoio. Por exemplo, a produção de ingredientes como enzimas depende frequentemente de empresas químicas, e a inovação no processamento está relacionada às consultorias de engenharia. Empresas de embalagem alimentar também adotam processos da biotecnologia para produzir embalagens que informam a perecibilidade do alimento. Ao mesmo tempo e de modo crescente, empresas de alimentos e bebidas passam a investir, elas mesmas, em biologia sintética, pelo papel estratégico que esta base de conhecimento adquire. As grandes empresas diversificam seus centros de pesquisa na direção das novas biotecnologias ou se associam e mesmo adquirem empresas especializadas de base tecnológica. A Cargill, por exemplo, adquiriu a Memphis Meat, empresa que pretende produzir proteína animal a partir de tecnologias de reprodução de células.

A adoção de tecnologias digitais confere flexibilidade à firma e contribui para a obtenção de produtos de maior qualidade, que aumentam sua competitividade. A rastreabilidade de produtos, essencial para garantir segurança alimentar e aumentar a confiabilidade de produtores, só é possível pela adoção de tecnologias digitais conectadas em toda a cadeia. Por exemplo, redes de comunicação eficientes e de alto desempenho são essenciais para a coordenação eficiente entre empresas agrícolas, alimentares, varejo e mesmo o consumidor.

Como as soluções tecnológicas são geradas por fornecedores especializados, as empresas de alimentos inovadoras dependem do investimento em *inputs* como maquinaria, *software* e equipamentos. Como a diferenciação é o fator-chave da competitividade nesta indústria, a adoção de tecnologias digitais está associada à melhoria da qualidade do produto, o que pode implicar, inclusive, a reorganização das relações com fornecedores e clientes e a mudança organizacional nas empresas. O mesmo ocorre com a utilização de IoT. Na fábrica, a IoT pode ajudar a reduzir custos de manutenção, ao detectar os problemas antes que estes ocorram.

O sistema da cozinha inteligente (*smart kitchen*) é outra aplicação da IoT que permite inventariar os alimentos armazenados em casa, adotar medidas de controle da dieta, preparar a comida a distância e avaliar se os produtos estão válidos, ajudando o consumidor a aferir a segurança antes de consumir. As cadeias virtuais de fornecimento que usam IoT constituem um aprimoramento dos sistemas de rastreabilidade dos alimentos. Nelas, numerosas indústrias e serviços podem convergir para gerar a tecnologia e colocar o sistema em funcionamento: o setor de alimentos, os setores de atacado e varejo, o setor de serviços – incluídos bancos, companhias de seguros e autoridades públicas –, as indústrias de TIC, os operadores da nuvem e os serviços de *software*.

6.4 Onde estamos? Para onde vamos? Tecnologias relevantes nas empresas

Ao contrário do que ocorre em indústrias de processo contínuo, que são intensivas em capital, na maioria dos sistemas produtivos de bens de consumo o investimento em novas tecnologias representa quase que a totalidade do investimento em novas instalações. Isso significa que essas novas tecnologias somente difundirão em larga escala quando ocorrer uma onda de investimentos em nova capacidade produtiva. Empresas líderes e associações das indústrias de bens de consumo no Brasil têm consciência da profundidade das transformações potenciais das novas tecnologias em seus setores. Contudo, a elevada heterogeneidade dos produtores brasileiros deve condicionar o processo de desenvolvimento e adoção das novas tecnologias. A diferença em termos de capacidade competitiva dentro de uma mesma indústria, em grande medida, pode ser definida pelo tamanho das empresas: as de maior porte possuem maior capacidade competitiva, e as de menor porte, menor capacidade.

A disseminação das inovações de produtos, de processos e de modelos de negócio tende a ser desigual e impactará inicialmente os fabricantes voltados para consumidores de renda alta e nichos de mercado especializados, como o de automóveis de luxo, eletrodomésticos sofisticados, alimentos funcionais ou *wearables* em roupas e calçados esportivos. Nos segmentos de mercado de consumo de massa e para os produtores de menor porte, o processo de difusão de novas tecnologias deverá ser

mais demorado e limitado. Nesses segmentos, a demanda é menos exigente e as empresas têm menos recursos (financeiros e humanos) para fazer frente aos investimentos associados. É previsível a convivência de instalações, produtos e modelos de negócios de gerações diferentes. Essa tendência é fortalecida pelo perfil da distribuição de renda da população, que permite a coexistência de estilos de vida e padrões de consumo bastante diferentes.

Nos bens de consumo duráveis, o mercado brasileiro conta com um grande grupo de consumidores de alto poder aquisitivo que deve viabilizar, em médio prazo, a produção local de eletrodomésticos inteligentes e conectados e de automóveis com motores híbridos (que, no entanto, podem ser importados no princípio). No longo prazo, a universalização do consumo desses bens somente será viabilizada pela redução de preços ou pelo surgimento de novos modelos de negócios que os associem à prestação de serviços. Os fabricantes, quase que na sua totalidade filiais de empresas globais, deverão atualizar progressivamente suas instalações com a incorporação de equipamentos inteligentes, inicialmente em segmentos isolados das operações e progressivamente conectados e integrados em rede, evoluindo rumo à produção inteligente e conectada, seguindo trajetória das respectivas matrizes.

O impacto efetivo das novas tecnologias na produção de bens duráveis no Brasil dependerá das estratégias dos produtores de bens finais em relação aos novos produtos e da capacidade dos fornecedores locais de peças e componentes de aumentar sua produtividade incorporando os novos processos de fabricação. O elo frágil na produção de bens duráveis é o fornecimento de peças e componentes, em grande medida suprido por importações ou por empresas de menor porte. Inovações radicais nos produtos finais e nos novos processos de fabricação podem fragilizar ainda mais os fornecedores locais de peças e componentes, e substituir o suprimento local por importações. O ativismo das filiais estrangeiras fabricantes de bens finais, no desenvolvimento dos novos bens de consumo inteligentes e conectados, e seu engajamento efetivo nos processos de inovação das corporações globais, potencializam as oportunidades de modernização dos fornecedores locais de peças e componentes. Em contrapartida, estratégias passivas dos fabricantes de bens finais, de adoção defasada de novos produtos desenvolvidos pela matriz com mínima contribuição da filial local, potencializam a importação de componentes e desestimulam a modernização dos fornecedores locais.

Na indústria automobilística, as montadoras radicadas no Brasil possuem boa engenharia de veículos focada em projeto de derivativos a partir de plataformas de motor, câmbio e suspensão, projetados centralmente nos países de origem das montadoras. No entanto, os investimentos em inovação são relativamente modestos; por exemplo, não há pesquisa ou engenharia de veículos híbridos ou elétricos puros nas montadoras brasileiras. Entretanto, há exceções, ainda que tímidas. Algumas empresas, utilizando a regulação do setor elétrico, realizam projetos de P&D por meio do programa

de P&D da ANEEL. Há exemplos de maior ativismo: a WEG, fabricante de motores elétricos, construiu aliança com a MAN para desenvolver projeto de caminhão e ônibus elétrico. Em contrapartida, os fabricantes nacionais de baterias, por exemplo, não se movimentam rumo a baterias condizentes com a eletrificação veicular, mantendo-se na tradicional bateria chumbo-ácido.

Nesse contexto, a perspectiva mais provável para os veículos produzidos e vendidos no Brasil é a mudança incremental via maior absorção de eletrônica embarcada; via introdução de motores a combustão mais eficientes projetados no exterior (três cilindros, turbo etc.); ou via algum aumento de carros híbridos importados ou eventualmente montados localmente. Os híbridos contornam o problema da difusão da infraestrutura de carregamento, podendo vir a difundir-se mais rapidamente do que os elétricos não híbridos. O aumento de eletrônica embarcada tende a levar ao aumento das importações no segmento, pois a estrutura industrial brasileira é débil em fabricação de componentes eletrônicos mais avançados.

Trata-se de um processo de inovação de tipo incremental que, em termos relativos, não aproveita o potencial da mudança tecnológica de induzir o aumento da competitividade da indústria automobilística e de seus fornecedores. Iniciativas mais inovadoras dos fabricantes de bens finais poderiam induzir saltos significativos de competitividade e de produtividade ao longo da cadeia produtiva. Dois exemplos ilustrativos da importância das estratégias de inovação são o caso de fabricante originalmente de autopeças que diversifica para prover *devices* eletrônicos para múltiplos usos (Bosch), e o caso do fabricante de eletrodomésticos de linha branca (Whirlpool) que desenvolve no Brasil atividades de P&D em compressores, como parte de sua estratégia de inovação e de competitividade global em produtos finais.

Nos bens não duráveis de consumo há oportunidades para aumentar a competitividade e recuperar espaço no mercado doméstico e internacional. Tanto nas indústrias têxtil, de confecções e de calçados quanto em alimentos processados, a disseminação das novas tecnologias pode ter impactos dinamizadores e positivos.

Nas indústrias têxtil, de confecções e de calçados o quadro é bastante heterogêneo. Coexistem grandes empresas com processos intensivos em capital com produtores de menor porte que utilizam extensivamente mão de obra, principalmente nas confecções. O Brasil importa fibras e tecidos sintéticos, cada vez mais utilizados no vestuário e nos calçados, e tem perdido participação nas exportações mundiais, inclusive na região. Escala e custo do trabalho têm sido obstáculos para o aumento da competitividade nos bens finais de calçados e confecções.

As novas tecnologias têm o potencial de alterar positivamente as condições de competitividade na produção brasileira em duas direções. Primeiro, como essas inovações podem ser introduzidas de modo incremental (sensores e inteligência artificial podem ser introduzidos máquina a máquina), cai a importância das economias de

escala. Segundo, a automação de base digital confere flexibilidade aos processos, viabilizando a customização de produtos e aumentando a velocidade de resposta a mudanças no varejo. O estágio de evolução em que se encontram as novas tecnologias impõe que o ritmo das mudanças dependa, principalmente, da capacidade dos produtores de testar novos modelos de negócios, com estratégias ativas de inovação, buscando alternativas aos fornecedores tradicionais, principalmente no provimento de soluções de digitalização.

Para empresas de menor porte, as dificuldades de adoção e disseminação de novas tecnologias podem estar associadas ao desconhecimento e à limitação de recursos de muitos fabricantes. Na falta de um processo de ampla difusão de novas práticas e possibilidades de acesso, a baixo custo, para consultores e provedores especializados, o quadro previsível é de disseminação da difusão restrita a uma parcela dos produtores, o que pode implicar mudanças nas estruturas de mercado, com o desaparecimento de muitas empresas e a destruição de patrimônio e empregos.

A indústria de alimentos processados é o elo mais fraco do sistema agroalimentar do país, apesar da forte presença das empresas globais. Direcionada ao mercado doméstico e pouco integrada nas cadeias globais, a competitividade da maior parte das empresas brasileiras ainda é limitada *vis-à-vis* melhores práticas internacionais. A inovação é de natureza essencialmente imitativa e, em grande parte, reduzida à compra de insumos e maquinaria, muitas vezes via importações. No entanto, esse quadro geral pode ser modificado. As líderes nacionais e globais dispõem de importantes capacidades de pesquisa no país, inclusive nos *clusters* geradores de tecnologias disruptivas. Dois dos segmentos avançados da indústria alimentar brasileira são o de bebidas e o de pratos prontos, nos quais se destacam empresas com ambições de consolidar posição competitiva, inclusive nas exportações. Empresas como ABInBev, BRF, Mondalez, Ingredion e Duas Rodas avançam na aplicação de IoT, inteligência artificial e *big data analytics*. Suas linhas de investigação convergem com as prioridades das líderes globais: redução ou eliminação de sal e açúcar sem perda de textura e sabor, e desenvolvimento de novos ingredientes, aromas e sabores. Empenham-se também no *marketing* digital, ao automatizar a integração de suas operações de produção, promoção e vendas e inserir-se nas redes sociais. Mesmo empresas de menor porte notabilizam-se por atividades avançadas na criação de ingredientes alimentares e outros produtos biotecnológicos.

De todos os elos da cadeia agroalimentar, o varejo e os *foodservices* serão os mais transformados pelo mundo digital no curto e no médio prazos. O setor no Brasil é dominado por líderes mundiais – Pão de Açúcar/Casino, Carrefour e Walmart –, que consolidaram capacidade de usar tecnologias digitais na organização da cadeia de suprimentos e na articulação e fidelização da demanda. No país, mesmo com todas as transformações e turbulências das primeiras décadas do milênio, o mundo digital torna-se cada vez mais o *modus operandi* do varejo.

A expansão dos serviços de marca – seja por via orgânica, seja via *franchising* – aumenta a demanda por padronização da produção, dando origem a um mercado de insumos alimentares que já se tornou chave para a indústria alimentar na Europa e nos Estados Unidos. Mesmo tendo que se adaptar a novos critérios, representa uma importante oportunidade de crescimento para a indústria alimentar, ao mesmo tempo em que exige uma logística fina, para a qual a rastreabilidade e a IoT serão decisivas.

A valorização dos alimentos frescos abre espaço para produtores de menor porte, o que, por sua vez, estimula a produção agrícola local, cuja expressão mais clara é a multiplicação de mercados de produtores. Novos modelos de negócios associados à diferenciação de produtos (alimentos orgânicos, alimentos funcionais, alimentos naturais etc.) também oferecem oportunidades para novos entrantes.

6.5 Nossos desafios, riscos e oportunidades

6.5.1 Em comum

Os produtores de bens de consumo apresentam ampla diversidade de cadeias de valor, processos, produtos e mercados, assim como grandes diferenças em termos de porte, origem de capital e capacidade competitiva. Em comum, eles estão direcionados especialmente para o mercado doméstico. As tecnologias integradas, conectadas e inteligentes, relevantes para os produtores de bens de consumo – aquelas associadas às tecnologias digitais, os materiais avançados e, em alguns segmentos, o AE, a nanotecnologia e as biotecnologias avançadas –, constituem oportunidades, mas – e principalmente – também constituem desafios para a indústria brasileira.

São oportunidades porque as soluções tecnológicas não necessariamente são implementadas em plataformas completas, da geração digital ou biotecnológica mais avançada. Não necessariamente a geração digital mais avançada pode e deve ser a solução a ser adotada, com reflexos positivos para a posição competitiva da empresa. E, mesmo que o investimento em novas tecnologias represente uma proporção significativa do investimento total, estão disponíveis soluções localizadas e que podem ser objeto de cálculos de retorno relativamente simples. Ao mesmo tempo, também estão disponíveis soluções completas, até o limite do investimento em uma fábrica digital gêmea. Porém, em todos os casos, a introdução de novas tecnologias implica mudanças organizacionais significativas.

São também desafios na medida em que o investimento em novas tecnologias demanda conhecimento sobre tecnologias e recursos, além de disposição ao investimento e muito esforço em aprendizagem por parte dos empresários. Para aproveitar as oportunidades abertas pelas novas tecnologias, evitando que riscos potenciais se materializem, o investimento em inovação deve ser prioridade nas decisões e no

cotidiano do empresário. Não é sustentável, do ponto de vista do negócio, uma trajetória tímida de adoção das novas tecnologias. Em termos da inserção da empresa na indústria e seus reflexos, atitudes dessa natureza fragilizam a inserção internacional do país e desestruturam cadeias produtivas locais.

As empresas líderes têm um papel estratégico a ocupar: elas possuem recursos, estão ligadas a melhores práticas internacionais e podem engajar-se no ecossistema brasileiro e nas redes globais de inovação. Isso resultaria na adoção de novos processos produtivos e em saltos de produtividade, e um melhor posicionamento da produção brasileira no cenário global. As empresas estrangeiras que contam com filiais no Brasil e as grandes empresas de capital nacional com presença no exterior são as candidatas naturais a liderar o desenvolvimento e a adoção de inovações. Esse grupo é tradicionalmente o canal transmissor das novidades tecnológicas e mercadológicas do mundo para o Brasil, e suas estratégias de inovação tendem a ter efeitos de transbordamento para o conjunto da cadeia. Devem, portanto, ser incentivadas a incrementar suas atividades de P&D no país. Fortalecer os vínculos entre empresas e instituições de C&T para o adensamento do ecossistema de inovação proporcionará acesso a conhecimentos mais próximos da fronteira tecnológica, com efeitos positivos sobre a difusão das tecnologias disruptivas. O papel das *startups*, especialmente as *spin-offs* de instituições de pesquisa, será importante nesse processo.

Porém, é necessário ir além. O fortalecimento da indústria brasileira requer acelerar e ampliar a disseminação das inovações para além do grupo de empresas líderes, de modo que os ganhos de produtividade espalhem-se mais amplamente pela estrutura produtiva. É necessário que o maior número possível de empresas aproxime-se da fronteira das melhores práticas produtivas internacionais. Mesmo que o grupo empresarial opere em nichos de mercado, de baixo poder aquisitivo, e não demande padrões de qualidade à semelhança de grupos sociais mais exigentes, ele pode sofrer a ameaça de concorrentes que, ao adotarem novas tecnologias, passem a oferecer produtos melhores a preços mais competitivos. Essas ameaças também foram apontadas para as empresas farmacêuticas especializadas em genéricos, que irão enfrentar a concorrência dos ofertantes de produtos de baixo custo, mas mais adequados a perfis específicos de pacientes.

As novas tecnologias não devem se difundir apenas entre os produtores de bens e serviços finais. É necessário que a adoção atinja o fornecimento de peças e componentes, atualmente o elo mais frágil na produção de bens de consumo. Deve atingir igualmente a produção de bens finais com custo de trabalho relativamente elevado em relação aos concorrentes estrangeiros, para elevar a produtividade. A difusão de informações sobre as melhores práticas utilizadas pelos concorrentes é, aqui, indispensável. Empresas de base tecnológica, especialmente as *startups*, têm contribuição relevante a dar, já que conhecem como poucos o ambiente local e os desafios enfrentados pelas empresas, e podem desenvolver soluções inovadoras e modelos de

negócios adequados para o grupo com o qual se relacionam de modo próximo. Suas competências são complementares às das empresas líderes, e elas constituem um canal de difusão de inovações para os fabricantes com menor capacidade autônoma de desenvolvimento de inovações.

6.5.2 Específicos

Tanto no setor automobilístico quanto no de eletrodomésticos é importante aumentar fortemente a produtividade dos fornecedores de peças e componentes para evitar a desestruturação da cadeia local de suprimentos. A disseminação da produção inteligente e conectada é a oportunidade para fortalecer a competitividade da indústria brasileira.

Na automobilística, o isolamento do Brasil em relação à adoção de tecnologia de *powertrain* pode gerar eventuais perdas de oportunidades associadas à demanda de consumidores por veículos com diferentes tecnologias. Esse isolamento poderia levar à diminuição do número de *players* no mercado brasileiro, com a consequente redução de investimentos e da escala de produção no país. Por sua vez, a adoção do híbrido *flex* poderia deixar o mercado brasileiro próximo das tendências de eletrificação, e, assim, criar oportunidades no desenvolvimento de tecnologias e produções locais: o país pode ser pioneiro deste modelo. A adoção do híbrido, além de atenuar o isolamento com as tendências de eletrificação, é uma decisão interessante do ponto de vista do risco do investimento, *vis-à-vis* o veículo puramente elétrico que parece estar se desenvolvendo (técnica e financeiramente) em uma velocidade maior que a prevista.

O desenvolvimento de motores elétricos para veículos pesados constitui uma oportunidade para o país. O Brasil conta com vantagens para o desenvolvimento de ônibus e caminhões elétricos e híbridos: um mercado potencial relevante, uma cadeia de produção instalada e tecnologias desenvolvidas localmente. O desenvolvimento desses veículos deve mirar não apenas o mercado doméstico, mas também o mercado externo, com vistas a garantir escala e escopo que assegurem sua competitividade. Políticas públicas e regulações em outros países devem impulsionar esse mercado, criando demanda para a adoção desses veículos, o que constitui uma oportunidade única para a indústria brasileira, já exportadora e competitiva.

O principal desafio na indústria de têxtil, de confecção e de calçados no Brasil advém da baixa taxa de inovação. Frente ao processo de difusão de novas tecnologias já em curso entre concorrentes da indústria brasileira, realizar investimentos em atividades inovadoras em geral e em engenharia de processos é questão de sobrevivência competitiva.

Na indústria de confecções e de calçados também estão presentes oportunidades para o país se reposicionar no mercado mundial no médio prazo. A adoção de tecnologias digitais, inclusive de gerações que não estejam na fronteira, pode levar a uma melhoria qualitativa da sua produtividade e competitividade.

Em paralelo, para as empresas mais capacitadas, há oportunidades no desenvolvimento de tecidos inteligentes e têxteis técnicos. Nesse segmento, a convergência das transformações em processos, insumos e produtos finais resultará na reorganização da cadeia de valor. A materialização desse potencial disruptivo, porém, dependerá da capacidade empresarial para implantar novos modelos de negócios, muito mais intensivos em tecnologia e em inovação. Para isso, torna-se essencial: (i) investir em soluções digitais para a modernização de equipamentos existentes (*retrofit* digital) ou investir em novas gerações que já incorporem novas tecnologias; (ii) buscar conhecimento e associar-se com institutos de pesquisa existentes (por exemplo, CETIQT) para usar novos insumos no desenvolvimento de produtos e suas funcionalidades; e (iii) investir em soluções capazes de ligar *on-line* e gerir o relacionamento com fornecedores e clientes. Como foi demonstrado na análise do processo de difusão de tecnologias digitais (capítulo 2), essas são duas funções organizacionais nas quais executivos das empresas industriais brasileiras apontam maior probabilidade de difusão das tecnologias digitais no futuro próximo.

Um importante desafio para a indústria de alimentos advém das implicações potencialmente negativas dos alimentos que passam por várias etapas de processamento – inclusive o segmento mais competitivo de pratos prontos –, vistos como uma das principais causas de obesidade e doenças associadas. O Ministério da Saúde estima que mais da metade da população brasileira apresenta sobrepeso e 20% dos brasileiros sofrem de obesidade. A indústria já está empenhada em eliminar os ingredientes que são alvo de críticas e desenvolve novos componentes a partir de recursos de *big data* e avanços nas técnicas genéticas.

O esforço de P&D próprio ou em colaboração leva a indústria alimentar à utilização das técnicas avançadas de biotecnologia e biologia sintética. A vantagem, do ponto de vista da pesquisa, é que até agora nem as novas técnicas (CRISPR/Cas9) nem a área de biologia sintética são objetos de regulação pública. As organizações da sociedade civil, porém, já têm na mira essas novas fronteiras tecnológicas, e algumas empresas que são ícones do setor já se posicionaram contrariamente. Não parece provável, portanto, que o lançamento de produtos baseados nessas tecnologias passe despercebido. Frente ao risco de essas tecnologias serem vistas como uma extensão da engenharia genética, será necessário estabelecer protocolos claros para a produção e a circulação de componentes nos laboratórios, bem como uma cuidadosa campanha pública de esclarecimento. Assim, a indústria precisa iniciar ou se envolver em discussões sobre sua regulação.

A indústria alimentar vai transitar para uma trajetória de saudabilidade, que demanda o desenvolvimento de novos conceitos de processamento. Confiar apenas em nomes de ingredientes familiares será difícil, mas algumas empresas já se pautam por esse objetivo. Tal desafio representa uma oportunidade para empresas de menor porte inovadoras, em particular as de ingredientes biológicos. As *startups* agrícolas, já

evidentes nos serviços digitais para a agricultura, são a expressão de um novo modelo do ecossistema de inovação no sistema agroalimentar como um todo, à medida que este se integra ao mundo digital. Esse modelo emergente deve ser objeto de reflexão e atenção das instituições de fomento.

Característica importante de um sistema agroalimentar sujeito à digitalização, a viabilização de nichos para empresas de menor porte, em todos os seus elos, é reforçada pela priorização de produtos frescos e naturais. Em estreita articulação com mercados via aplicativos, *smartphones* e redes sociais, esse novo perfil de empresas é componente intrínseco da saudabilidade. Elas demandam, contudo, critérios sanitários apropriados à sua escala – e não simplesmente a reaplicação dos padrões industriais vigentes.



APÊNDICE 1 – CURRÍCULOS DOS CONSULTORES E ESPECIALISTAS CONSULTADOS

CLUSTER: IOT

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Antônio Carlos Gravato Bordeaux Rego (<http://lattes.cnpq.br/5989160467865192>) – consultor da área de Comunicação Óptica, possui graduação em Engenharia Elétrica e em Física pela PUC-Rio, especialização em Redes de Computadores pela USP e mestrado em Física pela UNICAMP.

ESPECIALISTAS CONSULTADOS:

Sergio Bampi (<http://lattes.cnpq.br/4010781324120944>) – professor titular do Instituto de Informática da UFRGS, possui graduação em Engenharia Eletrônica e em Física pela mesma instituição, e mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Stanford (Estados Unidos).

Marcelo Soares Lubaszewski (<http://lattes.cnpq.br/5265254209364825>) – professor associado do Instituto de Informática da UFRGS, possui graduação em Engenharia Elétrica e mestrado em Ciência da Computação pela mesma instituição, e doutorado em Microeletrônica pelo Instituto Nacional Politécnico de Grenoble (França).

Sergio Takeo Kofuji (<http://lattes.cnpq.br/7716042222856938>) – professor da USP, possui graduação em Física e mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela mesma instituição.

CLUSTER: TECNOLOGIAS DE REDES

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Claudio de Almeida Loral (<http://lattes.cnpq.br/6117995799153611>) – consultor da área de TIC, possui graduação em Física pela PUC-Rio e mestrado em Ciências dos Materiais pelo IME.

ESPECIALISTAS CONSULTADOS:

Tereza Cristina Melo de Brito Carvalho (<http://lattes.cnpq.br/8587567074814594>) – professora associada da USP, possui doutorado em Redes de Computadores pela POLI-USP.

Marcelo Martins Werneck (<http://lattes.cnpq.br/9106754041376544>) – professor titular do Departamento de Eletrônica e Computação da UFRJ, possui graduação em Engenharia Eletrônica pela PUC-Rio, mestrado em Engenharia Biomédica pela COPPE-UFRJ, e doutorado pela Universidade de Sussex (Reino Unido).

João Henrique de Augustinis Franco (<http://lattes.cnpq.br/6817620856926534>) – consultor em Segurança da Informação, possui graduação em Engenharia Eletrônica pela POLI-USP, MBA pela FGV-SP e especialização em Gestão da Qualidade pela UNICAMP.

CLUSTER: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Eduardo Prado – desenvolvedor de novos negócios e consultor de tecnologia digitais, possui graduação em Engenharia Eletrônica pela UFRJ e mestrado em Ciências pela COPPE/UFRJ.

ESPECIALISTAS CONSULTADOS:

Anderson da Silva Soares (<http://lattes.cnpq.br/1096941114079527>) – professor do Instituto de Informática da UFG, possui doutorado em Engenharia Eletrônica e Computação pelo ITA.

Alexandre Gonçalves Evsukoff (<http://lattes.cnpq.br/6443456845137235>) – professor do Programa de Engenharia Civil da COPPE-UFRJ, possui graduação em Engenharia Mecânica e mestrado em Engenharia Mecânica pela COPPE-UFRJ, e doutorado em Automação e Controle pelo Instituto Nacional Politécnico de Grenoble (França).

CLUSTER: PRODUÇÃO INTELIGENTE

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Ricardo Manfredi Naveiro (<http://lattes.cnpq.br/4633694457560431>) – professor titular da Escola Politécnica da UFRJ, possui graduação em Engenharia Mecânica pela PUC-Rio, mestrado em Engenharia de Produção pela COPPE-UFRJ, doutorado em Projeto do Produto pela FAU-USP e pós-doutorado em Engenharia Industrial pela North Carolina State University (Estados Unidos).

ESPECIALISTAS CONSULTADOS:

Eduardo de Senzi Zancul (<http://lattes.cnpq.br/3322414202275652>) – professor do Departamento de Engenharia de Produção da POLI-USP, possui graduação

em Engenharia Mecânica, mestrado em Engenharia de Produção e doutorado em Engenharia de Produção pela USP.

Glauco Augusto de Paula Caurin (<http://lattes.cnpq.br/4944670560700547>) – professor associado do Departamento de Engenharia Mecânica da EESC-USP, possui graduação em Engenharia Mecânica pela mesma instituição, mestrado em Mecatrônica e doutorado em Robótica pelo Institut für Robotik – Eidgenössische Technische Hochschule (Zurique, Suíça).

Anderson Vicente Borille (<http://lattes.cnpq.br/3134837836618744>) – professor do ITA, possui graduação (2003) e mestrado (2005) em Engenharia Mecânica pela UFSC e doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo ITA, com período sanduíche em Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (Alemanha).

CLUSTER: BIOTECNOLOGIAS E BIOPROCESSOS

CONSULTORES RESPONSÁVEIS:

Carlos Alberto Moreira Filho (<http://lattes.cnpq.br/9210082685322439>) – professor associado do Departamento de Pediatria da Faculdade de Medicina da USP, possui graduação em Biologia, mestrado e doutorado em Genética pela USP, e pós-doutorado pela Universidade de Wisconsin e Cornell University Medical College (Estados Unidos).

Paulo Arruda (<http://lattes.cnpq.br/9849354538615385>) – professor da UNICAMP, possui graduação em Biologia pela Universidade Católica de Campinas, mestrado e doutorado em Genética pela UNICAMP, e pós-doutorado em bioquímica na Rothamsted Experimental Station (Inglaterra).

ESPECIALISTAS CONSULTADOS:

Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto (<http://lattes.cnpq.br/6932332009485079>) – professora associada da Escola de Química da UFRJ, possui graduação em Engenharia Química, mestrado e doutorado em Tecnologia de Processos Bioquímicos pela UFRJ.

Ayla Santana da Silva (<http://lattes.cnpq.br/4476123801492144>) – pesquisadora do INT/MCTI, possui graduação em Ciências Biológicas, mestrado e doutorado em Bioquímica pela UFRJ.

CLUSTER: NANOTECNOLOGIA

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Oswaldo Novais de Oliveira Junior (<http://lattes.cnpq.br/8582867831317500>) – professor do Instituto de Física de São Carlos da USP, possui graduação em Física e doutorado na Universidade de Wales (Reino Unido).

ESPECIALISTAS CONSULTADOS:

Nelson Eduardo Duran Caballero (<http://lattes.cnpq.br/6191239140886028>) – professor convidado da UNICAMP, possui graduação em Química pela Universidade Católica de Valparaíso e doutorado em Química pela Universidade de Porto Rico.

Ado Jorio de Vasconcelos (<http://lattes.cnpq.br/0034894070455412>) – professor titular do Departamento de Física e pró-reitor de Pesquisa da UFMG.

Adalberto Fazzio (<http://lattes.cnpq.br/2714004273523549>) – professor titular do Instituto de Física da USP, possui graduação e mestrado em Física pela UnB, e doutorado em Física pela USP.

CLUSTER: MATERIAIS AVANÇADOS

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Antonio José Felix de Carvalho (<http://lattes.cnpq.br/5050955206618507>) – possui graduação em Química, mestrado em Físico-Química e doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais pela USP.

ESPECIALISTAS CONSULTADOS:

Wang Shu Hui (<http://lattes.cnpq.br/7984507949644750>) – professora associada da USP, possui graduação em Engenharia Química, mestrado e doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros pela UFRJ, e pós-doutorado pela University of Massachusetts System (Estados Unidos).

Edgar Dutra Zanotto (<http://lattes.cnpq.br/1055167132036400>) – professor titular da UFSCAR e pesquisador 1A do CNPq, possui graduação em Engenharia de Materiais pela UFSCAR, mestrado em Física pela USP São Carlos, e doutorado em Glass Tech pela Universidade de Sheffield (Reino Unido).

CLUSTER: AE

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Roberto Manuel Torresi (<http://lattes.cnpq.br/6248532093883975>) – professor titular do Instituto de Química da USP, possui graduação em Físico-Química e doutorado em Ciências Químicas pela Universidade Nacional de Córdoba (Argentina), pós-doutorado na Universidade Pierre et Marie Curie (França).

ESPECIALISTAS CONSULTADOS:

Edson Antonio Ticianelli (<http://lattes.cnpq.br/0706356412303657>) – professor titular da USP e pesquisador 1A do CNPq, possui graduação em Química e doutorado em Físico-Química pela USP.

Luiz Henrique Dall’Antonia (<http://lattes.cnpq.br/0622474265250573>) – professor associado da UEL, possui graduação em Química e mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais pela USP, doutorado em Química pela USP/Université de Sherbrooke (Canadá) (1999), e pós-doutorado pelo Instituto de Química da USP.

Fabio Henrique Barros de Lima (<http://lattes.cnpq.br/8978509213666235>) – possui graduação em Química, doutorado e pós-doutorado em Físico-Química pela Instituto de Química de São Carlos da USP.

SISTEMA PRODUTIVO: AGROINDÚSTRIAS / FOCO SETORIAL: ALIMENTOS PROCESSADOS

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

John Wilkinson (<http://lattes.cnpq.br/2989426582410693>) – professor do CPDA/UFRRJ, possui graduação em Sociologia pela Universidade de Bristol (Reino Unido), mestrado e doutorado em Sociologia pela Universidade de Liverpool (Reino Unido), e pós-doutorado em Sociologia Econômica pela Universidade de Paris XIII.

EQUIPE:

Ruth Rama Dellepiane – professora e pesquisadora do Departamento de Economia e Geografia Aplicadas do Centro de Ciencias Humanas y Sociales de Madrid (Espanha).

SISTEMA PRODUTIVO: INSUMOS BÁSICOS / FOCO SETORIAL: SIDERURGIA

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Germano Mendes de Paula (<http://lattes.cnpq.br/2678047465053355>) – professor do Instituto de Economia da UFU, possui graduação Economia pela UFU, mestrado e doutorado em Economia pelo IE-UFRJ, pós-doutorado em Economia pela Universidade de Oxford (Reino Unido) e pela Universidade de Columbia (Estados Unidos).

SISTEMA PRODUTIVO: QUÍMICA / FOCO SETORIAL: BIOQUÍMICA

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

José Vitor Bomtempo (<http://lattes.cnpq.br/6504582268267539>) – professor adjunto da Escola de Química da UFRJ, possui graduação em Engenharia Química e mestrado em Engenharia de Produção pela mesma instituição, doutorado em Economia Industrial pela École Nationale Supérieure des Mines de Paris (França).

SISTEMA PRODUTIVO: PETRÓLEO E GÁS / FOCO SETORIAL: E&P EM ÁGUAS PROFUNDAS

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Helder Queiroz Pinto Jr. (<http://lattes.cnpq.br/3107390040853067>) – professor adjunto no IE-UFRJ, possui graduação em Economia e mestrado em Planejamento Energético pela mesma instituição, doutorado em Economia Aplicada (1993) pelo Instituto de Economia e Política de Energia da Universidade de Grenoble (França).

SISTEMA PRODUTIVO: BK / FOCOS SETORIAIS: MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS, MÁQUINAS-FERRAMENTA, EQUIPAMENTOS PARA GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA, BENS ELÉTRICOS SERIADOS DE USO INDUSTRIAL

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Rodrigo Coelho Sabbatini (<http://lattes.cnpq.br/7414656457842441>) – professor, coordenador do curso de Economia e diretor adjunto da FACAMP, possui graduação, mestrado e doutorado em Ciências Econômicas pela UNICAMP.

EQUIPE:

Adriana Marques da Cunha (<http://lattes.cnpq.br/1240692059196150>) – professora da FACAMP, possui graduação, mestrado e doutorado em Ciências Econômicas pela UNICAMP.

Beatriz Bertasso (<http://lattes.cnpq.br/5671520923634672>) – professora da FACAMP, possui graduação em Ciências Econômicas pela UNICAMP, mestrado em Economia Aplicada pela USP e doutorado em Ciências Econômicas pela UNICAMP.

José Augusto Gaspar Ruas (<http://lattes.cnpq.br/2095531597330642>) – professor da FACAMP, possui graduação, mestrado e doutorado em Ciências Econômicas pela UNICAMP.

SISTEMA PRODUTIVO: AUTOMOTIVO / FOCO SETORIAL: VEÍCULOS LEVES

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Mario Sergio Salerno (<http://lattes.cnpq.br/3276012121928233>) – professor da POLI-USP, possui graduação em Engenharia de Produção pela POLI-USP, mestrado em Engenharia de Produção pela UFRJ, especialização em Inovação Tecnológica e Desenvolvimento pela Universidade de Sussex (Reino Unido), doutorado em Engenharia de Produção pela POLI-USP e pós-doutorado em Gestão da Inovação Radical pelo Rensselaer Polytechnic Institute (Estados Unidos), e em Organização na Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (Paris).

EQUIPE:

Cristiane Matsumoto – pesquisadora associada do LGI da USP, possui graduação em Engenharia Química.

Guilherme Soares Gurgel do Amaral (<http://lattes.cnpq.br/0224125996417880>) – especialista em inovação na empresa de transmissão de energia elétrica ISA CTEEP e pós-doutorando do Departamento de Engenharia de Produção da POLI-USP, possui graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, mestrado e doutorado em Engenharia de Produção pela POLI-USP.

SISTEMA PRODUTIVO: A&D / FOCO SETORIAL: AERONÁUTICA

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Marcos José Barbieri Ferreira (<http://lattes.cnpq.br/8059777565985852>) -- professor da Faculdade de Ciências Aplicadas da UNICAMP, possui graduação, mestrado e doutorado em Ciências Econômicas pela mesma instituição.

EQUIPE:

Celso Neris Jr. (<http://lattes.cnpq.br/2343382824030255>) – professor substituto no Departamento de Economia da UNESP, possui graduação e mestrado em Ciências Econômicas pela mesma instituição, e doutorado em Ciências Econômicas pela UNICAMP.

SISTEMA PRODUTIVO: TICS / FOCOS SETORIAIS: SOFTWARE, EQUIPAMENTOS E SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÃO, E MICROELETRÔNICA

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Paulo Bastos Tigre (<http://lattes.cnpq.br/4463491768068518>) – professor do IE-UFRJ, possui graduação em Ciências Econômicas e mestrado em Engenharia de Produção pela mesma instituição, e doutorado em Política Científica e Tecnológica pela Universidade de Sussex (Reino Unido).

EQUIPE:

Alessandro Pinheiro (<http://lattes.cnpq.br/1209331902310079>) – gerente responsável pela Pesquisa de Inovação (PINTEC) do IBGE, possui graduação em Economia pela UFPA, mestrado em Economia pela Universidade da Amazônia, especialização em Economia do Trabalho e doutorado em Economia pela UFRJ.

Emanuel Querette (<http://lattes.cnpq.br/9584958262385543>) – professor do Porto Digital, possui graduação em Comunicação Social pela UFPE e em Administração pela UPE, MBA em Gerenciamento de Projetos pela UFPE, mestrado em Política Científica e Tecnológica pela Universidade de Sussex (Reino Unido) e doutorado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento pelo IE-UFRJ.

Sergio Bampi (<http://lattes.cnpq.br/4010781324120944>) – professor titular do Instituto de Informática da UFRGS, possui graduação em Engenharia Eletrônica e em Física pela mesma instituição, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Stanford (Estados Unidos).

SISTEMA PRODUTIVO: FARMACÊUTICA / FOCO SETORIAL: BIOFÁRMACO

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Pedro Palmeira (<http://lattes.cnpq.br/1240491621299912>) – conselheiro e consultor de empresas do segmento farmacêutico e de biotecnologia, possui graduação em Engenharia Química pela UFRJ, mestrado em Administração de Empresas pela PUC-Rio e doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela UFRJ. Trabalhou na Bayer S.A. no período de 1983 a 1998.

SISTEMA PRODUTIVO: BENS DE CONSUMO / FOCO SETORIAL: TÊXTIL E VESTUÁRIO

CONSULTOR RESPONSÁVEL:

Renato de Castro Garcia (<http://lattes.cnpq.br/4448499039119632>) – professor do Instituto de Economia da UNICAMP, possui graduação em Ciências Econômicas pela UNESP, mestrado e doutorado em Economia pela UNICAMP.

EQUIPE:

Jose Eduardo Roselino (<http://lattes.cnpq.br/7410971805108456>) – professor adjunto da Pós-Graduação em Economia da UFSCAR, possui graduação em Ciências Econômicas pela UNESP, mestrado e doutorado em Ciências Econômicas pela UNICAMP.

Antonio Carlos Diegues (<http://lattes.cnpq.br/0594188577645269>) – professor do Instituto de Economia da UNICAMP, possui graduação, mestrado e doutorado em Ciência Econômicas pela mesma instituição.

Ariana Ribeiro Costa (<http://lattes.cnpq.br/0800816163922095>) – estudante do doutorado em Engenharia de Produção na POLI-USP, possui graduação em Ciências Econômicas pela UNESP e mestrado em Ciências Econômicas pela FEA-USP.

ESPECIALISTAS INTERNACIONAIS

Peter Marsh (<http://petermarsh.eu>) – é escritor e palestrante sobre a indústria no século XXI e foi editor de tecnologia do Financial Times entre 1983 e 2013, autor do livro *"The New Industrial Revolution: Consumers, Globalization and the End of Mass Production"*, publicado pela Yale University Press em 2013; para o I2027, elaborou o paper *"The Future of Manufacturing: Opportunities for Brazil"*.

Alistair Nolan (https://www.researchgate.net/profile/Alistair_Nolan) – mestre em Economia e Política do Desenvolvimento pela Universidade de Cambridge (Reino Unido), é analista sênior de políticas da Diretoria de Ciência, Tecnologia e Inovação da OCDE; para o I2027, elaborou o relatório *"Disruptive Innovations: Risks and Opportunities"*.

Carlos López-Gómez (https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Lopez-Gomez) – doutor em Economia Industrial e Política de Inovação pela Universidade de Cambridge (Reino Unido), é analista do grupo de pesquisa Policy Links, do IfM ECS, ligado à Universidade de Cambridge (Reino Unido); para o I2027, elaborou relatório *"A Review of International Approaches to Industrial Innovation: Lessons to Inform Brazil's 'I2027' Strategy"*.

Michele Palladino – doutora em Produção e Economia do Desenvolvimento da Universidade de Insubria (Itália), é analista do grupo de pesquisa Policy Links, do IfM ECS, ligado à Universidade de Cambridge (Reino Unido); para o I2027, elaborou

relatório *"A Review of International Approaches to Industrial Innovation: Lessons to Inform Brazil's 'I2027' Strategy"*.

David Leal-Ayala – pós-doutor em Ecologia Industrial pela Universidade de Cambridge (Reino Unido), é analista do grupo de pesquisa Policy Links, do IfM ECS, ligado à Universidade de Cambridge; para o I2027, elaborou relatório *"A Review of International Approaches to Industrial Innovation: Lessons to Inform Brazil's 'I2027' Strategy"*.

CONSULTOR DA PESQUISA DE CAMPO

Eduardo Zancul (<http://lattes.cnpq.br/3322414202275652>) – professor da Escola Politécnica da USP, possui graduação em Engenharia Mecânica, mestrado e doutorado em Engenharia de Produção pela Escola de Engenharia de São Carlos da mesma instituição.

APÊNDICE 2 – MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA ORDENADA

O modelo de regressão logística é um dos métodos consensualmente mais aceitos para buscar relações entre variáveis categóricas, tornando-se bastante útil para análises pautadas em informações com origem em *surveys* e pesquisas de campo. Por meio de uma regressão logística, a relação entre a variável resposta (ou variável dependente) categórica e as variáveis explicativas dá-se pela estimação de probabilidades baseadas em funções logísticas. O resultado desse tipo de exercício é a estimação, a partir da função logística, da probabilidade de ocorrência de um evento específico associada a uma categoria-alvo da variável resposta (LONG; FREESE, 2006; 2014). Na versão simples de regressão logística, considera-se apenas uma variável explicativa, que pode ser tanto quantitativa quanto qualitativa. Já na sua versão múltipla, admite-se um número maior de variáveis que melhor caracterizem o modelo. A variável dependente que se objetiva explicar pode ter duas categorias (variável dependente binária, que assume valor 1 quando o evento ocorre, e 0 quando não ocorre) ou deter um número maior de categorias (variáveis dependentes politômicas).

Entre as regressões logísticas possíveis,^{8,9} a escolha para esse referencial metodológico recaiu sobre o método logístico ordenado, isto é, na consideração de um modelo que respeitasse o ordenamento das categorias da variável dependente. Essa particularidade é de especial interesse para o escopo desse trabalho, uma vez que se busca identificar quais são os determinantes que conferem maior probabilidade de ocorrência para movimentos mais avançados entre as gerações digitais para o período 2017 e 2027. Portanto, a categoria de empresa chamada “digital” da variável resposta é considerada superior à categoria de empresa considerada “seletiva”, que, por sua vez, é superior às empresas classificadas como “analógicas”.

A versão básica do modelo logístico ordenado é também conhecida como modelo de chances proporcionais ou modelo de regressão paralela. Esse método assume que os coeficientes que descrevem a relação entre as diferentes categorias da variável resposta são iguais, o que significa dizer que eles são invariantes nos pontos de corte e os efeitos dos parâmetros são os mesmos entre os diferentes níveis da variável dependente e entre as diferentes regressões logísticas estimadas. Muitas das vezes essas hipóteses não são testadas, o que implica o uso de regressões logísticas ordenadas

8 Outro modelo que permite análise de variáveis dependentes politômicas é o modelo logístico multinomial. A diferença em relação ao método logístico ordenado é o fato de desconsiderar a ordem presente nas categorias, tratando-as apenas como categorias nominais.
9 De acordo com Williams (2016), a capacidade de ordenamento da variável dependente também pode ser mensurada a partir de um modelo probabilístico ordenado (*ordered probit*). Ambos possuem abordagens próximas, o que os diferencia é como a função de distribuição acumulada é definida. A regressão logística tem como base a distribuição logarítmica, enquanto a probabilística utiliza a distribuição normal padrão.

generalizadas que asseguram chances proporcionais parciais¹⁰ entre as categorias das variáveis independentes (WILLIAMS, 2006).

No caso específico do exercício realizado no capítulo 2, a hipótese de chances proporcionais foi verificada por meio do teste de Brant. Esse teste busca avaliar se os desvios observados a partir das estimações do modelo de chances proporcionais são maiores do que aqueles atribuídos apenas ao acaso.

O resultado do modelo de regressão logística ordenada oferece a estimação dos coeficientes associados a cada variável independente. A interpretação usual desses coeficientes é restrita porque eles não podem ser analisados da mesma maneira que os coeficientes de métodos de regressões lineares. Em geral, avalia-se o grau de significância das variáveis utilizadas para compor o modelo e o sinal do coeficiente como indicativo de redução ou aumento da probabilidade de ocorrência da variável resposta em relação à variável independente em questão. Por isso, a opção levada adiante no exercício proposto foi trabalhar com o conceito de estimações ajustadas médias das probabilidades de ocorrência de um determinado conjunto de eventos em relação às categorias da variável que se quer explicar. Os resultados derivados permitem interpretações mais acessíveis e tangíveis para a construção da análise. Para tanto, foram selecionadas categorias específicas das variáveis independentes, de modo a captar as chances de ocorrência de cada categoria da variável resposta. Esse é o resultado que está disposto na figura 11 do capítulo.

Referências bibliográficas

ABREU, M. N. S. *et al.* Ordinal logistic regression in epidemiological studies. **Revista de Saúde Pública**, v. 43, n. 1, p. 183-94, 2009.

LONG, J. S.; FREESE, J. **Regression models for categorical and limited dependent variables using stata**. 2nd ed. College Station: Stata Press, 2006.

_____; _____. **Regression models for categorical dependent variables using Stata**. 3rd ed. College Station: Stata Press, 2014.

WILLIAMS, R. Generalized ordered logit/partial proportional odds models for ordinal dependent variables. **Stata Journal**, v. 6, p. 58-82, 2006.

_____. Understanding and interpreting generalized ordered logit models. **The Journal of Mathematical Sociology**, v. 40, n. 1, p. 7-20, 2016.

¹⁰ Além do modelo de chances proporcionais e chances proporcionais parciais, Abreu *et al.* (2009) descrevem outras duas opções de modelo de regressão logística ordenada: razão contínua ordenada e modelo logístico estereotipado. O primeiro, eles argumentam, é mais adequado quando existe um especial interesse a uma categoria específica da variável resposta. O segundo é indicado quando a variável resposta ordinal não tem origem na agregação de variáveis contínuas.

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 Cumaru Leodido
Débora Mendes Carvalho
Julieta Costa Cunha
Mirelle dos Santos Fachin
Rafael Monaco Floriano
Renaide Cardoso Pimenta
Zil Moreira de 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

Institutos de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Institutos de Economia da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Luciano Coutinho
João Carlos Ferraz
David Kupfer
Mariano Laplane
Luiz Antonio Elias
Caetano Penna
Fernanda Ultremare
Giovanna Gielfi
Jorge Nogueira de Paiva Britto
Julia Ferreira Torracca
Mateus Labrunie
Henrique Schmidt Reis
Carolina Dias
Autores/Organizadores

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



INDÚSTRIA 2027
Riscos e oportunidades para o Brasil
diante de inovações disruptivas

SÍNTESE DOS RESULTADOS
CONSTRUINDO O FUTURO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA

VOLUME 2
TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS E INDÚSTRIA:
DESAFIOS E RECOMENDAÇÕES

©2018. IEL – Instituto Euvaldo Lodi

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

IEL/NC

Superintendência IEL

FICHA CATALOGRÁFICA

I59s

Instituto Euvaldo Lodi. Núcleo Central.

Síntese dos resultados. Volume 2 – Desafios e Recomendações / Instituto Euvaldo Lodi, Luciano Coutinho, João Carlos Ferraz, David Kupfer, Mariano Laplane, Caetano Penna, Fernanda Ultremare, Giovanna Gielfi, Luiz Antonio Elias, Carolina Dias, Jorge Nogueira de Paiva Britto, Julia Ferreira Torracca -- Brasília: IEL/NC, 2018.

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

1. Cluster Tecnológico 2. Sistemas Produtivos 3. Tecnologia 4. Inovação
I. Título

CDU: 005.591.6

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

LISTA DE FIGURAS

- Figura 12** – Índice de digitalização e de capital humano para a América Latina, 2004-2014..... 205
- Figura 13** – Quadro analítico das estratégias nacionais diante de inovações disruptivas..... 215

LISTA DE QUADROS

Quadro 14 – Planos e programas estratégicos brasileiros selecionados, 2004-2018.....	236
---------------------------------------------------------------------------------------------	-----

LISTA DE BOXES

- Box 2** – Está em curso uma revolução de habilidades? 203
- Box 3** – Recomendações para a formação de recursos humanos para a inovação, com ênfase no ensino de engenharia no Brasil.....207
- Box 4** – O sucesso relativo das diversas linhas do Inova Empresa 239

SUMÁRIO

RESUMO.....	175
O que são inovações combinadas, sinérgicas e disruptivas?	176
Estratégias nacionais para construir futuros	177
A oportunidade do Indústria 2027	178
Desafios para a indústria brasileira: perseguir alvos em movimento	179
Premissas para a construção do futuro	180
Alvos em movimento: implicações para empresas e políticas públicas	181
Construir alicerces para todos	183
O Brasil pode e deve construir o futuro de sua indústria	184
INTRODUÇÃO.....	187
7 IMPACTOS DAS INOVAÇÕES DISRUPTIVAS SOBRE AS CGVS E A IMPORTÂNCIA CRESCENTE DOS ECOSISTEMAS DE INOVAÇÃO ...	191
7.1 Como as inovações disruptivas podem impactar as CGVs?.....	191
7.2 O que são e qual a importância dos ecossistemas de inovação?	193
7.3 Ecossistemas de inovação no Brasil: quais são suas condições atuais e quais oportunidades se oferecem?	195
7.4 Referências bibliográficas	198
8 RECURSOS HUMANOS E CAPACITAÇÕES DIANTE DAS INOVAÇÕES DISRUPTIVAS	201
8.1 Quais seriam os impactos sobre competências e qualificações?	201
8.2 Qual a situação da educação e da formação profissional no Brasil?	203

8.3 Qual a orientação das políticas de emprego e formação profissional em outros países e quais as lições para o Brasil?.....	207
8.4 Referências bibliográficas	211
9 ESTRATÉGIAS NACIONAIS: PAÍSES CONSTROEM SEU FUTURO	213
9.1 Países constroem seu futuro.....	213
9.2 Do diagnóstico à construção de visões e implementação de estratégias	214
9.3 Construindo o futuro. Primeiro passo: desafios, visões, estratégias e missões.....	215
9.4 Construindo o futuro. Segundo passo: planos e programas.....	217
9.5 Construindo o futuro. Terceiro passo: implementação de ações – três exemplos.....	221
9.6 Condições necessárias e essenciais: prioridade política, concertação público-privada	227
9.7 Inspirações para o Brasil	230
9.8 Referências bibliográficas	231
10 O PANORAMA BRASILEIRO DE POLÍTICAS INDUSTRIAIS E DE CT&I: LEGADO, INICIATIVAS RECENTES E DESAFIOS.....	235
10.1 Políticas industriais e de inovação: legados e desafios.....	235
10.2 Quais desafios permanecem no âmbito das políticas industriais e de inovação?	241
10.3 O maior dos desafios: políticas para mover-se mais rápido do que as mudanças tecnológicas em curso.....	243
10.4 Referências bibliográficas.....	244
11 PREMISSAS, DIRECIONAMENTOS E ESTRATÉGIAS PARA CONSTRUIR O FUTURO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA	247
11.1 Estratégias diferenciadas por grupos de empresas e respectivos ecossistemas produtivos/inovativos.....	247
11.2 Prioridades, construção de externalidades e capacitações, novos temas...	262
12 MENSAGEM FINAL	269



RESUMO

O mundo está atravessando as primeiras etapas de profundas **transformações nos padrões de produção, concorrência, modelos de negócio, consumo e estilos de vida**. Os vetores destas transformações atuam tanto do lado da demanda, a partir do envelhecimento das populações, das aspirações e frustrações das classes médias, dos desafios da mudança climática, quanto do lado da oferta, a partir da aceleração dos **avanços da C&T**, do ingresso de **novos protagonistas na concorrência internacional** e da **adoção de estratégias nacionais de CT&I** proativas.

O comércio internacional cresceu e a concorrência acirrou-se significativamente a partir dos anos 1990, quando a produção de determinados setores industriais foi crescentemente fragmentada geograficamente, no que veio a tornar-se conhecido como CGVs. Empresas dos países industriais avançados terceirizaram a produção e concentraram-se nos elos sofisticados das cadeias de valor. Os novos produtores, principalmente na Ásia, entraram nas etapas intensivas em trabalho, explorando vantagens de custo. Porém, na década subsequente as empresas asiáticas automatizaram intensamente seus processos, acumularam economias de escala e avançaram em P&D, habilitando-se a disputar liderança global em diversos segmentos, tais como equipamentos de TIC, dispositivos de acesso à internet, microeletrônica e bens duráveis de consumo.

Essas mudanças geoeconômicas propiciaram o surgimento de **estruturas produtivas descentralizadas e sofisticadas**. As empresas líderes de CGVs engajaram parceiros (empresas e instituições de pesquisa, domésticas ou internacionais) com capacitações tecnológicas complementares em **ecossistemas de inovação multiparceiros, interdisciplinares e internacionalizados**. Os ecossistemas que se movem na fronteira tecnológica caracterizam-se por múltiplos e densos nexos de cooperação, interdisciplinaridade e participação de centros de excelência internacionais.

Em paralelo, **acelerou-se o ritmo do progresso técnico**. *Clusters* de inovações combinadas e sinérgicas estão emergindo **com força suficiente para produzir efeitos disruptivos** sobre os modelos de negócio, os determinantes da competitividade e as estruturas de mercado em todas as atividades produtivas. **Que inovações são essas?** Quais são os seus elementos constituintes? Como evoluem seus custos e mercados? Qual a velocidade de difusão? Tal potencial disruptivo já se manifesta em todas as tecnologias e em todas as atividades produtivas?

Essas **inovações** surgem como processos “naturais” ou **estão sendo construídas** por meio de longos e persistentes processos interativos entre o mundo da C&T, o mundo dos negócios e o mundo das políticas públicas? Até que ponto esses processos **antecipam e respondem a desafios da sociedade** ou a demandas da concorrência

e dos mercados? É possível identificar **novos modelos de negócio** adaptados para aproveitar oportunidades derivadas das novas tecnologias? Que **fatores-chave** determinarão o **sucesso competitivo**? Que mudanças ocorrem nas estruturas de mercado quando essas tecnologias tornam-se economicamente relevantes? São as empresas incumbentes que sistematicamente aproveitarão as oportunidades ou essas estarão sendo ameaçadas por novos entrantes?

Elucidar questões dessa natureza é um passo essencial a um projeto de construção do futuro da indústria brasileira.

O que são inovações combinadas, sinérgicas e disruptivas?

Soluções que combinam e potencializam inovações intensivas em conhecimento estão sendo introduzidas e difundidas para criar novos mercados e novos modelos de negócio, acarretando significativos impactos sociais e econômicos. A capacidade de solucionar desafios técnicos aumenta significativamente quando se combinam bases científicas e tecnológicas diferentes: por exemplo, a genômica, com a computação de alto desempenho, para o sequenciamento do DNA; os microprocessadores avançados de reconhecimento de imagens com robótica, para veículos autoguiados; ou a IoT, com a inteligência artificial e redes de comunicação avançadas, para *smart grids* e controle de tráfego em centros urbanos.

Apesar das diferenças em suas bases de conhecimento, todas as soluções tecnológicas que mostram potencial disruptivo têm dois **elementos em comum: custos em queda acentuada e mercados em forte expansão**. Por exemplo, o custo do sequenciamento de genomas humanos caiu de US\$ 95 milhões, em setembro de 2001, para US\$ 1.000, em setembro de 2017. O custo médio de sensores para IoT era US\$ 1,30, em 2004, e pode chegar a US\$ 0,38, em 2020. O custo em US\$/KWh de baterias lítio-íon caiu de US\$ 1.000, em 2010, para US\$ 209, em 2017. Em 2017, as vendas de soluções de *big data* foram estimadas em US\$ 34 bilhões e podem triplicar em oito anos. Também até 2025 devem triplicar os dispêndios em robótica, atingindo US\$ 70 bilhões.

A avaliação prospectiva do projeto Indústria 2027 informa que **todos os sistemas produtivos conviverão com tecnologias disruptivas em até dez anos. Embora o tempo seja escasso, a indústria brasileira pode e deve se preparar para essas mudanças tecnológicas que se avizinham**.

Os **modelos de negócio** das empresas e suas cadeias de valor estão **evoluindo para modelos integrados, conectados, inteligentes e “servitizados”**. São integrados e conectados porque os diferentes elos das cadeias de valor e das atividades intraempresas ficarão tão próximos que suas fronteiras tendem a se desfazer. São inteligentes porque informações econômicas e técnicas serão captadas e processadas *on-line*,

de modo que, por meio de algoritmos de inteligência artificial, decisões de ações e reações a fenômenos produtivos poderão ser delegadas a equipamentos e sistemas digitais. Modelos dessa natureza permitem que as empresas forneçam bens e serviços intrinsecamente complementares, ou que, ao invés de vender, ofereçam o uso de bens sob a forma de serviços.

Tais modelos abrem a porta para que as empresas apoiem suas estratégias em **novos fatores de competitividade**: nos processos e nas cadeias de valor, as novas tecnologias permitem **otimizar a gestão de toda a cadeia e aumentar precisão dos parâmetros de eficiência**, combinar **escala com diferenciação e customização** e, no limite, **personalizar produtos**. Agricultura de precisão e medicina personalizada, por exemplo, são conceitos que se tornaram operacionalizáveis com base em *clusters* de inovações combinadas e sinérgicas.

Sob crescente pressão competitiva as empresas precisam se transformar e adotar novos modelos de negócio. Em consequência, **as estruturas de mercado tornam-se mais vulneráveis à entrada de novos concorrentes**, mais flexíveis em face de diferentes formatos empresariais e mais permeáveis a mudanças de liderança.

Estratégias nacionais para construir futuros

Nunca houve antes tantos países priorizando simultaneamente a CT&I como no presente. Os Estados Unidos pretendem manter a sua liderança em CT&I e recuperar capacidade de sua manufatura. O dispêndio público e empresarial para P&D em 2018 é estimado em US\$ 533 bilhões (2,7% do PIB). Na China, esse dispêndio é da ordem de US\$ 279 bilhões (2,3% do PIB) e tende a crescer. O plano Made in China 2025 não se encerra neste ano; é ambição do país ser superpotência mundial em 2049. A Alemanha, conhecida pela iniciativa Industrie 4.0, almeja fortalecer a hegemonia de suas indústrias mecânica e química, entre outras. O investimento alemão em P&D, em 2017, foi estimado em US\$ 105 bilhões (2,8% do PIB).

Apesar das diferenças de legados e de ambições, uma comparação entre os países que têm estratégia em curso revela focos em comum, quais sejam: sustentar competitividade internacional, desenvolver ecossistemas de inovação, criar empregos e qualificar as pessoas, apoiar as empresas de menor porte, dar atenção à qualidade de vida, à saúde e ao envelhecimento da população e zelar pela sustentabilidade ambiental. **Estas estratégias de construção do futuro são articuladas por visões nacionais comuns, são comandadas pelas autoridades executivas máximas de cada país, suas ações estão apoiadas em concertação público-privada e as alocações de recursos são significativas e previsíveis.**

A oportunidade do Indústria 2027

Mundo em transformação, acirramento da concorrência internacional com base na inovação, *clusters* de tecnologias emergindo com poder disruptivo e países implementando estratégias para promover ecossistemas produtivos e inovativos motivaram a CNI, por meio do IEL, no âmbito da MEI, a mobilizar o Instituto de Economia da UFRJ e o Instituto de Economia da UNICAMP para realizar o projeto “**Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante inovações disruptivas**”.

O projeto Indústria 2027 identificou tendências e **impactos de tecnologias disruptivas** sobre diferentes sistemas produtivos no horizonte de cinco a dez anos; avaliou a capacidade empresarial de defletir riscos e **aproveitar oportunidades**; e desenvolveu recomendações para o planejamento estratégico das empresas e subsídios à formulação de políticas públicas.

O campo de estudos é composto por *clusters* tecnológicos e sistemas produtivos com focos setoriais. **As tecnologias foram definidas em função de seu impacto disruptivo potencial** e organizadas em oito *clusters* tecnológicos por proximidade de bases técnicas. **A indústria foi estratificada em dez sistemas produtivos e 14 focos setoriais específicos**, selecionados em função da importância econômica dessas atividades na matriz industrial do país e do impacto potencial das inovações sobre cada um deles.

Os *clusters* tecnológicos são: inteligência artificial, *big data*, computação em nuvem; IoT e seus respectivos sistemas e equipamentos; produção inteligente e conectada (manufatura avançada); redes de comunicação; nanotecnologias; bioprocessos e biotecnologias avançadas; materiais avançados e novas tecnologias de AE. Já os sistemas produtivos e focos setoriais são: agroindústrias e alimentos processados; insumos básicos e siderurgia; química e bioeconomia; petróleo e gás e E&P em águas profundas; BK e máquinas e implementos agrícolas, máquinas ferramenta, motores elétricos, equipamentos de geração, transmissão e distribuição de energia; complexo automotivo e veículos leves; TICs e sistemas e equipamentos de telecomunicações, microeletrônica e *software*; farmacêutica e biofármacos; bens de consumo e têxtil e vestuário.

Durante **14 meses**, desde março de 2017, uma equipe constituída de 75 especialistas de reconhecida competência em tecnologias, setores industriais e política de inovação, no Brasil e no exterior, foi mobilizada para contribuir para o Indústria 2027. Uma pesquisa de campo consultou aproximadamente 750 empresas industriais no segundo semestre de 2017. Representantes informados dessas empresas posicionaram-se quanto ao estágio atual e às perspectivas da digitalização nas empresas. **O desenvolvimento do projeto Indústria 2027 foi acompanhado pela MEI**, em todas as reuniões de líderes e em algumas sessões dos Diálogos da MEI. Um comitê supervisor acompanhou a execução e definiu orientações estratégicas; os relatórios receberam colaboração das equipes técnicas da CNI, do IEL e do SENAI, e o IEL garantiu a execução

tempestiva. **Esses são os principais ativos do Indústria 2027: o conhecimento e a competência de profissionais informados e especializados.**

Cabem dois alertas. Primeiro, nesse projeto foram consideradas primordialmente as soluções tecnológicas que poderão estar disponíveis comercialmente até 2027. Soluções que se projetam para além de 2027 não foram objeto de análise em profundidade. Segundo, não foram objeto de atenção direta as transformações que o progresso técnico trará sobre outras dimensões da vida econômica e social. Impactos sobre padrões de consumo, sobre o mercado de trabalho e as ocupações e sobre a configuração regional dos ecossistemas, por exemplo, foram considerados somente quando relevantes para a competitividade das empresas.

Desafios para a indústria brasileira: perseguir alvos em movimento

A indústria brasileira possui uma estrutura diversificada e diferenciada; entre seus sistemas produtivos e mesmo dentro de cada atividade econômica coexistem empresas com níveis variados de capacidade e de desempenho competitivo. Assim, não é possível ter como referência, como faz a Alemanha, somente a geração mais avançada de tecnologias digitais para a manufatura.

O projeto Indústria 2027 realizou uma análise prospectiva do estágio de digitalização da indústria brasileira, distinguindo entre quatro gerações de digitalização (G1, G2, G3 e G4), começando por uma digitalização pontual (G1) até a empresa integrada, conectada e inteligente (G4). Representantes de aproximadamente 750 empresas informaram: (i) o estágio em que suas organizações se encontravam em 2017 e onde esperam estar até 2027; (ii) como as empresas estão se preparando para o futuro; e (iii) qual a probabilidade atribuída à geração mais avançada para vir a se tornar dominante nos setores de atuação das empresas. Os resultados mais importantes são:

- Em 2027, a G4 será dominante no setor de atuação das empresas para 65% dos representantes das organizações. Eles indicam, portanto, que suas empresas enfrentarão concorrentes com modelos de negócio integrados, conectados e inteligentes.
- Em 2017, aproximadamente 75% das empresas estão em G1 e G2; somente 1,6% das empresas se vê localizada em G4. O ponto de partida é, portanto, desafiador.
- Em 2027, as expectativas são de avanços importantes: aproximadamente 60% das empresas esperam estar em G3 ou G4 no futuro. As perspectivas são de modernização em marcha forçada.
- Empresas avançadas (G3 e/ou G4 em 2017 e até 2027) têm 66% de probabilidade de ser de maior porte, ter alta capacitação e possuir planos em execução para lograr a geração esperada; empresas passivas (G1 e/ou G2 em 2017 e até 2027) têm 75% de probabilidade de ser de menor porte, ter baixa capacitação e nenhum plano.

- Independentemente de características estruturais ou comportamentais das empresas, o investimento em novas tecnologias tem retorno positivo; a implementação pode ser gradual, conforme a disponibilidade de recursos e o estágio de desenvolvimento das organizações, mas não deve ser postergada.

A análise dos sistemas produtivos feita pelo Indústria 2027 seguiu três passos consecutivos: (i) identificação de riscos e oportunidades para cada um dos dez sistemas produtivos (e seus focos setoriais); (ii) análise comparada dos sistemas, reunidos em quatro grupos de setores selecionados pela similaridade da função ou da natureza das atividades que exercem na economia, quais sejam, setores difusores de inovações, atividades especializadas e de conhecimento avançado, produtores de insumos intermediários e provedores de bens de consumo; (iii) localização de grupos de empresas (e suas características estruturais, em termos de sistema produtivo e porte) em três diferentes estágios de desenvolvimento, distinguindo entre empresas que evoluem na fronteira tecnológica, empresas que podem acompanhar a fronteira da produtividade e empresas que precisam encurtar a distância da fronteira de eficiência produtiva. As distâncias das fronteiras tecnológica e produtiva constituíram as âncoras para a elaboração de recomendações para o planejamento empresarial e para políticas públicas.

Premissas para a construção do futuro

A experiência internacional mostra que a construção de estratégias nacionais de inovação robustas requer o consenso em torno de uma visão nacional comum. Essas estratégias devem partir dos legados existentes, reconhecendo fraquezas e forças; devem definir visões e metas ambiciosas para tirar proveito das oportunidades; e atuam com realismo e pragmatismo.

Já a consecução de estratégias para novas tecnologias requer: (i) sua priorização no mais alto nível de governo e a existência de metas compartilhadas com contrapartidas com o setor privado; (ii) a realização de investimentos substantivos na capacitação de recursos humanos; (iii) a implementação de regulações e fomento pró-inovação; (iv) a modernização e o aumento da capacidade de resposta do Estado; e (v) a implementação de ações por meio de programas e instrumentos coordenados e alinhados às necessidades das empresas e com monitoramento de resultados.

Naturalmente são condições fundamentais e facilitadoras dessas estratégias nacionais a retomada sustentada do crescimento econômico, com juros e câmbio competitivos; os investimentos crescentes em infraestruturas e reformas institucionais (tributária, fiscal, financeira); a facilidade de negócios e a segurança jurídica. Porém, a administração do país não deveria condicionar a execução de uma estratégia nacional de inovação à existência dessas condições sistêmicas. A estratégia de inovação deve ter alta prioridade, persistência e visão de longo prazo, e deve ser preservada mesmo durante etapas cíclicas desfavoráveis.

Alvos em movimento: implicações para empresas e políticas públicas

Para além dos direcionamentos comuns, empresas próximas da fronteira tecnológica ou da fronteira de produtividade e aquelas que precisam encurtar distâncias da fronteira produtiva enfrentam desafios competitivos bastante distintos. Esses grupos de empresas encaram pressões de demanda e da concorrência distintas, possuem competências diferentes e inserem-se em ecossistemas produtivos e inovativos específicos. Naturalmente, para cada grupo serão também específicas as implicações para estratégias competitivas e políticas públicas.

Para **as empresas e os ecossistemas que podem evoluir na fronteira tecnológica**, a **estratégia recomendada** é competir por diferenciação, antecipando ou criando mercados, com as empresas atentas a oportunidades de fusões e aquisições para aquisição de novas competências. Destacam-se, aqui, como **competências essenciais** a geração, o uso e a difusão de inovações avançadas, de diferentes bases de conhecimento, por meio de investimentos em P&D e da coliderança de redes de ecossistemas produtivos e inovativos, incluindo o comando e o monitoramento diuturno pela alta geração das organizações. Esses **ecossistemas** devem buscar fortalecer a base científica e tecnológica das redes interdisciplinares (inclusive internacionais) com universidades, centros de pesquisa e fornecedores; favorecer *startups* em *hubs* e incubadoras de empresas; e empreender velocidade na identificação de desafios e proposição de soluções. Para isso, é preciso promover a **concertação público-privada em programas e planos**, o que requer construir consenso entre interesses públicos e privados; implementar ações por meio de programas com focos explícitos e lideranças especificadas, em sintonia fina com setor privado; realizar ação conjunta de agências de fomento e regulatórias; e monitorar e avaliar resultados de forma contínua. Com relação ao **financiamento** para a difusão de soluções tecnológicas visando aos ganhos de produtividade na economia, recomenda-se o financiamento público e o engajamento privado, utilizando-se todos os instrumentos disponíveis, como subvenção, crédito e capital de risco, para suportar todo o ciclo de inovação, com a coparticipação do setor privado para compartilhar riscos. As grandes empresas devem também investir (*corporate venturing*) em empresas de base tecnológica. Para completar o quadro, as **regulações** devem ser orientadas para inovações que explorem fronteiras tecnológicas, e as **compras públicas** devem ser orientadas por missões para programas prioritários associados às novas tecnologias.

Para **as empresas e os ecossistemas que podem acompanhar a fronteira de produtividade**, a **estratégia recomendada** é investir em modelos de negócio integrados, conectados e inteligentes, abrangendo toda a cadeia de valor, para maximizar ganhos de produtividade e sustentar a competitividade internacional. Para essas empresas, as **competências essenciais** são engenharia, P&D e conhecimento de mercados para capturar oportunidades de diferenciação de produto/serviços, além do uso (ou

codesenvolvimento) de novos materiais em componentes e soluções digitais avançadas e do comando/monitoramento diuturno pela alta gestão das organizações. Esses **ecossistemas** devem priorizar engenharia e P&D e imprimir velocidade na identificação de desafios e proposição de soluções; devem também favorecer *startups* em *hubs* e incubadoras de empresas em uma perspectiva de longo prazo e empreender esforços no sentido de evoluir para redes interdisciplinares com centros de pesquisa, fornecedores e clientes. Com relação ao **financiamento**, recomenda-se organizar o financiamento público em programas com compartilhamento de riscos com o setor privado. As empresas também devem fazer investimentos para introduzir e/ou avançar no uso de tecnologias digitais, complementando o financiamento público, e devem buscar investir (*corporate venturing*) em empresas de base tecnológica. As **regulações** devem assegurar precisão, qualidade, segurança (inclusive de dados) e sustentabilidade ambiental.

Para **as empresas e os ecossistemas que precisam encurtar distâncias da fronteira produtiva**, a **estratégia recomendada** envolve investir no conhecimento e na implementação de soluções digitais para ganhar produtividade, e, ao mesmo tempo, fortalecer a gestão de negócios e a capacidade de entregar qualidade e preços com eficiência. Para essas empresas, as **competências essenciais** são a capacidade de gestão do negócio, em especial da produção, além de conhecimentos para a especificação e a implementação de soluções tecnológicas mais adequadas ao negócio. Para o avanço dos **ecossistemas**, recomenda-se que instituições de apoio tecnológico públicos, privados e os Institutos SENAI assumam o papel de liderar as redes e motivar as empresas, cabendo aos centros de serviços técnicos especializados o papel de oferecer soluções digitais para promover a tecnologia industrial básica, e às instituições de apoio à gestão empresarial, como o SEBRAE, promover a difusão maciça de novas práticas associadas às tecnologias digitais. É fundamental que os participantes das cadeias produtivas (especialmente grandes empresas a montante ou a jusante) participem dos ecossistemas para qualificar seus fornecedores ou clientes, e que se promovam experimentos demonstrativos de soluções digitais, como linhas de produção e *testbeds*. Com relação ao **financiamento**, é crucial promover condições de crédito favoráveis para financiar a aquisição de equipamentos, *softwares*, serviços de integração de sistemas e outros serviços digitais adequados para empresas e ecossistemas. Para o **fomento** à difusão de novas tecnologias, devem-se orientar programas de serviços técnicos especializados para desafios específicos de tecnologia industrial básica, com metas de ampliação e organizados em redes (por exemplo, Redes SENAI), e ampliar, de forma maciça e significativa, programas de apoio à gestão empresarial (tais como Brasil Mais Produtivo), visando à difusão de soluções digitais adequadas ao perfil das empresas e compreendendo focos espaciais, setoriais ou temáticos, com metas e contrapartidas estabelecidas. Com relação às **regulações**, essas devem induzir a oferta de externalidades.

Construir alicerces para todos

Com relação à **capacitação de recursos humanos**, ressalta-se que o sistema de formação profissional brasileiro público e privado e, especialmente, o SENAI, constituem agentes estratégicos para promover a evolução do perfil de qualificação dos trabalhadores brasileiros. É necessário avançar na direção de: (i) evoluir de “centros de formação” para “centros de aprendizagem”; (ii) ampliar e diversificar programas de treinamento profissional para desenvolver e renovar habilidades ao longo da vida do trabalhador; (iii) antecipar e prevenir necessidades de habilidades e talentos de trabalhadores e empresas; (iv) inserir o ensino e o uso de tecnologias digitais em todos os níveis de educação; e (v) promover estudos e debates sobre impactos do progresso técnico sobre ocupações, qualificações e trabalho, rendas e benefícios sociais.

Para promover a **capacitação das PMEs**, é necessário ampliar maciçamente programas de capacitação empresarial, assistência técnica e prestação de serviços técnicos/metrológicos, tal como o Brasil Mais Produtivo. Esses programas devem promover normas e padrões que facilitem a difusão das novas tecnologias, assegurem interoperabilidade e orientem a atuação das redes existentes de assistência às PMEs. É preciso também difundir soluções digitais e *softwares* integradores, plataformas experimentais modulares, inclusive para manufatura enxuta e eficiência energética, por meio da Rede SENAI de Institutos de Tecnologia e Institutos de Inovação, em parceria com o SEBRAE, além de financiar essas soluções por meio das instituições financeiras públicas. Para incrementar a capacitação das PMEs, é preciso mobilizar instrumentos de crédito, subvenção e capital de risco com vistas à estruturação de atividades permanentes de engenharia e P&D nessas empresas. Por fim, ressalta-se a necessidade de reforçar redes de incubadoras e aceleradoras e garantir tratamento fiscal favorável aos fundos de capital de risco.

Com relação aos **aspectos regulatórios**, precisamos de regulações contemporâneas e eficientes, o que requer, fundamentalmente, atualizar marcos legais envolvendo comunicações, CT&I, compras governamentais, biodiversidade, privacidade e segurança de rede, pesquisas e aplicações derivadas de técnicas de genômica avançada, além do “Marco Civil da Internet das Coisas”. Urge também acelerar a capacitação e a digitalização das agências reguladoras/empresas públicas, notadamente INPI, ANVISA, ANATEL, ANTT e IBAMA.

Com relação às **agências setoriais**, é urgente fazer convergir e padronizar conceitos dos normativos sobre inovação e P&D (inclusive os da Receita Federal), com vistas a aumentar a eficiência e a segurança jurídica. Além disso, é preciso disponibilizar e dar previsibilidade para os recursos de fundos setoriais operados pelas agências, além de forjar parcerias com agências de financiamento em iniciativas de promoção do desenvolvimento tecnológico orientadas por desafios e organizadas por programas, em

linha com as experiências bem-sucedidas da EMBRAPAII e do programa Inova Empresa, com mais recursos não reembolsáveis.

Para fazer **fomento com segurança jurídica**, é preciso descomprimir recursos federais destinados ao sistema de CT&I e definir projetos e programas prioritários no mais alto nível de governo, com metas compartilhadas com o setor privado. Recomenda-se ampliar escalas de suporte à inovação das instituições financeiras federais, por meio de financiamento, inclusive não reembolsável, e capitalização com custos e condições adequadas (exemplos como os da EMBRAPAII devem ser fortalecidos e ampliados), assegurando recursos para as distintas fases dos projetos prioritários, especialmente as de *scaling-up* e de manufaturabilidade. Para isso, deve-se prever a alocação de recursos adicionais, de forma previsível e não contingenciável, destinados à capacitação das instituições de C&T públicas e privadas. Recomenda-se também o aprimoramento da Lei do Bem, com ampliação das deduções, permissão de contratação parcial de P&D externa, inclusão de incentivos para investimentos em *startups*, capital semente, investidores-anjo, capital de risco etc. Adicionalmente, para garantir a segurança jurídica e a fruição dos incentivos previstos nas leis, ressalta-se a importância de fazer convergir conceitos e normas legais para uniformizar critérios de aplicação.

É preciso **um Estado integrado, conectado e inteligente** – um Estado digitalizado – para se promover ganhos de eficiência, redução de custos, transparência, qualidade e celeridade dos serviços (desburocratização). Isso requer capacitar gestores públicos para prospecção, planejamento, implementação e avaliação de programas de geração, uso e difusão de novas tecnologias. E envolve também o esforço de coordenar agências e instituições e assegurar coerência no manejo dos instrumentos financeiros e não financeiros, por meio de sistemas de gestão integrados, inteligentes e transparentes.

A experiência internacional mostra que **a sociedade deve debater novos temas éticos e regulatórios**. Como os novos temas demandam atenção, recomenda-se que haja discussão ampla e representativa e que se façam consultas públicas para balizar propostas relativas à/ao: interoperabilidade de padrões e protocolos; propriedade de bases de dados; privacidade das pessoas, segurança de comunicações e da informação para as empresas; uso e manipulação de genomas humano, animal e vegetal; propriedade e direitos de proteção de dados genômicos ou de biodados de pessoas ou organismos vivos; reciclagem de insumos, partes e peças e equipamentos relacionados a bio e nanomateriais e tecnologias digitais.

O Brasil pode e deve construir o futuro de sua indústria

Os países que pretendem ter posição de relevo em um cenário internacional multipolar e competitivo constroem proativamente seu futuro por meio de estratégias nacionais de inovação de longo prazo, estáveis, legitimadas por suas respectivas sociedades e comandadas pelo mais alto nível governamental.

O Brasil não tem mais tempo a perder: a poderosa onda de inovações tecnológicas em curso descortina riscos de retrocessos e abre oportunidades. Se ficar paralisada, a indústria brasileira corre sério risco de perder substância, levando a sociedade a abrir mão de conquistar mais valor agregado (salários, lucros, impostos) e de gerar novos serviços e empregos.

Por outro lado, as inovações combinadas e sinérgicas oferecem várias janelas de oportunidade para a indústria brasileira desenvolver novas especializações e fortalecer suas capacitações competitivas de modo sustentável. Há peculiaridades setoriais e, ao examiná-las, foi possível ao projeto I2027 apontar como fortalecer as capacidades de resposta do setor privado. A partir de um amplo mapeamento da experiência internacional, contemplando programas e iniciativas bem-sucedidas, foram especificados os alicerces para a construção de políticas públicas e devidamente explicitados seus requisitos políticos.

Não há nada que impeça a captura dessas oportunidades, salvo a nossa própria capacidade de estabelecer uma estratégia nacional firme e persistente. O Brasil pode e deve avançar, com ambição, realismo, pragmatismo, resiliência, foco e visão de longo prazo. Para isso, é imprescindível formar-se uma sólida parceria entre Estado e setor privado e a legitimação pela sociedade dos caminhos de futuro.

A direção da competitividade está estabelecida. Sempre respeitando as especificidades da concorrência, em cada mercado, a empresa competitiva é e será a empresa integrada, conectada e inteligente. O futuro constrói-se por meio de investimentos em capacitação e P&D, guiados por planos de longo prazo e implementados, dia após dia, com tenacidade.

As novas tecnologias abrem janelas para a indústria brasileira desenvolver competências e capturar oportunidades de competir, criar novos serviços, gerar empregos e contribuir para o aumento da qualidade de vida de nosso povo.



INTRODUÇÃO

Na última década assistiu-se à intensa aceleração do ritmo do progresso técnico, com a emergência de *clusters* de inovações produzindo impactos disruptivos sobre os modelos de negócio, os determinantes da competitividade e as estruturas de mercado em todas as atividades produtivas globalmente. A descrição dessas inovações e a análise de seus múltiplos efeitos sobre sistemas produtivos e setores-chave da economia brasileira foram o tema do Volume 1 – Tecnologias Disruptivas e Indústria: Situação Atual e Avaliação Prospectiva. Já no presente Volume 2 – Tecnologias Disruptivas e Indústria: Desafios e Recomendações, de caráter propositivo, busca-se compreender os determinantes da atual divisão internacional do trabalho na indústria, o papel contemporâneo dos ecossistemas de inovação e a situação das capacidades em face dos desafios e das oportunidades trazidos pelas inovações disruptivas. A revisão de estratégias de inovação em curso em vários países industriais relevantes contribui para balizar recomendações de política aplicáveis ao Brasil.

No **capítulo 7**, que abre este Volume 2, discute-se como as mudanças geoeconômicas propiciaram o surgimento de cadeias produtivas descentralizadas e sofisticadas, bem como a formação de ecossistemas internacionais de inovação interdisciplinares, com múltiplos parceiros e a participação de centros de pesquisa de excelência. No atual estágio da concorrência global, os países industriais avançados vêm articulando estratégias nacionais de CT&I assertivas, com vistas a manter ou a recuperar a dianteira em manufatura avançada e em setores de tecnologia de ponta. Os ecossistemas que se movem na fronteira tecnológica caracterizam-se por terem múltiplos parceiros, densos nexos de cooperação e interdisciplinaridade tecnológica.

A estruturação e o fomento de ecossistemas capazes de gerar inovações dependem criticamente da presença de recursos humanos altamente qualificados. A situação dos recursos humanos e das capacitações diante das inovações disruptivas é o tema do **capítulo 8**. Nele, fala-se não apenas da exigência de formação continuada de graduandos, mestres e doutores em ciências, engenharias, matemáticas, e da imprescindível presença de cientistas e profissionais altamente qualificados nas empresas, particularmente em suas atividades regulares de engenharia e P&D. Discute-se também como as inovações afetam as capacitações exigidas dos trabalhadores e se transforma a natureza do trabalho e dos vínculos laborais, com efeitos diversos sobre as características da educação e da qualificação dos trabalhadores (conteúdos, currículos, competências desenvolvidas), e também sobre as trajetórias profissionais e a evolução dos trabalhadores ao longo da vida laboral.

Assim, para fazer frente ao avanço das inovações disruptivas e diante do acirramento da concorrência internacional, vários países adotaram estratégias de grande envergadura, visando fortalecer e reposicionar suas economias. Porém, essas estratégias são

orientadas por uma visão de longo prazo e tratam o desenvolvimento industrial e a inovação não como um fim, mas como meio para alcançar objetivos ambiciosos: não só transformar o sistema industrial, mas a sociedade como um todo. Por isso, endereçam grandes desafios sociais, tais como o envelhecimento da população, a educação e o emprego, a saúde e a qualidade de vida, a redução de desigualdades regionais, a segurança energética e as mudanças climáticas. A análise dessas estratégias nacionais está detalhada no **capítulo 9**, que, ao identificar os temas recorrentes, traz algumas lições para a formulação de uma estratégia nacional brasileira.

Na sequência, o **capítulo 10** identifica, no âmbito do sistema brasileiro de inovação, as principais ações públicas e privadas no passado recente e as iniciativas atualmente em curso, bem como estruturas institucionais consolidadas, que poderiam ser mobilizadas para a formulação e a execução de uma estratégia nacional brasileira diante das inovações disruptivas. A despeito de, nas últimas duas décadas, o país ter retomado planos estratégicos nos quais a inovação tecnológica figurou como fator primordial para o aumento da produtividade e a promoção do crescimento, a formulação de uma estratégia nacional de maior alcance foi interrompida no período 2015-2017 pela superveniência da grave crise econômica e política, o que afetou duramente o sistema de C&T brasileiro e desarticulou a sua incipiente sinergia com o setor empresarial.

O desafio é maiúsculo: é preciso mover-se a uma velocidade igual ou superior à da fronteira tecnológica, sob pena de retrocedermos ainda mais. Só por meio de um salto relevante no esforço inovador será possível retomar e impulsionar o desenvolvimento industrial. Os direcionamentos propositivos e as recomendações para construir o futuro da indústria brasileira são objeto do **capítulo 11**. Nele, discute-se como a construção do futuro de nossa indústria deve partir dos legados de competências empresariais, científicas e tecnológicas e das capacitações existentes em nossos ecossistemas de inovação. Com base nas lições compiladas da experiência internacional, argumenta-se que as estratégias de inovação devem estar apoiadas em estreita concertação público-privada e requerem o engajamento do mais alto nível de comando do Estado, de modo a assegurar recursos financeiros significativos, estáveis e previsíveis em horizonte de longo prazo. Nesse capítulo também são pontuados os direcionamentos e as propostas estratégicas para os três grupos de empresas e respectivos ecossistemas produtivos e inovativos analisados neste projeto. São também especificados os instrumentos relevantes de fomento, regulação e financiamento a serem mobilizados para categoria de empresa/ecossistema, considerando-se o estágio particular de desenvolvimento em que cada um se encontra em relação à capacidade de competir e inovar.

Uma **mensagem final** encerra este Volume 2: a certeza de que a nossa capacidade de estabelecer uma estratégia nacional firme e persistente é o que vai determinar a captura das janelas de oportunidade criadas pelas inovações disruptivas aqui analisadas. Para isso, é imprescindível formar-se uma sólida parceria entre Estado e setor privado e lograr a legitimação pela sociedade dos caminhos de futuro. O Brasil pode e deve avançar, com ambição, realismo, pragmatismo, resiliência, foco e visão de longo prazo.



IMPACTOS DAS INOVAÇÕES DISRUPTIVAS SOBRE AS CGVs E A IMPORTÂNCIA CRESCENTE DOS ECOSISTEMAS DE INOVAÇÃO

7.1 Como as inovações disruptivas podem impactar as CGVs?

A conclusão da Rodada Uruguai do Acordo Geral sobre Tarifas e Comércio (GATT), em meados dos anos 1990, abriu o caminho para profundas mudanças no regime de comércio e de investimento internacional e propiciou grandes transformações no mapa da produção de bens industriais no mundo. O novo regime de comércio e os avanços na comunicação e no processamento digital de dados tornaram possível a fragmentação geográfica da produção e do consumo em muitas cadeias manufatureiras importantes. As empresas industriais puderam explorar um novo estilo de internacionalização da produção, combinando a especialização no interior de suas redes de filiais (comércio intrafirma) com compras de fornecedores independentes de outros países (*outsourcing*). Como consequência, o comércio internacional de bens industriais, intermediários e finais cresceu exponencialmente.

Paralelamente, as reformas efetuadas na China e o processo de urbanização e de industrialização da Ásia ofereceram uma gigantesca fronteira de expansão para a atividade industrial em escala global. Grandes empresas produtoras dos Estados Unidos, da Europa e do Japão transferiram parcela importante de sua produção para plantas localizadas na Coreia do Sul, em Taiwan, em Singapura e crescentemente na China. Esta última ascendeu velozmente e tornou-se a principal base global de produção e de exportação de bens manufaturados.

A consolidação dos mercados de bens industriais e o acirramento da concorrência aumentaram a importância das vantagens de custo, principalmente as decorrentes da escala de produção. As CGVs emergiram como solução eficiente para a produção em grande escala, desverticalizada e especializada geograficamente e com participação de produtores independentes. Em alguns casos, as CGVs são comandadas por grandes empresas industriais parcialmente integradas; em outros, por empresas *fabless* que apenas detêm ativos intangíveis (tais como engenharia e *design* de produtos diferenciados e suas marcas), ou, ainda, por empresas proprietárias de redes de comercialização.

Acordos multilaterais, regionais e bilaterais de comércio e de investimento foram moldados para viabilizar a expansão das CGVs. Empresas e países procuraram oportunidades de inserção no novo mapa da atividade industrial.

Do ponto de vista das empresas no comando das cadeias, as vantagens competitivas dos potenciais participantes foram reconfiguradas:

- Nos elos iniciais (a montante) são determinantes a disponibilidade e o custo de exploração de matérias-primas ou o custo de processamento de insumos industriais. Em ambos os casos a qualidade e o custo da infraestrutura logística condicionam a inserção dos produtores.
- Nos elos intermediários e finais (a jusante), custo de mão de obra, regulação, tributação e incentivos fiscais são condicionantes da inserção dos fornecedores de peças, componentes e de produtos manufaturados.

A capacidade própria de inovação, a inserção em ecossistemas de inovação dinâmicos e a antecipação do surgimento de novos negócios são fatores decisivos na disputa pela captura de valor no interior das cadeias de valor. Precisamente nesses fatores se apoia a capacidade de comandar ou de ter uma inserção mais favorável nas CGVs.

O surgimento das CGVs relativizou a importância de contar com um grande mercado doméstico de consumo como fator de atração de produtores industriais. Em contrapartida, aumentou a importância de outros fatores, tais como a disponibilidade de recursos humanos e de infraestrutura para inovação, a capacitação científica e tecnológica e a existência de ecossistemas de inovação robustos e dinâmicos.

A fragmentação da produção e do consumo de bens industriais provocou desequilíbrios comerciais e perda de empregos em países industrializados. Países com grandes mercados consumidores como os Estados Unidos, por exemplo, acumulam déficits expressivos no comércio de manufaturas. Em contrapartida, a China centralizou boa parte da produção industrial global. Esses grandes desequilíbrios alimentam tensões entre países e já estão deflagrando sérios conflitos comerciais, provocando mudanças na ordem econômica internacional construída a partir dos anos 1990, em particular na atual estrutura das CGVs.

Os *clusters* geradores de tecnologias disruptivas são outro fator potencial de mudança na estrutura das CGVs. A digitalização da produção industrial impulsionada pelo avanço da inteligência artificial, das redes, da IoT e da produção inteligente e conectada poderá impactar fortemente as atividades de manufatura e montagem que caracterizam os elos a jusante das CGVs. As tecnologias disruptivas resultam em novos produtos (BK e de bens de consumo), ao passo que produtos conectados e inteligentes geram modelos de negócios vinculados a novos serviços. As tecnologias disruptivas afetam também o processo de fabricação, não apenas aumentando os níveis de

automação e a flexibilidade, mas permitindo também aumentar a customização de produtos sem perdas das economias de escala.

O impacto disruptivo das novas tecnologias em elos das CGVs que realizam operações de fabricação de componentes e de montagem do produto final, como a automobilística, a aeronáutica, as indústrias de BK e de vestuário, é potencialmente muito importante. As novas tecnologias mudam produtos e processos de fabricação, alterando os determinantes da competitividade e da inserção das empresas e dos países na CGV. Na automobilística, o domínio das tecnologias associadas à motorização convencional perde importância relativa, e o mesmo acontece no vestuário, com o custo da mão de obra. A capacidade de lidar com tecnologias digitais torna-se mais importante em ambos os casos.

Nas indústrias de processamento, como as de insumos básicos, química, agroalimentar e de E&P de petróleo, que caracterizam os elos a montante nas CGVs, o impacto é relativamente menor. Nessas atividades, a digitalização e a automação do controle de processos já são bastante avançadas. Mesmo assim, as tecnologias disruptivas resultarão em ganhos significativos de eficiência e na redução de custos na produção e na logística. As novas tecnologias contribuem também com soluções para reduzir o impacto ambiental das plantas de processamento. Adicionalmente, a nano e a biotecnologia permitem desenvolver materiais avançados com características funcionais importantes para novos produtos.

As tensões comerciais e geopolíticas a partir de iniciativas recentes dos Estados Unidos e o potencial disruptivo das novas tecnologias tendem a produzir mudanças no mapa da produção e do consumo de bens industriais no horizonte para 2027. Empresas e países estão empenhados em redesenhar as CGVs, explorando as oportunidades que as novas tecnologias oferecem para melhorar sua inserção.

O caráter disruptivo das novas tecnologias fortalece a competitividade de empresas e países com capacidade de identificar, conceber, liderar e explorar as oportunidades emergentes. **A natureza convergente das várias tecnologias envolvidas, o estágio evolutivo em que se encontram e o amplo espectro de aplicações possíveis potencializam a importância de contar com ecossistemas de inovação densos e dinâmicos**, capazes de mobilizar com agilidade recursos oriundos de várias áreas de conhecimento, assim como empresas e instituições de diferentes perfis e focadas nas novas oportunidades de negócios.

7.2 O que são e qual a importância dos ecossistemas de inovação?

Uma característica comum às iniciativas públicas e privadas para conquistar ou melhorar posições da indústria nas CGVs, no marco das tecnologias disruptivas, tem sido o fortalecimento e/ou **a formação de ecossistemas de inovação capacitados e**

eficientes. Um ecossistema de inovação é uma rede de instituições – empresas, universidades, institutos de pesquisa, agências de fomento, consumidores, provedores de serviço, fornecedores, entre outros – interconectadas em um ambiente de negócios, centradas em uma empresa inovadora ou plataforma tecnológica, que apresenta dinâmica própria e que agrega valor para cada um de seus membros e para a comunidade como um todo, por meio de inovações (KOSLOSKY *et al.*, 2015).

Existem razões para a prevalência dessa orientação a ecossistemas de inovação: o aumento significativo da interdisciplinaridade (ou multidisciplinaridade) dos processos científicos e tecnológicos resulta no aumento do número de participantes das redes colaborativas de P&D (tanto de atores empresariais quanto de atores públicos), exigindo coordenação mais eficiente dos ecossistemas, de modo a maximizar as suas sinergias.

Não somente cresce o número de atores integrantes dos ecossistemas, mas cresce também sua diversidade, envolvendo empresas e instituições com perfis e especializações diferentes. Em acréscimo, multiplicam-se os nexos de cooperação, a frequência e a densidade das relações, inclusive dos laços de cooperação internacional.

De fato, as redes colaborativas no âmbito científico ganharam expressiva dimensão internacional, por meio da formação de arranjos de cooperação entre centros de excelência de origens distintas. Paralelamente, as empresas líderes dos ecossistemas buscam engajar parceiros (domésticos ou internacionais) que disponham de capacidades tecnológicas complementares e diversas. Estes fatores tornaram mais desafiadora a articulação das externalidades e sinergias derivadas das redes colaborativas integrantes dos ES, demandando atenção das políticas nacionais de inovação.

A interdisciplinaridade e a complexidade dos processos de CT&I têm importância acentuada no caso dos *clusters* tecnológicos abordados no I2027. Sem dúvida, tais tecnologias combinam conhecimentos de diversas áreas científicas e tecnológicas – como é, por exemplo, o caso da pesquisa em nanotecnologias, tecnologias avançadas de informação e comunicações, e na genômica, que são inerentemente interdisciplinares.

Além disso, como foi visto no Volume 1, a junção e a combinação das tecnologias digitais (supercomputação, microeletrônica, *software*, redes de comunicação, robótica, inteligência artificial e processos cognitivos) tendem a gerar impactos disruptivos, originando novos produtos derivados de biotecnologias, nanotecnologias, materiais, AE e de novo processos de produção, operação e gestão induzidos pelos avanços da IoT e da produção inteligente e conectada.

Considerando tais tendências, vários países têm fomentado programas, financiamentos e ações estimuladoras da interdisciplinaridade e da colaboração interinstitucional. Em muitos casos, esses programas são acompanhados pela oferta de infraestruturas laboratoriais, plantas de demonstração e sistemas avançados de simulação visando apoiar o *scaling-up* das inovações (O’SULLIVAN *et al.*, 2017; OECD, 2017).

O fortalecimento dos ecossistemas de inovação não apenas requer encorajar a interdisciplinaridade da pesquisa, mas também implica redefinir o conteúdo da educação e da qualificação dos trabalhadores técnicos e engenheiros, na medida em que a interdisciplinaridade exige recursos humanos mais versáteis, dotados de maior amplitude de conhecimentos e habilidades.

Por tudo isso as estratégias empresariais e nacionais para melhorar a competitividade e o posicionamento nas CGVs priorizam o fomento à interação entre as empresas e instituições que compõem as redes de P&D e inovação dos ecossistemas. Dado o caráter convergente, integrado, conectado e crescentemente inteligente das inovações disruptivas, a colaboração entre instituições de pesquisa, universidades, empresas, clientes e fornecedores é vital para o desenvolvimento, a transferência e a difusão da tecnologia.

Uma vez que os avanços científicos têm amplitude crescentemente global, a colaboração internacional torna-se relevante para os ecossistemas. Todavia, isso não implica o enfraquecimento da dimensão nacional, uma vez que as políticas de financiamento, fomento e regulação são intrinsecamente governamentais e guiadas por objetivos nacionais. Ademais, as empresas e/ou instituições líderes dos ecossistemas têm seus centros de decisão nos respectivos espaços nacionais. Além disso, as interações ocorrem mais facilmente dentro dos respectivos países, sob a influência de elementos culturais e sociais.

7.3 Ecossistemas de inovação no Brasil: quais são suas condições atuais e quais oportunidades se oferecem?

No Brasil são poucos os ecossistemas organizados que contam com empresas líderes e com instituições de CT&I próximas à fronteira das inovações disruptivas e com capacidade não apenas de acompanhá-la, mas também de desenvolver novos caminhos para além dessas fronteiras (*path-creating*). Esses ecossistemas brasileiros avançados são preciosos e deveriam receber firme e continuado suporte, tanto do sistema empresarial quanto da política de inovação de longo prazo. O país conta, ainda, com vários ecossistemas que têm elevado potencial de aproximarem-se criativamente da fronteira de inovações; porém, eles ainda exibem fragilidades e desarticulação, mas, por seus respectivos potenciais, também deveriam receber suporte público e privado firme e continuado.

No caso brasileiro, entretanto, a grande maioria dos ecossistemas encontra-se em situação relativamente precária ou carente de articulação. Vários deles contam com instituições públicas de pesquisa capacitadas, porém são deficientes no que tange à capacidade de P&D do setor privado. Em outros casos, existem empresas que desejam estruturar atividades de P&D; porém não contam com o suporte suficiente de instituições de CT&I. Ou seja, os ecossistemas no Brasil, em sua maioria, são desbalanceados e exibem lacunas, o que resulta em rarefação das atividades de inovação.

Portanto, por aqui, a ausência temporária de uma visão nacional comum, consensuada, voltada para a construção do futuro, torna mais difícil priorizar o fortalecimento dos ecossistemas brasileiros, para que possam efetivamente capturar as oportunidades criadas pelas inovações disruptivas e defletir os riscos de obsolescência e consequente perda de competitividade da indústria. Em vista disso, uma política nacional de inovação, com envergadura e visão de longo prazo, deveria ter como missão construir as bases de CT&I, mobilizar as empresas e as instituições de pesquisa para formar ES criativos e dinâmicos, em sintonia com o potencial competitivo da indústria brasileira. Esta tarefa requer persistência, paciência, ambição e visão de futuro.

Apesar da heterogeneidade dos ecossistemas de inovação brasileiros, as tecnologias disruptivas oferecem à nossa indústria oportunidades para melhorar sua inserção nas CGVs, fortalecendo e recuperando posições no mapa mundial da produção industrial. As iniciativas das empresas brasileiras e das políticas públicas para explorar as novas oportunidades de negócios que surgem na reorganização das CGVs devem ser ágeis para evitar que ou desapareçam ou sejam capturadas pelos concorrentes. Isso requer capacidade de mobilizar recursos próprios e de estabelecer alianças com outras empresas e instituições com competências complementares para enfrentar os riscos e o custo da inovação. Em suma, demanda o fortalecimento dos ES já existentes e a articulação de novas redes de inovação.

O impacto das tecnologias disruptivas nas indústrias integradas de processamento é relevante e oferece oportunidades para fortalecer e ampliar a inserção brasileira nas CGVs. É possível obter nesses setores competitivos reduções adicionais de custos e aumentos da eficiência, com investimentos relativamente baixos em comparação ao capital imobilizado, e obter, ainda, ganhos de qualidade nos produtos. É necessário que as empresas brasileiras acompanhem a nova fronteira tecnológica que advém das inovações disruptivas.

Produtores brasileiros ocupam posições competitivas consolidadas nos elos a montante das CGVs, na produção de insumos básicos, na E&P de petróleo e nas *commodities* agrícolas, fibras e insumos de origem agrícola/florestal. As inovações disruptivas podem ampliar as vantagens competitivas desses produtores brasileiros no mercado global, em um contexto em que a eficiência e a sustentabilidade ambiental ganham importância como fatores de competitividade nessas atividades. Os ecossistemas articulados às atividades desses produtores têm condições para evoluir com a nova fronteira tecnológica propiciada pelas tecnologias disruptivas e manter a posição competitiva do Brasil nessas CGVs.

A inserção da indústria brasileira nas atividades de manufatura que caracterizam os elos a jusante das CGVs é mais heterogênea. Produtores brasileiros ocupam posições sólidas em alguns nichos globais de consumo e de BK; mas, em outros casos, a competitividade é insuficiente para atingir uma inserção mais favorável. A indústria brasileira

tem perdido posições para a China e outros países da Ásia na produção de BK, bens de TIC e de bens de consumo e de seus componentes.

As novas tecnologias relativizam as vantagens de mão de obra barata e de escala que sustentam a competitividade de alguns concorrentes do Brasil, na medida em que intensificam a automação e o potencial de customização dos produtos. Em contrapartida, intensificam o uso do capital, de custo elevado no Brasil, e demandam a capacidade de utilizar tecnologias digitais e a introdução de inovações organizacionais e de novos modelos de negócios. Não obstante esses desafios, a conquista de ganhos de produtividade, o desenvolvimento de produtos inovadores e o aproveitamento das oportunidades derivadas das necessidades de customização poderiam abrir oportunidades interessantes para ganhar competitividade e recuperar posições no *ranking* mundial.

O principal desafio para os segmentos da manufatura brasileira menos competitivos consiste em ultrapassar os limites de uma disseminação muito defasada e desigual das novas tecnologias entre as empresas. Com capacidades e competências extremamente desiguais para transitar para uma nova geração de tecnologias, grandes empresas de BK, filiais estrangeiras ou nacionais, convivem com PMEs de base tecnológica e com produtores menos sofisticados. Assim, o ganho e mesmo a manutenção de posições de mercado dependem do alcance e da velocidade de aprendizado e de absorção das novas tecnologias para além do grupo de empresas líderes, de modo que os ganhos de produtividade espalhem-se de forma mais ampla na estrutura produtiva. Este é, aliás, um desafio comum que diversos países vêm enfrentando para reforçar a capacidade de engenharia e de P&D de suas respectivas PMEs.

Sublinhe-se, porém, que existem segmentos da indústria manufatureira muito competitivos, nos quais produtores brasileiros ocupam posições de liderança em nichos das CGV, como, por exemplo, na indústria aeronáutica, nos equipamentos agrícolas e nos motores elétricos. Nesses casos, as empresas brasileiras podem utilizar as competências já acumuladas para explorar as novas tecnologias e evoluir com a fronteira tecnológica.

A incorporação das inovações disruptivas pode representar para esses produtores uma oportunidade para avançar em suas principais competências, além de permitir diversificar sua atuação para segmentos que estão sendo criados a partir destas novas tecnologias: no caso dos motores elétricos, desenvolvendo soluções de motorização elétrica ou híbrida para caminhões e ônibus; nos equipamentos agrícolas, desenvolvendo novos equipamentos inteligentes e conectados; na indústria aeronáutica, internalizando a produção de componentes, criando fornecedores de primeiro nível ou desenvolvendo produtos diferenciados. Nos três casos, o Brasil conta com ecossistemas de inovação fortes e dinâmicos para alavancar estratégias de negócios mais inovadoras e explorar a competitividade acumulada.

Em suma, se as tecnologias disruptivas, de um lado, aguçam os riscos, de outro propiciam oportunidades efetivas para fortalecer a inserção competitiva das empresas brasileiras e para recuperar posições nas CGVs. Iniciativas públicas e privadas convergentes e ágeis de fortalecimento dos ecossistemas de inovação são indispensáveis para que as oportunidades possam ser exploradas.

7.4 Referências bibliográficas

KOSLOSKY, M. A. N.; SPERONI, R. M.; GAUTHIER, O. Ecossistemas de inovação: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Espacios**, v. 36, n. 3, p. 13, 2015.

O'SULLIVAN, E. *et al.* What is new in the new industrial policy? A manufacturing systems perspective. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 29, n. 2, p. 432-462, 2013.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **The next production revolution**: implications for governments and business. Paris: OECD Publishing, 2017.



8

RECURSOS HUMANOS E CAPACITAÇÕES DIANTE DAS INOVAÇÕES DISRUPTIVAS

Entre as inovações disruptivas, a digitalização tem alcance abrangente e interfere não somente na totalidade dos processos produtivos, mas também nos modelos de organização das empresas em todos os ramos da atividade econômica. Parcela relevante da preocupação com a difusão de tecnologias de base digital compreende avaliações divergentes sobre os impactos quantitativos e qualitativos trazidos sobre o emprego e as qualificações da força de trabalho requeridos pelas novas formas de projetar, produzir, comprar, vender e gerenciar.

8.1 Quais seriam os impactos sobre competências e qualificações?

Em uma sociedade industrial tradicional, a ideia de “profissionalização” desempenha um papel central para normalizar as competências necessárias à resolução de problemas na órbita da produção. À medida que se avança para uma sociedade digital, no entanto, as profissões, em sua forma atual, podem não ser mais a melhor resposta para essas necessidades.

De um lado, na “natureza” do trabalho observa-se uma evolução paulatina em termos da valorização de determinados atributos: (i) ênfase nas tarefas (*tasks*) desempenhadas, que podem ser rotineiras ou não rotineiras, manuais ou cognitivas; (ii) ênfase nos conhecimentos (*knowledge*) necessários para desempenhar as tarefas mencionadas, os quais podem ser tácitos ou codificados, simples ou complexos; (iii) ênfase nas competências (*competences*) desenvolvidas no processo de trabalho, que estariam associadas à aplicação prática de conhecimentos na resolução de problemas; (iv) ênfase em habilidades (*skills*) que estariam associadas tanto a competências técnicas quanto a capacidades sociocognitivas, que se integram por meio de processos de aprendizado e podem ser aplicadas de forma flexível em múltiplos contextos.

De outro, na relação de trabalho também se verifica uma evolução dos atributos básicos condicionantes, que passam a abarcar desde uma estrutura de “ocupações” bem definida, associada às tarefas rotineiras executadas no ambiente de trabalho, ou a “profissões” vinculadas a capacitações formais e estáveis que delimitam uma “carreira profissional”, mas também a relações empregatícias flexíveis, que podem desconectar-se de profissões tradicionais e vincular-se a habilidades específicas, resultando em “percursos” profissionais individualizados.

Considerando essa evolução, o futuro do trabalho terá necessariamente de depender de forças cerebrais exclusivamente humanas, associadas à flexibilidade decorrente da capacidade para processar e integrar muitos tipos de informação e para realizar tarefas complexas, comunicando-as a outras pessoas. Nessa visão, os empregadores devem concentrar-se em criar um trabalho que aproveite as capacidades estritamente humanas, como curiosidade, imaginação, criatividade e inteligência social e emocional. Nesse sentido, mais de 30% dos novos empregos com altos salários estariam vinculados a atributos sociais “essencialmente humanos” (LEVY; MURNANE, 2013). O aumento da diversidade da força de trabalho provavelmente aumentará a demanda por um trabalho mais criativo, com destaque para o surgimento de trabalhos “híbridos”, que integram habilidades técnicas e a capacidade de gerenciamento de projetos, mobilizando competências associadas a diversos domínios do conhecimento.

Nesse novo cenário de trabalho, o sucesso pessoal dependerá, em grande parte, da aceleração do aprendizado ao longo de toda a carreira do indivíduo. Historicamente, uma carreira era definida como um conjunto relativamente estável e previsível de capacitações que se alinhavam às necessidades de uma organização e de uma indústria. No entanto, nesse novo cenário, em vez de depender de empregadores para moldar a natureza e a progressão de suas carreiras, os trabalhadores precisarão tomar a iniciativa, cultivando uma mentalidade que lhes permita “transitar” entre diferentes empregos, sempre atentos a habilidades emergentes de alto valor e aos requisitos de capacitação associados a elas.

Enquanto a necessidade de habilidades técnicas permanece forte, ganha importância a necessidade de pessoas com habilidades em comunicação, interpretação e pensamento sintético. Essas funções exigem novos tipos de habilidades sociais que raramente são desenvolvidas por meio de cursos técnicos formais em matemática ou engenharia, estando associadas a uma formação mais ampla em comunicação escrita, inglês, história, arte e negócios. Essas novas habilidades sociais determinam, por sua vez, uma mudança da educação focada nas áreas STEM (do inglês *science, technology, engineering and math*, ou ciências, tecnologia, engenharia e matemática), para uma educação focada em STEAM, que inclui também a cultura geral e a educação artística (representadas, na sigla, pela letra A, de *arts*).

A aquisição de habilidades apropriadas para enfrentar os desafios criados pelo advento das tecnologias de base digital só pode ser alcançada por meio da reestruturação e da modernização dos currículos escolares, especialmente nos campos da informática, lógica, pensamento criativo, resolução de problemas, trabalho de projeto e trabalho em equipe. Isso requer uma mudança em todos os níveis de ensino, incluindo mecanismos formais e não formais de aprendizagem e novos modelos de educação. A necessidade de superar os “casulos” tradicionais das disciplinas científicas que caracterizam a maior parte da educação atual constitui um desafio que deve ser enfrentado rapidamente.

Box 2 – Está em curso uma revolução de habilidades?

Diversos estudos mencionam de forma recorrente transformações no mercado de trabalho associadas à denominada “revolução das habilidades”. Nessa perspectiva, as habilidades de conteúdo (que incluem alfabetização em tecnologias digitais e aprendizado ativo), as habilidades cognitivas (como criatividade e raciocínio matemático) e as habilidades de processo (como capacidade de interação e pensamento crítico) tornam-se uma parte crescente dos requisitos essenciais para muitas atividades. Ao mesmo tempo em que a demanda por habilidades está evoluindo rapidamente em um nível agregado, o grau de mudança dos requisitos de habilidades dentro das famílias de empregos individuais e ocupações é ainda mais pronunciado.

No entanto, não há uma definição universal para essas habilidades. Nesse sentido, é comum se estabelecer uma diferenciação entre três tipos de “habilidades” vinculadas ao processo de aprendizagem. O primeiro refere-se à aplicação de habilidades essenciais às tarefas diárias, que decorreria de múltiplas formas de alfabetização: escrita, matemática, científica, em TIC, financeira, cultural e cívica. O segundo tipo refere-se à aplicação de competências na abordagem de problemas e desafios complexos, que incluem o pensamento crítico, o exercício da criatividade e a capacidade de comunicação e colaboração. Por fim, destacam-se habilidades de “caráter” que definem como os agentes se posicionam em um ambiente em mudança, o que inclui aspectos como a curiosidade, a capacidade de iniciativa, o grau de persistência e adaptabilidade, a capacidade de liderança e a consciência social e cultural.

Relatório da Deloitte Access Economics (2017) prevê que as ocupações intensivas em *soft skills* representarão dois terços de todos os empregos até 2030, em comparação com a metade de todos os empregos em 2000, com o número de empregos nessas ocupações devendo crescer 2,5 vezes a taxa de empregos em outras ocupações.

Fonte: Elaboração I2027 com base em Deloitte (2017) e Levy e Murnane (2013).

8.2 Qual a situação da educação e da formação profissional no Brasil?

Em face das transformações e dos impactos abordados nos relatórios internacionais sobre o tema, um aspecto crítico diz respeito aos desafios colocados para a educação profissional. No Brasil, as matrículas na educação profissional apresentaram crescimento expressivo entre 2008 e 2015, atingindo um contingente de mais de 1,9 milhão de matrículas. No entanto, de 2015 para 2017 houve uma queda de 4,5% nessas matrículas. De acordo com o Censo Escolar 2017, as matrículas totais no Ensino Médio totalizavam 7.930.384, enquanto as matrículas no Ensino Profissional perfaziam 882.392,

equivalendo a 11,1% dos alunos do Ensino Médio regular. Desses, 554.319 referiam-se a cursos técnicos integrados ao Ensino Médio regular, e 328.073 a cursos técnicos concomitantes ao Ensino Médio regular. Apesar de os dados do Censo da Educação Básica revelarem uma tendência de melhora nas matrículas na Educação Profissional, por conta do Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (PRONATEC), é preciso acelerar esse crescimento, pois, no cenário mundial, os números do Brasil na Educação Profissional ainda ficam muito distantes da maioria dos países desenvolvidos, principalmente o Ensino Profissional integrado ao Ensino Médio. Isso porque apenas 47,7% dos que optam pela Educação Profissional no Brasil o fazem após a conclusão do Ensino Médio.

No caso das projeções sobre a evolução do mercado do trabalho e os impactos sobre a formação profissional, destacam-se as estimativas elaboradas pelo SENAI no âmbito do Mapa do Trabalho 2017-2020,¹¹ divulgado em 2016. O Mapa indica que, no período de 2017 a 2020, devem ser gerados cerca de 4 milhões de novos empregos. O estudo também aponta para a existência de mais de 13 milhões de profissionais a serem qualificados até 2020 em ocupações industriais, sendo 7.199.946 em ocupações com qualificação até 200 horas; 3.348.382 em ocupações com qualificação com mais de 200 horas; 1.836.548 em formação técnica; e 625.448 em formação superior.

Ampliando a análise para a formação educacional de nível superior, observa-se que, entre 2003 e 2016, as matrículas na Educação Superior no Brasil dobraram, alcançando 8 milhões de alunos. A taxa bruta de matrícula no Ensino Superior, que corresponde ao número de pessoas matriculadas no Ensino Superior, independentemente da idade, mais do que dobrou de 2001 para 2015, saltando de 16,5% para 34,6%. No entanto, a taxa líquida de matrícula, definida pelo percentual de matrículas daqueles que têm a idade esperada para estar no Ensino Superior (18 a 24 anos), ainda é muito baixa, com apenas 18,1% dos 22.868.301 jovens com idade entre 18 a 24 anos no Ensino Superior no Brasil.

Observa-se um crescimento de 74,8% em termos do número de instituições de Ensino Superior no Brasil entre 2001 e 2016, sendo que 87,7% dessas instituições são da rede privada. Dados da publicação *"Education at a Glance 2016"* (OECD, 2016) mostram que, nas últimas décadas, o acesso ao Ensino Superior expandiu-se notavelmente, sendo que, em 2013, cerca de um em cada três adultos nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) atingiu uma qualificação de nível superior, enquanto, no caso do Brasil, apenas 15% da população entre 25 e 64 anos atingiu esse nível de ensino. Além disso, no Brasil, 64% dos diplomas universitários concentram-se em áreas de ciências humanas e sociais, e apenas 16% nas áreas de STEM, enquanto em países como Alemanha e Coreia do Sul, por exemplo, os percentuais de graduados nessas áreas são de 37% e 30%, respectivamente. Apesar dessa defasagem, observa-se um crescimento de 39% das matrículas na graduação tecnológica entre 2009 e 2016 (evoluindo de 680.679 para 946.229 matrículas), contra 35,2% de crescimento das matrículas totais na

¹¹ Para saber mais, visite: <<http://www.portaldaindustria.com.br/agenciacni/noticias/2016/10/industria-precisa-qualificar-13-milhoes-de-trabalhadores-ate-2020/>>.

Educação Superior no mesmo período (evoluindo de 5.594.021 para 8.048.721 matrículas). Observa-se também que, entre 2009 e 2015, as matrículas na graduação tecnológica a distância aumentaram 102,5%, revelando um ritmo mais acelerado de crescimento do que as matrículas na graduação tecnológica presencial, que cresceram 26,9%.

Diversas áreas do conhecimento no campo da Educação Superior serão impactadas com a expansão da Indústria 4.0. No entanto, as engenharias se destacam.¹² Estudo recém-publicado pela Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) (CIMOLI, 2018) mostra o descompasso entre o avanço da taxa de digitalização dos países latino-americanos e o índice de capital humano, que vem a ser uma combinação da proporção de pessoas com mais do que 11 anos de estudo (mais do que Ensino Médio) e também da proporção de engenheiros na força de trabalho. Enquanto a digitalização cresceu 145% entre 2004 e 2014, o índice de capital humano cresceu apenas 23% em igual período (figura 12). Embora o estudo não individualize dados para o Brasil, há evidências demonstrando que a situação aqui não é muito distinta. Assim, algumas universidades brasileiras já trabalham na readequação de seus currículos. A Escola Politécnica da USP, por exemplo, pretende criar um novo curso, chamado Engenharia da Complexidade.

Figura 12 – Índice de digitalização e de capital humano para a América Latina, 2004-2014



Fonte: Elaboração I2027 com base em Cimoli (2018).

12 De acordo com o relatório "Future of Jobs and Skills", do Fórum Econômico Mundial (WEF, 2016), outras áreas também deverão se tornar mais importantes nos próximos anos. Uma delas é a de analista de dados, que ajudará as empresas a avaliar a enorme quantidade de informações, e, assim, oferecer suporte à gestão de suas estratégias de negócios. Já os coordenadores de robótica serão responsáveis por supervisionar o funcionamento dos robôs, atuando na manutenção preventiva dessas máquinas. Também os representantes de vendas deverão ganhar destaque.

A questão relativa à formação de engenheiros no Brasil gerou, anos atrás, grande polêmica, com alguns analistas chamando a atenção para a importância da engenharia nas atividades de inovação e para o fato de o Brasil situar-se nas piores posições em termos da proporção de engenheiros por habitantes, qualquer que fosse o universo selecionado de países. No entanto, a evolução mais recente do processo de formação de engenheiros no Brasil relativizou essa polêmica. Em especial, a expressiva ampliação do número de matrículas em cursos de engenharia, especialmente após 2009, atenuou esse problema, embora, em contrapartida, tenham sido criados outros, notadamente aqueles associados à necessidade de colocação desses profissionais e de requalificação deles em um contexto conturbado em função dos impactos de uma crise macroeconômica persistente.

De fato, impulsionado pela demanda por profissionais qualificados, pela resposta positiva do setor educacional e pela introdução de políticas de financiamento voltadas ao Ensino Superior, ocorreu uma explosão no número de matrículas em engenharia, que cresceram, entre 2004 e 2008, a uma taxa média de 9,2% ao ano, número bem próximo da então taxa de crescimento do número de concluintes em cursos de engenharia. Nos sete anos seguintes, as matrículas em cursos de engenharia atingiram expressivos 14,6% ao ano, enquanto o ritmo de crescimento dos concluintes foi um pouco menor, em função do aumento da evasão, embora se mantivesse na casa dos dois dígitos. No entanto, em simultâneo, o ritmo médio de crescimento do PIB cairia de forma pronunciada, culminando com uma retração econômica que já dura três anos.

Assim, enquanto em 2001 os concluintes em engenharia civil representavam apenas 1,4% do total de egressos, em 2015 passaram a responder por 2,9%. Por sua vez, as demais engenharias, antes responsáveis por 3,7% dos egressos, agora somam 7,0%. Em 15 anos, a soma desses percentuais dobrou. A evolução do percentual de ingressantes é ainda mais expressiva: o conjunto das engenharias, que totalizava 6,3% das novas matrículas em 2001, chegou a 15,5% em 2015.

Porém, não obstante esses avanços, os problemas persistem: ainda que na conjuntura atual não haja uma demanda firme para os 100 mil engenheiros formados, nossos números, em termos estruturais, continuam baixos na comparação internacional. Cumpre também observar que, principalmente com os novos requisitos de qualificação decorrentes das novas tecnologias digitais, o perfil dos egressos e a formação de engenheiros continuam desfocados em relação às novas necessidades impostas pelas transformações aqui analisadas. Nesse sentido, a questão da qualidade do ensino e do preparo profissional talvez tenha se agravado, enquanto os números da formação em nível de pós-graduação continuam modestos e preocupantes, com a participação da área de engenharias no total de doutores titulados no Brasil tendo se reduzido de 13,8%, em 1996, para 9,6%, em 2014 (ver box 3).

Box 3 – Recomendações para a formação de recursos humanos para a inovação, com ênfase no ensino de engenharia no Brasil

O estudo “Recursos humanos para inovação”, elaborado no âmbito da MEI e publicado em 2016, traçou um raio-X da situação da formação de nível superior no Brasil, com ênfase nas carreiras de engenharia. O estudo delineou um conjunto de recomendações, sumarizadas nas onze propostas listadas a seguir:

- (i) Revisar as diretrizes curriculares, no sentido de desenvolver competências interpessoais no campo da engenharia;
- (ii) Revisar o marco regulatório e as diretrizes curriculares para superar a especialização prematura e formar profissionais mais generalistas;
- (iii) Criar laboratórios de ensino e de projetos pilotos de renovação do ensino de engenharia e apoiar inovações pedagógicas que fortaleçam a criatividade;
- (iv) Fortalecer a formação em ciências e matemática no ensino médio;
- (v) Ampliar o intercâmbio internacional na educação em engenharia;
- (vi) Incentivar a interação cursos e docentes de engenharia com o mercado;
- (vii) Rever a visão extremamente acadêmica da pós-graduação;
- (viii) Reduzir as taxas de evasão nos cursos de engenharia;
- (ix) Aumentar a integração entre os cursos de engenharia e o setor produtivo, incentivando a participação de profissionais das empresas na formulação de currículos;
- (x) Criar área de pós-graduação em educação em engenharia;
- (xi) Priorizar a expansão dos cursos de tecnólogos associados às áreas de engenharia.

Fonte: Elaboração I2027 com base em CNI (2016).

8.3 Qual a orientação das políticas de emprego e formação profissional em outros países e quais as lições para o Brasil?

Mesmo nos países líderes há evidências de que parcela substancial dos investimentos e políticas adotados para apoiar a força de trabalho está sendo profundamente repensada em face das transformações em curso. Embora as opções de políticas variem de país a país, há indícios de que todas as sociedades precisarão abordar cinco áreas principais para gerenciar as rápidas transições experimentadas pela força de trabalho. São elas:

- (vii) **Incrementar o dinamismo do mercado de trabalho**, estimulando maior mobilidade e mais fluidez, necessárias para gerenciar as difíceis transições previstas, mobilizando plataformas de talentos digitais surgidas em função da ascensão da

economia *gig*, combinando trabalhadores e empresas na busca por habilidades e oferecendo-lhes novas oportunidades de articulação.

- (viii) Atualizar as regulamentações do mercado de trabalho, para garantir que os empregos de alta qualidade sejam preservados e que as incertezas remanescentes sobre os benefícios dos trabalhadores sejam resolvidas.

Nesse sentido, são muitos os desafios regulatórios que devem ser destacados. É necessário avanços na definição mais precisa dos parceiros contratuais em qualquer vínculo empregatício; na formalização de cláusulas contratuais que protejam os trabalhadores nos novos modelos de emprego; no esclarecimento do conceito de “trabalhador em domicílio” e dos deveres e direitos subjacentes; no estabelecimento de leis e fóruns aplicáveis para resolver eventuais conflitos entre empregador e empregado; na regulamentação do trabalho realizado nas plataformas *web* (inclusive o *crowdsourcing*); na regulamentação das condições de auto-organização e empreendedorismo *on-line*; no apoio a formas inovadoras de sindicalização e negociação coletiva para o trabalho *on-line*.

- (ix) **Revolucionar os modelos educacionais**, que foram projetados para uma sociedade industrial tradicional e não mudaram fundamentalmente em 100 anos, no sentido de aumentar a aderência a uma nova economia do conhecimento em rápida evolução.

A reforma educacional visa introduzir mais criatividade e dinamismo na aprendizagem, além de maior diversidade nos sistemas escolares. Trata-se de um esforço necessário para preparar os trabalhadores para os amplos impactos da difusão de tecnologias digitais. Em uma perspectiva de estímulo à educação continuada ao longo da vida profissional, os formuladores de políticas enfrentam o desafio de repensar a educação, de modo a extrair as capacidades criativas dos trabalhadores e estabelecer condições para ajudar todos a desenvolverem seus talentos mais rapidamente ao longo de suas vidas profissionais. Trata-se, nesse caso, de facilitar o acesso à educação e à formação contínua ao longo de uma carreira profissional que pode abranger 50 anos e muitos tipos diferentes de trabalho.

- (x) **Dimensionar melhor e reformular o aparato de treinamento profissional**, no sentido de focar o desenvolvimento de habilidades da força de trabalho, incluindo mecanismos de reciclagem profissional que permitam aos indivíduos aprender novas habilidades ao longo de sua vida profissional.

É mister a institucionalização de programas nacionais de treinamento ao longo da vida, voltados especialmente para aqueles trabalhadores com habilidades gerais limitadas, cujas ocupações são mais suscetíveis de serem substituídos pelas novas tecnologias. Nesse contexto, aumenta a importância de programas nacionais de treinamento de adultos que enfoquem a melhoria das habilidades

gerais e especificamente as habilidades teóricas, cognitivas e digitais. Ao focar as habilidades gerais, o programa complementar, em vez de substituir, o treinamento iniciado pelo empregador em habilidades práticas (específicas para a ocupação na indústria).

- (xi) **Fornecer apoio à renda e outras formas de assistência no processo de transição de trabalhadores**, contemplando, além da reciclagem, uma vasta gama de políticas, incluindo seguro-desemprego, assistência pública para encontrar trabalho e benefícios que acompanhariam os trabalhadores entre os empregos – tratando-se, nesse caso, de políticas mais permanentes para suplementar a renda, como políticas salariais mínimas mais abrangentes, renda básica universal ou garantia de ganhos salariais vinculados à produtividade. O estudo *“The Future of Jobs”*, do Fórum Econômico Mundial (WEF, 2016), aponta que é crucial fornecer reciclagem e proteção social para os trabalhadores que podem ver seu trabalho significativamente reduzido ou totalmente reestruturado em termos de tarefas. No entanto, as mudanças ocorridas no mundo do trabalho, com crescente flexibilização contratual, indicam que será mais difícil direcionar o treinamento e a reciclagem. Portanto, o risco de esgotamento do capital humano pode crescer. Isso significa que novos arranjos terão que ser criados para efetivamente compartilhar o ônus do treinamento (regular) entre os trabalhadores individuais, os empregadores e o Estado.

A necessidade de redesenhar políticas ativas de emprego adaptadas a um mundo de trabalho flexível exige que os governos encontrem formas mais inovadoras de intervenção. Hoje, a educação financiada pelo Estado é direcionada principalmente para crianças e jovens adultos que ainda não estão empregados. No futuro, tais acordos precisam se concentrar tanto em trabalhadores empregados quanto em candidatos a emprego com o objetivo de melhorar sua empregabilidade.

O cumprimento desses objetivos vai requerer parcerias público-privadas inovadoras entre escolas, universidades, empresas e provedores de treinamento.

Apoiar a empregabilidade não pode mais ser uma ação pontual e deve envolver uma série de medidas e instrumentos que podem ser personalizados conforme as diferentes fases da vida profissional. Como é mais provável que os trabalhadores mudem de empregadores, empregos, setores e mesmo de países, os benefícios e a proteção devem estar ligados ao indivíduo, e não a empregos ou a situações claras de desemprego, o que prejudicaria aqueles com empregos fora do padrão.

É interessante que a própria revolução digital possa ajudar no desenho dessas novas formas de ação, em função de se tornar um fator crítico o próprio acesso a informações que possibilitem calibrar as intervenções. Isso porque o uso de microdados sobre as trajetórias profissionais pode ser absolutamente necessário para medir a resiliência do trabalho, direcionando investimentos, avaliando o retorno da intervenção pública e redirecionando-a para onde ela é mais necessária. Nesse sentido, o uso de *big data* oferece uma oportunidade para rastrear e antecipar lacunas nas habilidades, mapear

incompatibilidades e a polarização no mercado de trabalho, bem como ajustar as necessidades dos empregadores com as capacidades dos trabalhadores. Essa tecnologia também pode auxiliar os indivíduos a identificar possíveis opções de carreira, requisitos de educação e treinamento, além de possibilidades de remuneração no mercado de trabalho. Adicionalmente, pode ser necessário modernizar e expandir as classificações de trabalho, dadas as transformações em andamento.

No caso de países em desenvolvimento, para os quais o processo de transição profissional tende a ser particularmente traumático em função dos *gaps* de qualificação e habilidades e das pressões pela absorção de contingentes crescentes de mão de obra, além das recomendações gerais já mencionadas, alguns desafios particulares devem ser considerados. Um desafio importante quando se busca discutir o futuro dos empregos no mundo em desenvolvimento é que a agenda de transformações no mundo do trabalho e os meios descritos para acompanhar e intervir sobre essas transformações refletem principalmente a realidade das economias desenvolvidas. Assim como a baixa renda em uma economia limita o número de bons empregos disponíveis, ela também está associada a várias outras características adversas dos mercados de trabalho, incluindo uma maior insegurança no emprego, proteções sociais limitadas e elevados custos de informação. Uma intervenção política eficaz deve reconhecer esses problemas e mobilizar os instrumentos disponíveis, inclusive as próprias tecnologias digitais, para o enfrentamento deles.

De forma mais ampla, as crescentes exigências de qualificações e habilidades apontam para a necessidade de construção de um “ecossistema” de educação e formação profissional que seja capaz de atender às necessidades dos trabalhadores em termos da aquisição de conhecimentos técnicos e habilidades, orientando as trajetórias profissionais de cada indivíduo no sentido da aprendizagem contínua. Algumas implicações importantes podem ser extraídas dessa constatação: por um lado, faz-se necessária uma mudança de foco dos “centros de formação” para os “centros de aprendizagem”; por outro, é imperiosa a reorientação do horizonte da formação profissional para o longo prazo.

Por fim, nunca é demais insistir que, em meio a tantos desafios e dificuldades, o problema mais grave está nas deficiências do conjunto do sistema educacional e da fragilidade da base de recrutamento ao final do Ensino Médio, que constituem os principais obstáculos à expansão da escolaridade superior no Brasil. Nesse sentido, é importante considerar que, em nenhum país, os requisitos de mão de obra qualificada para a inovação restringem-se aos profissionais de nível superior. No Brasil, em particular, há uma forte demanda e um visível gargalo no tocante à formação profissionalizante. Apesar de uma maior ênfase recente de algumas Unidades da Federação (UFs) nessa formação e das ações do Ministério da Educação (MEC) e do SENAI, os déficits de formação técnica de nível médio e formação profissional no Brasil ainda são enormes e irão demandar maior atenção, inclusive com melhoria do planejamento, da execução

das ações de treinamento e de um foco maior em determinadas habilitações, áreas de conhecimento e regiões consideradas prioritárias.

8.4 Referências bibliográficas

CIMOLI, M. (Coord.). **Datos, algoritmos y políticas**: la redefinición del mundo digital. Santiago: CEPAL, 2018. (LC/CMSI n. 6/4).

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Recursos humanos para inovação**. Brasília: CNI, 2016.

DELOITTE. Soft skills for business success. **Deloitte Access Economics**, May 2017. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/au/Documents/Economics/deloitte-au-economics-deakin-soft-skills-business-success-170517.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

LEVY, F.; MURNANE, R. Dancing with robots: human skills for computerized work. **Third Way Think Tank**, June 2013. Disponível em: <<http://content.thirdway.org/publications/714/Dancing-With-Robots.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Education at a Glance 2016**: OECD Indicators. Paris: OECD Publishing, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.187/eag-2016-en>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

WEF – WORLD ECONOMIC FORUM. **The Future of Jobs**: employment, skills and workforce strategy for the Fourth Industrial Revolution. Cologny: WEF, 2016. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2018.



9

ESTRATÉGIAS NACIONAIS: PAÍSES CONSTROEM SEU FUTURO

9.1 Países constroem seu futuro

Nas últimas décadas, a economia global vem atravessando profundas transformações dos padrões de concorrência, produção e consumo. As inovações disruptivas estão promovendo uma reestruturação territorial e organizacional da produção mundial de manufaturas, paralelamente a um crescente processo de concentração e centralização da produção em grandes corporações globais. Diante do avanço das inovações disruptivas, vários países adotaram estratégias de grande envergadura que orientam suas políticas públicas e mobilizam o setor privado, com vistas a fortalecer e reposicionar suas economias. Esses novos planos são orientados por uma visão de longo prazo que definem missões de desenvolvimento tecnológico.

Ainda que essas estratégias sejam seletivas, com programas para determinados *clusters* tecnológicos e/ou sistemas produtivos, a prioridade é o alcance das missões orientadoras. Assim, promovem também medidas horizontais que mobilizam as distintas capacidades de empresas, universidades e agências públicas em uma direção específica.¹³ Essas estratégias tratam o desenvolvimento industrial e a inovação não como um fim, mas como meio para alcançar objetivos ambiciosos: não só transformar o sistema industrial, mas a sociedade como um todo, endereçando grandes desafios sociais – tais como envelhecimento da população, educação e emprego, saúde e qualidade de vida, redução de desigualdades regionais, segurança energética e mudanças climáticas.

O Brasil ainda não construiu consenso em torno de uma visão e uma estratégia de longo prazo. As oportunidades continuam abertas, mas os riscos se acumulam: o país deveria definir com urgência uma estratégia de longo prazo. Para ter referências internacionais, este capítulo analisa estratégias e programas de países selecionados, em função do significativo esforço e da densidade dos planos elaborados: Estados Unidos, Alemanha, China, Japão, Reino Unido, Coreia do Sul e França. Também são apresentados exemplos de programas relevantes de outros países: Estônia, Suécia, Singapura e Irlanda. O objetivo é identificar como cada país definiu sua agenda estratégica

¹³ Políticas horizontais endereçam desafios relevantes, tais como formar recursos humanos qualificados, capacitar PMEs, oferecer externalidades-chave na forma de redes de laboratórios avançados e programas de assistência tecnológica. Políticas verticais para *clusters* tecnológicos ou para focos setoriais fomentam ecossistemas de inovação que articulam redes colaborativas de empresas, *startups*, universidades e agências públicas em direções específicas.

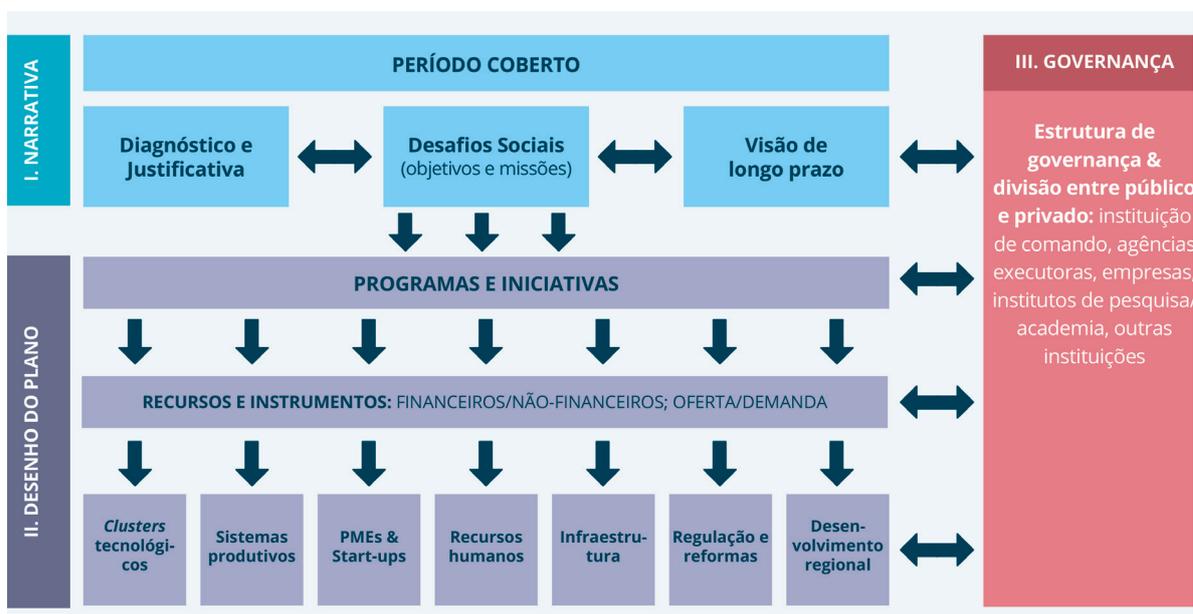
orientada a missões, como esta agenda está sendo implantada, quais são os focos das principais iniciativas e quais lições podem ser tomadas para o Brasil.

9.2 Do diagnóstico à construção de visões e implementação de estratégias

O exame das estratégias nacionais segue um quadro analítico (figura 13) que divide o exercício em três dimensões:

- **Diagnóstico e prognóstico** – como o plano estratégico estabeleceu a situação e o posicionamento geopolítico nacional, e explicita a visão de longo prazo que orienta as missões de desenvolvimento tecnológico (objetivos).
- **Desenho do plano** – discute os programas e as iniciativas prioritárias, quer verticais (com foco em *clusters* tecnológicos ou sistemas produtivos), quer horizontais (apoio a PMEs e *startups*, incluindo capacitação de recursos humanos, investimentos em infraestrutura de CT&I, promoção de desenvolvimento regional e estabelecimento de novos marcos e reformas regulatórias); arrola os recursos financeiros disponibilizados, suas fontes e os principais instrumentos mobilizados (tanto do lado da oferta quanto da demanda e incluindo-se instrumentos não financeiros).
- **Governança e divisão entre público e privado** – analisa a estrutura de governança e as instâncias envolvidas no nível superior; identifica a equipe de coordenação responsável pelas prioridades, pelo direcionamento estratégico e pela estruturação da rede de instituições público e privadas; discute as agências executivas, bem como os agentes privados (empresas, associações de classe, outras instituições privadas) e públicos (laboratórios oficiais, universidades, empresas estatais).

Figura 13 – Quadro analítico das estratégias nacionais diante de inovações disruptivas



Fonte: Elaboração I2027.

9.3 Construindo o futuro. Primeiro passo: desafios, visões, estratégias e missões

As estratégias nacionais diante das inovações disruptivas criam plataformas de convergência de iniciativas e ações para transformação da economia e da sociedade. São **visões de longo prazo** propostas formalmente por meio de um ou mais planos industriais nos quais o investimento em inovação passa a ser visto como meio para grandes ambições, e não como um fim em si mesmo. Há um reconhecimento geral de que a indústria (manufatura) e a inovação são a chave para acelerar o crescimento econômico. Reconhecer que as tecnologias potencialmente disruptivas criam uma janela de oportunidade é o que justifica a formalização de uma estratégia de promoção industrial e de inovação.

As estratégias são baseadas em sólido diagnóstico da situação nacional em tal contexto geopolítico e visam (re)posicionar a economia de cada país no tabuleiro da economia mundial. Entretanto, as justificativas das estratégias nacionais vão além de uma questão meramente de competitividade: a inovação é vista e defendida como um meio para a resolução de grandes desafios societais – esses, sim, compõem os objetivos finais das estratégias. Entre os principais desafios endereçados, destacam-se: questões ambientais e climáticas, transição demográfica (envelhecimento da população), saúde e qualidade de vida, segurança nacional e cibersegurança, uso eficiente de recursos, participação da sociedade.

Como exemplo de visões de longo prazo ambiciosas, destacam-se a visão chinesa, cujo enfoque é mais restrito ao posicionamento estratégico da indústria chinesa na economia global; a visão japonesa, que representa uma estratégia de transformação ampla da sociedade; e a britânica, que orienta políticas que buscam resolver desafios sociais.

A estratégia chinesa é uma resposta direta aos planos de outros países, como a High Tech Strategy alemã e a Advanced Manufacturing Partnership dos Estados Unidos, e baseia-se em visões de desenvolvimento para três horizontes de longo prazo. No horizonte até 2025, quer tornar a China uma importante potência industrial, por meio da digitalização da indústria, do domínio de tecnologias em áreas-chave, da melhoria da qualidade dos produtos, do aumento da eficiência no uso de recursos; da redução da poluição; da maior presença internacional das empresas chinesas, com melhor posicionamento nas CGVs. Até 2035, a meta é levar a indústria chinesa a um nível intermediário entre as potências industriais mundiais, com melhoria nas capacidades inovadoras, descobertas em áreas importantes, melhoria da competitividade em geral, liderança em algumas áreas e realização de uma industrialização abrangente. E, até 2049, ano comemorativo do centenário da fundação da Nova China, planeja-se que a China seja líder entre as potências industriais mundiais, liderando a inovação no mundo, possuindo vantagens competitivas em grandes áreas industriais e desenvolvendo tecnologias e sistemas industriais avançados.

Essas visões traduzem-se em objetivos (missões) que podem ser resumidos na seguinte frase: **indústria é o tema, melhorar sua qualidade o núcleo, integração da indústria com TI de próxima geração o fio-condutor, manufatura inteligente a prioridade, e responder às demandas econômicas e sociais do desenvolvimento e da defesa nacional o objetivo.** São quatro os objetivos da estratégia chinesa: de *"made in China"* para *"created in China"*; de *"China speed"* para *"China quality"*; de *"Chinese products"* para *"Chinese brands"*; e de *"big industry"* para *"strong industry"*.

A estratégia japonesa dá destaque a desafios sociais e ambientais, tanto no âmbito doméstico quanto no mundial: desde o envelhecimento populacional, que levará a um aumento dos custos com seguridade social e à redução da população em idade ativa, ao aumento da ocorrência de desastres naturais, incluindo fortes chuvas, e ainda desafios em relação à energia, à água e a doenças infecciosas. Trata-se de uma estratégia bastante ambiciosa, inclusive em termos de expansão dos gastos em P&D para 4% do PIB até 2020 (de 3,09%, em 2016), e que vai além de almejar transformações na indústria e em setores específicos. A política de C&T é proposta como principal ferramenta para o fomento à criação de uma *"sociedade superinteligente"* (*supersmart society*), ou, na expressão criada pelos japoneses, a *"sociedade 5.0"*. A ideia é a criação de um sistema aberto e global de inovação, com maior flexibilidade e mobilidade de ideias e pessoas, visando alavancar a importância do Japão como líder mundial em CT&I.

A ambição japonesa de tornar-se o país mais “*innovation-friendly*” do mundo traduz-se em cinco objetivos (missões): (i) criar ambiente favorável para o desenvolvimento da indústria do futuro e a transformação social; (ii) endereçar desafios econômicos e sociais; (iii) reforçar fundamentos do sistema de inovação; (iv) estabelecer ciclo virtuoso sistêmico entre recursos humanos, conhecimento e capital para a inovação; e (v) aprofundar a relação entre C&T e sociedade.

Outro caso claramente orientado a missões é o da estratégia britânica, que direciona seus esforços industriais e de inovação para lidar com quatro grandes desafios sociais. O primeiro deles é a transformação digital, e diante dele a estratégia visa colocar o Reino Unido à frente da revolução de dados e inteligência artificial. O segundo é a sustentabilidade ambiental, com vistas a maximizar as vantagens para a indústria do Reino Unido decorrentes da mudança global em direção ao crescimento limpo. O terceiro é a mobilidade limpa e inteligente, e o objetivo aqui é tornar o Reino Unido um líder mundial no desenho do futuro da mobilidade. Em quarto lugar, tem-se a transição demográfica, e a ideia é aproveitar o poder da inovação para encontrar soluções para uma sociedade em envelhecimento.

Para endereçar esses desafios, a estratégia britânica ancora-se em cinco “ideias de futuro” (visões), quais sejam: **ideias** – Reino Unido como a economia mais inovadora do mundo; **pessoas** – empregos de alta qualidade e maiores rendas para todos os cidadãos britânicos; **infraestrutura** – um grande aprimoramento da infraestrutura do Reino Unido; **ambiente de negócios** – o Reino Unido como melhor lugar para se iniciar e ampliar um negócio; e **lugares** – comunidades prósperas pelo Reino Unido.

9.4 Construindo o futuro. Segundo passo: planos e programas

Nas estratégias nacionais analisadas podem ser identificados grandes programas em torno de cada um dos *clusters* tecnológicos (programas verticais), com destaque para: tecnologias digitais (sistemas ciberfísicos, IoT, *data analytics*, inteligência artificial, redes, *edge computing*, realidade aumentada, computação quântica); manufatura aditiva; robótica; nanotecnologia e materiais avançados; bioeconomia e biotecnologia (especialmente biofarmacêutica). Além desses, há também programas verticais para sistemas produtivos específicos, a depender das vantagens de cada país: complexo da saúde (equipamentos médicos avançados, cuidados com idosos); mobilidade (mobilidade inteligente, carros elétricos, carros autônomos, trens); e energia (principalmente energia renovável).

Há ainda grande destaque para programas transversais, orientados e complementares aos programas tecnológicos e setoriais. Aqui os principais focos são: preocupação com capacitação da mão de obra; promoção e apoio a PMEs e *startups*; desenvolvimento

regional, seja para desenvolver regiões atrasadas, seja para aproveitar ou criar vantagens locais; promoção de maior cooperação entre indústria e academia, para transformar novos conhecimentos em inovações; e melhoria do ambiente de negócios, por meio de investimentos em infraestrutura, estabelecimento de normas técnicas, marcos regulatórios, leis e sistemas de propriedade intelectual.

Em termos de recursos e instrumentos, cada estratégia nacional tende a estabelecer metas ambiciosas para mobilização de recursos financeiros públicos e privados para CT&I. Por exemplo, o Reino Unido, cujos investimentos em P&D em relação ao PIB situavam-se em 1,69% em 2016, busca aumentá-los para 2,4% do PIB em 2027 (IEDI, 2018c; HM GOVERNMENT, 2017). O Japão apresenta uma das metas mais ambiciosas de investimento em P&D em relação ao PIB – 4% até 2020 (RCCC, 2015; GOVERNMENT OF JAPAN, 2015). No curto prazo, as cifras já mobilizadas para implantação das estratégias nacionais são também consideráveis: nos Estados Unidos, onde US\$ 176,81 bilhões é o orçamento de 2018 para agências federais de C&T (EOP, 2016); na Alemanha, onde aos EUR 15,8 bilhões e EUR 17,6 bilhões de orçamento do Ministério de Educação e Pesquisa em 2016 e 2017, respectivamente, soma-se EUR 1,9 bilhão de orçamento do Fraunhofer-Gesellschaft, e o comprometimento da indústria de investir, em dez anos, EUR 2,5 bilhões de investimentos privados em iniciativas de “Indústria 4.0” (IEDI, 2017a; GT&I, 2014; BMBF, 2014; ACATECH, 2013); na China, onde o orçamento para P&D foi US\$ 279 bilhões em 2017, aos quais se somam US\$ 22 bilhões para o National Integrated Circuit Fund e mais US\$ 3,2 bilhões para o Advanced Manufacturing Fund (IEDI, 2018a; STATE COUNCIL, 2015; MERICS, 2016; MIZUHO BANK, 2015a; 2015b).

Entretanto, a implementação das estratégias afasta-se de uma ênfase em instrumentos financeiros com foco na oferta, para propor o uso coordenado de instrumentos não financeiros, com destaque para coinvestimentos em ecossistemas formado por empresas, laboratórios, redes e plataformas de inovação aberta, juntamente a tradicionais instrumentos financeiros de oferta e instrumentos de demanda (principalmente compras públicas).

Uma preocupação central é o desenho de instituições, programas e iniciativas para assegurar que a produção da pesquisa seja finalmente implementada em sistemas industriais cada vez mais complexos. Para isso, vários países estão investindo em centros de tecnologia aplicada e em instalações de produção-piloto focadas em tirar inovações dos laboratórios. Em tempos de restrições orçamentárias, os países procuram ser capazes de captar valor de seus investimentos em ciência e inovação e garantir a “relação custo-benefício”. Além disso, o aumento de escala da tecnologia requer as combinações certas de ferramentas e recursos, como metrologia avançada, tecnologias de monitoramento em tempo real, tecnologias de caracterização, análise e teste, bancos de dados compartilhados e ferramentas de modelagem e simulação.

Nessa área, destacam-se dois programas de investimentos em redes de laboratórios: Manufacturing USA Institutes e Made in China 2025 Innovation Centres (IFM-ECS,

2018). De fato, o principal programa da estratégia dos Estados Unidos é a formação da rede de institutos Manufacturing USA (IEDI, 2017b; EOP, 2012a; 2012b; 2014). Essa rede vai além da criação de laboratórios de pesquisa e compreende centros de convergência de ações públicas e privadas para geração e difusão do conhecimento, com uma função dual: promover educação/treinamento e oferecer infraestrutura compartilhada, principalmente para as PMEs. A seguir, apresentam-se os 14 institutos em operação, dos 45 a serem implantados nos próximos dez anos, com foco tecnológico específico, com investimentos do governo federal de US\$ 600 milhões, combinados com mais de US\$ 1,3 bilhão em investimentos privados (para cada dólar federal, dois dólares privados):

- **AFFOA** (Advanced Functional Fabrics of America) – materiais têxteis avançados; tecnologias – materiais, processamento de materiais, sensores e eletrônica.
- **AIMPhotonics** (American Institute for Manufacturing Integrated Photonics) – soluções de fotônica integrada, tanto no campo da defesa quanto de uso civil; tecnologias – sensores, ótica e fotônica, eletrônica.
- **America Makes** – manufatura aditiva e impressão 3D; tecnologias – materiais, processamento de materiais, materiais leves.
- **ARM** (Advanced Robotics Manufacturing) – desenvolvimento comercial de tecnologia de robótica; tecnologias – inteligência artificial, sensores, modelagem e simulação, automação, eletrônica, materiais avançados.
- **BioFab USA** – culturas de células e tecidos para indústrias existentes e criação de novas; tecnologias – biofabricação, robótica, materiais avançados.
- **CESMII** (Clean Energy Smart Manufacturing Innovation Institute) – manufatura inteligente; tecnologias – sensores, modelagem e simulação, tecnologias digitais.
- **DMDII** (The Digital Manufacturing and Design Innovation Institute) – difusão de tecnologias digitais em plantas industriais; tecnologias – *design*, automação, tecnologias digitais.
- **IACMI** (The Institute for Advanced Composites Manufacturing Innovation) – fabricação de baixo custo e alta eficiência energética de compósitos poliméricos avançados para veículos, turbinas eólicas e armazenamento de gás comprimido; tecnologias – materiais avançados, processamento de materiais, materiais leves.
- **LIFT** (Lightweight Innovations for Tomorrow) – materiais leves (*lightweight innovations*); tecnologias – modelagem e simulação, metrologia, *design*, materiais avançados leves, processamento de materiais.
- **NetFlex** – tecnologias eletrônicas híbridas (componentes semicondutores impressos e avançados) e flexíveis (construídos sobre materiais flexíveis); tecnologias – sensores, tecnologias digitais, eletrônica.
- **NIIMBL** (The National Institute for Innovation in Manufacturing Biopharmaceuticals) – fabricação flexível e eficiente de biofarmacêuticos; tecnologias – metrologia, biotecnologia, materiais avançados, processamento de materiais.
- **Power America** – acelerar a adoção de componentes semicondutores avançados; tecnologias – eletrônica, materiais avançados.

- **RAPID** (Rapid Advancement in Process Intensification Deployment Institute) – tecnologias no nível molecular para economia de energia; tecnologias – processamento químico, processamento de materiais.
- **REMADE** (Reducing Embodied – Energy and Decreasing Emissions) – tecnologias para diminuir a intensidade energética e de uso de materiais da indústria, diminuindo as emissões de carbono; tecnologias – reciclagem, reúso, manufatura sustentável.

Já os Centros Nacionais de Inovação em Fabricação, promovidos pela estratégia Made in China 2025, têm como objetivo resolver falhas de informações, de coordenação e de rede, com a intenção de fortalecer o papel da indústria na definição de prioridades de P&D (IEDI, 2018a; STATE COUNCIL, 2015; MERICS, 2016; MIZUHO BANK, 2015a; 2015b). Em contraste com centros semelhantes em países desenvolvidos, uma característica fundamental dos centros de inovação Made in China 2025 é seu objetivo declarado de ajudar a modernizar a indústria de manufatura chinesa de “*made in China*” para “*designed in China*”. Eles pretendem fazer isso prestando atenção ao aumento de escala da produção, concentrando-se na construção de uma massa crítica de recursos multidisciplinares de P&D para acelerar a industrialização de tecnologias industriais genéricas importantes.

Esforços para enfrentar os desafios de P&D de engenharia relevantes para a indústria são caracterizados por um foco na construção de vínculos e alianças mais fortes entre universidades, empresas e institutos públicos de pesquisa. Assim, os centros pretendem cumprir uma função de rede-chave entre os diferentes atores do sistema de inovação. Além disso, há especial atenção aos contextos locais e regionais para alcançar um “desenvolvimento diferenciado”, apoiado por um esforço ativo das autoridades nacionais e regionais para assegurar que as empresas do setor privado desempenhem um papel de liderança no desenvolvimento dos centros.

Espera-se que os centros de inovação da Made in China impulsionem a tecnologia e a inovação em áreas como a próxima geração de TIC, fabricação inteligente, novos materiais, aditivos e produtos farmacêuticos, entre outros. O primeiro Centro Nacional de Inovação Industrial, lançado em 2016, foi o Centro Nacional de Inovação em Baterias Elétricas. Outros centros já estabelecidos ou aprovados são: Centro Nacional de Inovação Tecnológica em Trem de Alta Velocidade (aprovado em 2016); Centro Nacional de Inovação em Manufatura Aditiva (estabelecido em 2017); Centro de Inovação Changshu para Manufatura Verde e Inteligente (estabelecido em 2017); Centro Nacional de Inovação em Foeletrônica da Informação (aprovado em 2017); Centro Nacional de Inovação para Veículos de Nova Energia (aprovado em 2018); e Henan Agricultural Machinery Innovation Center (aprovado em 2018).

Por um lado, os programas de investimentos em redes de laboratórios norte-americanos e chineses possuem caráter vertical, uma vez que identificam e selecionam tecnologias específicas a serem desenvolvidas; por outro, as características do processo de inovação aberta dessas redes lhes conferem um caráter também horizontal.

9.5 Construindo o futuro. Terceiro passo: implementação de ações – três exemplos

Em todas as iniciativas nacionais revisadas, há temas recorrentes (IFM-ECS, 2018) que recebem atenção especial: apoio e promoção a PMEs e *startups*; investimento em capacitação e (re)treinamento de recursos humanos; promoção de ecossistemas produtivos e inovativos; desenvolvimento regional; e reformas/regulações. Três deles serão analisados a seguir.

9.5.1 Apoio e promoção a PMEs e *startups*

Muitas PMEs são incapazes de explorar as oportunidades oferecidas pelas novas tecnologias, mesmo quando essas tecnologias estão prontamente disponíveis no mercado. Para construir capacidades inovadoras de PME, são necessárias instalações descentralizadas para alcançar empresas em todo o país. E mais: a capacitação das PMEs requer uma gama de serviços de suporte, tanto de *soft support* (instrumentos não financeiros) quanto de *hard support* (recursos financeiros). Aqui, mecanismos de disseminação de informação apoiados pelo governo podem desempenhar um papel fundamental no fornecimento de informações sobre tecnologias específicas.

Três programas¹⁴ se destacam (IFM-ECS, 2018): a Hollings Manufacturing Extension Partnership (MEP), dos Estados Unidos; e dois programas de Singapura, sendo o Singapore Institute of Manufacturing Technologies (SIMTech) e o Innovation & Capability Voucher (ICV), do SPRING. A MEP é uma sucessora do Manufacturing Technology Centers Program, desenvolvido em 1989 em resposta à percepção de declínio na posição dos Estados Unidos em comparação com o Japão. A rede MEP fornece conhecimento técnico para pequenos fabricantes, fortalece as capacidades em cadeias de suprimentos e promove a colaboração entre fornecedores. O MEP tem quase 600 escritórios e centros localizados em todos os 50 estados dos Estados Unidos e em Porto Rico. Embora parte do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST), o modelo de financiamento do MEP é uma parceria público-privada. Seus parceiros incluem organizações sem fins lucrativos, agências governamentais estaduais e universidades. Mais de 1.200 especialistas trabalham com fabricantes para ajudá-los a melhorar seus processos e identificar oportunidades de adotar novas tecnologias ou lançar novos produtos no mercado; e mais de 25 mil fabricantes foram atendidos pelo MEP no ano fiscal de 2016.

Os serviços da MEP incluem a melhoria do fornecedor e a otimização da cadeia de suprimentos, o rastreamento de fornecedores e redes *business-to-business* e a

¹⁴A estratégia sul-coreana é, em grande medida, calcada na promoção da inovação em PME (IEDI, 2018b; MSIT, 2017; 2014). Ainda que esse país mobilize menos recursos que os demais, a ambição para transformação do parque industrial sul-coreano é grande: meta de 30.000 fábricas inteligentes até 2025. Seus primeiros programas voltados para PME já parecem apresentar resultados promissores: aumento de 25% na produtividade das plantas modernizadas; decréscimo de 27% no índice de defeitos; e aumento percebido na propensão a inovar das empresas apoiadas.

aceleração da tecnologia da cadeia de suprimentos. Exemplos de suporte fornecido incluem o desenvolvimento e a prototipagem de produtos, a inteligência de mercado orientada por tecnologia e o desenvolvimento da força de trabalho. Nesse sentido, o programa concentra-se, principalmente, na implantação de conhecimento em novas aplicações, com alguma ênfase na geração e difusão de conhecimento.

Com base nos dados mais recentes, o retorno dos investimentos gerados pelos programas é notável. Em 2016, a rede MEP auxiliou 11,7% das PME de manufatura dos Estados Unidos e, para cada dólar de investimento federal, a rede nacional do MEP estima que US\$ 17,9 sejam gerados em crescimento de novas vendas para fabricantes e US\$ 27,00 sejam gerados em novos investimentos de clientes. Isso se traduz em US\$ 2,3 bilhões em novas vendas anuais. Além disso, para cada dólar de investimento federal, um posto de trabalho na manufatura é criado ou mantido.

As tecnologias emergentes envolvem oportunidades para aumentar a produtividade e a competitividade da empresa. No entanto, a capacidade de absorção não é homogênea entre todos os setores e tamanhos de empresas. As PMEs tendem a enfrentar restrições diferentes, que podem impedi-las de aproveitar ao máximo as oportunidades apresentadas pelas novas tecnologias. A experiência de Singapura com vales de inovação e capacitação é um bom exemplo de como reduzir as barreiras de acesso a conhecimento e tecnologia.

O Innovation & Capability Voucher (ICV) é uma iniciativa gerenciada pela SPRING Singapore, uma agência do Ministério de Comércio e Indústria de Singapura. O ICV consiste em subsídios para PME na forma de *vouchers* de SGD 5.000 (US\$ 3.800) para pagar por serviços de consultoria e soluções de tecnologia. A iniciativa foi lançada em julho de 2012, com um orçamento de SGD 32 milhões (US\$ 24,2 milhões) para ser gasto em um período de quatro anos. Originalmente, o esquema incluía apenas serviços de consultoria em inovação, produtividade, recursos humanos e gestão financeira. No entanto, em 2014, o ICV foi estendido para o financiamento de equipamentos e *hardware*; soluções técnicas; serviços profissionais; e serviços de *design* e renovação. Essa extensão também envolveu recursos adicionais de SGD 10 milhões (US\$ 7,6 milhões). Em 2015, 19.500 empresas utilizaram o esquema ICV.

O ICV é um programa totalmente financiado pelo governo, mas sua implementação depende de provedores de serviços. Esses fornecedores são pré-qualificados para garantir serviços de consultoria de qualidade. Universidades e centros de pesquisa fazem parte da lista de provedores de serviços pré-qualificados. O esquema ICV permite o acompanhamento dos projetos, incentivando o comprometimento das PMEs e limitando o “uso excessivo” dos vales pelas mesmas empresas. Outra característica relevante do ICV é a sua flexibilidade para se adaptar às mudanças nas necessidades de capacitação das PMEs, como a extensão de 2014 demonstrou. Essa extensão envolveu não apenas recursos adicionais, mas também um escopo mais amplo para cobrir soluções tecnológicas.

Já o Instituto de Tecnologia de Manufatura de Singapura (SIMTech) é um instituto de pesquisa da Agência de Ciência, Tecnologia e Pesquisa (A*STAR). O SIMTech foi lançado em 1993 como o primeiro instituto de pesquisa A*STAR Science and Engineering. O instituto trabalha com mais de 1.300 empresas (empresas multinacionais, empresas locais, PMEs e *startups*) em projetos industriais e de serviços. Várias dessas empresas tornaram-se seus parceiros de longo prazo no desenvolvimento de tecnologia.

Os objetivos dos institutos são aumentar a base de capital humano, gerar, aplicar e comercializar P&D e enriquecer a base de capital industrial. A esse respeito, o instituto está ativo, com programas em que recursos e *expertise* em tecnologia são compartilhados com grupos de parceiros industriais e de pesquisa, e a tecnologia é licenciada para empresas locais e corporações multinacionais. Desde a sua criação, em 1993, o SIMTech apoiou mais de 5.300 projetos, envolvendo mais de 1.300 empresas.

O SIMTech compreende quatro centros de pesquisa e inovação: Centro de Produtividade de Fabricação (MPTC), Centro de Inovação de Engenharia de Precisão (PE COI), Centro de Manufatura Sustentável (SMC) e Centro de Aplicações Emergentes (EAC). Além de P&D e inovação, o SIMTech oferece suporte a projetos de consórcio, licenciamento de tecnologia, atualização de capacidade e *roadmapping*. Mais de 60% das empresas apoiadas pelo SIMTech são PMEs.

9.5.2 Investimento em capacitação e (re)treinamento

Avanços em novas tecnologias exigem trabalhadores com novas competências multidisciplinares, combinando vários tipos de conhecimentos e habilidades. Há diferentes tipos de colaborações para se criar e entregar currículos e cursos liderados pela indústria, principalmente aqueles especializados em engenharia de precisão. Algumas abordagens visam ainda replicar instalações de fabricação de ponta para fornecer o ambiente certo para treinamento de qualidade em colaboração com a indústria. Há ainda programas que estabelecem escolas profissionais para oferecer treinamento em tecnologias emergentes adaptadas às necessidades específicas das PMEs.

Na área de recursos humanos, destacam-se três programas (IFM-ECS, 2018): Skills Future Singapore Programmes at SIMTech, de Singapura; NIBRT Programmes, da Irlanda; e KOMP-AD, da Dinamarca.

É provável que as tecnologias emergentes substituam empregos altamente automatizados, criando novas ocupações e a demanda relacionada por novas habilidades. Essas tendências impõem desafios tanto aos empregados quanto aos empregadores. Duas das principais agências de Singapura envolvidas na capacitação em tecnologias disruptivas são o SIMTech e o Skills Future Singapore (SSG), um conselho estatutário do Ministério da Educação (MOE).

O Escritório de Transferência de Conhecimento (KTO) da SIMTech oferece treinamento baseado em estudo de caso para especialistas em fabricação, engenheiros e gerentes, além de outros profissionais e executivos do setor. Em outubro de 2016, a Agência de Desenvolvimento da Força de Trabalho de Singapura (WDA) foi reconstituída em duas diretorias estatutárias: SSG e Workforce Singapore (WSG). O SSG coordena a implementação das iniciativas do Skills Future. Trata-se de um “movimento nacional” para equipar os singapurenses com as habilidades exigidas pela economia em rápida mutação; é composto por várias iniciativas sobre habilidades técnicas, atualização, atualização ou conversões de carreira. Vários desses programas são executados em colaboração com o WSG. Os esforços do WSG estão focados em ajudar os trabalhadores a atender às suas aspirações de carreira e garantir empregos de qualidade em diferentes fases da vida.

O SSG é um exemplo de uma política projetada em resposta àquelas tendências emergentes. Oferece uma estratégia abrangente para o desenvolvimento de habilidades, incluindo conscientização, orientação e treinamento em habilidades digitais para diferentes estágios de carreira. Uma das principais características do SSG é seu foco nas carreiras das pessoas, e não apenas nas demandas do setor – enfoque esse derivado da abordagem anteriormente seguida pela Agência de Desenvolvimento da Força de Trabalho. Outra estratégia relevante do SSG é a inclusão do curso de conversão de habilidades em TIC. O SSG desenvolveu sinergias com diferentes atores, por exemplo: SIMTech, no caso do Manufacturing R&D Certificate Program; e a Infocomm Media Development Authority, no caso da TeSA. Essas sinergias mostram a importância de ter agências como SSG e WSG, que trabalham transversalmente no desenvolvimento da força de trabalho.

O caso do KTO da SIMTech, por outro lado, mostra uma abordagem de longo prazo, baseada em P&D. O SIMTech tem colaborado com a indústria por mais de duas décadas, e, conseqüentemente, os currículos dos cursos ministrados pelo instituto são liderados pela indústria e principalmente especializados em engenharia de precisão.

Inaugurado em 2011, o Instituto Nacional de Pesquisa e Treinamento em Bioprocessamento (NIBRT) é um centro global de treinamento e pesquisa em bioprocessamento. As instalações do NIBRT em Dublin, na Irlanda (6.500 m²), foram construídas para replicar de perto uma planta de bioprocessamento de última geração, que permite que os formandos experimentem treinamento prático baseado em habilidades. O NIBRT fornece um “balcão único” para os requisitos de treinamento da indústria de bioprocessamento. Funciona como uma parceria entre a University College Dublin, a Trinity College Dublin, a Dublin City University e o Instituto de Tecnologia de Sligo, e foi financiado principalmente pelo governo da Irlanda, por meio da agência de promoção de investimentos internos da Irlanda, a IDA Ireland (Agência de Desenvolvimento Industrial).

A experiência irlandesa do NIBRT é um caso de sucesso de desenvolvimento de habilidades em colaboração com a indústria. Foi financiado como parte de uma estratégia mais ampla para atrair investimentos estrangeiros para o setor farmacêutico. A principal estratégia do NIBRT era replicar instalações de fabricação de ponta para fornecer o ambiente certo para treinamento de qualidade. Esse esforço é apoiado pelas atividades de P&D realizadas no instituto, que incluem pesquisa contratual. Além disso, o NIBRT tem trabalhado como uma organização guarda-chuva, reunindo em um só lugar a experiência em pesquisa e treinamento de diferentes instituições irlandesas.

A colaboração bem-sucedida com a indústria permitiu ao NIBRT manter um forte histórico de candidatos obtendo emprego no setor farmacêutico. Além desse prestígio, os cursos gratuitos do Springboard também se mostraram uma estratégia eficiente para atrair talentos. Parcerias com institutos de Ensino Superior e associações profissionais também têm sido cruciais para atender às demandas de habilidades da indústria.

O Competence Track para Automação e Digitalização em PME (KOMP-AD) foi um programa de educação da Dinamarca que funcionou entre 2013 e 2015. Lançado pelo Ministério do Comércio e pelo Conselho de Crescimento da Dinamarca em resposta à diminuição da competitividade dinamarquesa, o KOMP-AD abordou a falta de conhecimento e competências práticas no campo da automação e digitalização. Montado um consórcio nacional, o KOMP-AD estabeleceu-se como uma rede de 30 parceiros, abrangendo escolas e faculdades profissionais dinamarquesas, PMEs, associações empresariais e agentes públicos dentro do apoio empresarial. A longa experiência das escolas profissionais dinamarquesas no envolvimento das PMEs na aprendizagem prática no local de trabalho facilitou o processo de digitalização e automatização. Além disso, as escolas de negócios também contribuíram, desenvolvendo novos modelos de aprendizagem prática, com a participação de associações setoriais e promotores de negócios.

O orçamento total dessa iniciativa foi de EUR 5,7 milhões (US\$ 7 milhões), metade dos quais advindos do Fundo Social Europeu. Entre os indicadores de impacto do programa, destaca-se que, das empresas participantes (250 empresas, de janeiro de 2013 a junho de 2015), 72% experimentaram alguma melhoria de produtividade; 41% experimentaram um aumento na receita; e 55% experimentaram um aumento nos lucros.

O caso da KOMP-AD é um exemplo de um programa feito sob medida para aumentar a capacidade de absorção entre as PMEs. O foco do programa estava na digitalização e na automação. Essa experiência dinamarquesa mostra como as escolas profissionais podem oferecer formação sobre tecnologias emergentes, adaptadas às necessidades específicas das PMEs. A avaliação do programa forneceu evidências de um impacto positivo, especialmente na produtividade das empresas. Além disso, a avaliação encontrou uma grande quantidade de potencial inexplorado para aumentar os níveis de digitalização e automatização das PMEs dinamarquesas. Aproximadamente metade das empresas participantes indicou que não teria participado de nenhum curso de desenvolvimento de competências se não tivesse tido a oportunidade de ingressar no KOMP-AD.

9.5.3 Promoção de ecossistemas produtivos e inovativos

Aqui se destacam esforços para engajar mais empresas na rede de P&D, criando equipes multidisciplinares e garantindo investimentos alinhados em áreas tecnológicas que dependem umas das outras e garantindo massa crítica. Há um papel de destaque para associações de pesquisa industrial no sentido de reunir grupos de empresas para identificar, com o apoio de especialistas, necessidades comuns (inclusive no que tange a gargalos de políticas públicas), bem como áreas de oportunidade a serem exploradas.

Destacam-se dois programas alemães desse tipo (ver também as redes de laboratórios dos Estados Unidos e da China apresentadas anteriormente) (IFM-ECS, 2018): Central Innovation Programme for SMEs (ZIM) e German Federation of Industrial Research Association (AiF). A ZIM foi lançado em 2008 com o objetivo de apoiar as PMEs no desenvolvimento de novos produtos ou aperfeiçoamento de produtos, processos ou serviços técnicos. A AiF Projekt GmbH administra a ZIM, em nome do Ministério Federal para Assuntos Econômicos e Energia (BMW). A ZIM participa da IraSME, uma rede de ministérios e agências de financiamento que gerencia programas de financiamento nacionais e regionais para projetos de pesquisa cooperativa entre PME. A iniciativa financia projetos de P&D, redes de cooperação e lançamentos de mercado dos resultados dos projetos de P&D.

O financiamento da ZIM está aberto às PMEs alemãs de todas as tecnologias e setores (até 499 empregados e menos de EUR 50 milhões em volume de negócios anual, ou um balanço total não superior a EUR 43 milhões). O orçamento anual é superior a EUR 500 milhões (US\$ 612,2 milhões). A ZIM assinou acordos bilaterais de financiamento com Alberta (Canadá), Brasil,¹⁵ Finlândia, França, Japão, Singapura, Coreia do Sul, Suécia, Taiwan e Vietnã.

Alguns resultados estimados do programa são: de 2012 a 2015, as empresas financiadas apresentaram um aumento médio em suas vendas de quase 12%, enquanto o número de funcionários aumentou em 15%; mais da metade dos projetos foi realizada por pequenas empresas; aproximadamente 70% das empresas conseguiram aumentar suas vendas de 2012 a 2015; em média 0,5 emprego foi criado e 2,4 empregos foram retidos; quase 90% das empresas intensificaram sua cooperação com outras empresas.

A segunda iniciativa alemã destacada é a AiF, a principal organização nacional da Alemanha para a promoção de P&D aplicada por PME. A AiF e suas associações de pesquisa buscam oferecer apoio abrangente em questões de P&D para ajudar as PMEs

15 Em 20 de agosto de 2015, os governos do Brasil (Secretaria de Inovação e Novos Negócios do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços do Brasil – MDIC) e da Alemanha assinaram uma Declaração de Intenção Conjunta sobre cooperação bilateral em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). O segundo e mais recente convite à apresentação de propostas para projetos de P&D entre empresas alemãs e brasileiras foi lançado em 28 de novembro de 2017. De acordo com as diretrizes gerais dos projetos de cooperação da ZIM, os parceiros alemães são financiados pelo próprio programa ZIM. O financiamento para parceiros brasileiros é fornecido pelas seguintes instituições brasileiras: BNDES, EMBRAPPII e FAP.

a enfrentarem os desafios da mudança tecnológica. A rede de inovação da AiF consiste em 100 associações de pesquisa industrial que representam 50 mil empresas, principalmente pequenas e médias. Cada associação de pesquisa representa um determinado setor de negócios, de ramos específicos da economia ou de campos de tecnologia.

Desde a sua fundação, a AiF já desembolsou mais de EUR 10 bilhões (US\$ 12,2 bilhões) em financiamento para mais de 200 mil projetos de pesquisa para PME. Apenas em 2016, foram desembolsados EUR 532 milhões (US\$ 650 milhões). Os principais campos tecnológicos financiados nesse ano são os de nanotecnologia, tecnologias de produção, tecnologias de materiais, engenharia elétrica e pesquisa em saúde e tecnologia médica.

Uma das principais realizações da AiF foi tornar-se uma organização guarda-chuva: ter diversas associações de pesquisa sob o mesmo teto e promover atividades de *networking* pode reduzir a carga e a incerteza de participar em atividades de P&D. O caso da AiF também representa um exemplo de como as organizações não governamentais podem desempenhar um papel importante em coordenar interesses da indústria e da academia, facilitando a tradução de conhecimento e tecnologia em soluções comercializadas. Além disso, a comprovada experiência da AiF em trabalhar com as PMEs e a transparência em sua organização motivaram o governo a indicar a associação para coordenar e implementar programas financiados por fundos públicos desde o final dos anos 1970.

9.6 Condições necessárias e essenciais: prioridade política, concertação público-privada

Iniciativas de coordenação e governança priorizam a criação de plataformas nacionais de cooperação e comunicação, que estimulam a colaboração entre todos os diferentes atores do sistema de inovação. Estas iniciativas se dão com base na visão nacional comum em torno de novas tecnologias, por meio de programas estratégicos nacionais.

Em muitos casos, a equipe de controle é formada por representantes não só do governo, mas também da indústria e da academia. No nível da governança, a ênfase na forma de implantação dos planos é por meio de parcerias público-privadas, com o reconhecimento da necessidade de se fortalecer tanto o setor público quanto o privado (Estado e mercado fortes).

No âmbito da estratégia nacional dos Estados Unidos, a governança dá-se no nível do Executivo federal (EOP, 2012a; 2012b; 2014; 2016): o comando da estratégia é de responsabilidade do National Science and Technology Council, um órgão executivo do gabinete presidencial, composto pelo presidente e pelo diretor do Office of Science and Technology Policy, pelo vice-presidente dos Estados Unidos, pelos secretários e pelos chefes de agências com responsabilidades científicas e tecnológicas significativas, e outros oficiais da Casa Branca, quando necessário. Abaixo do NSTC estão o

Interagency Working Group on Advanced Manufacturing (IAM) e o Subcommittee on Advanced Manufacturing (SAM), que congrega 13 agências federais.

Dentro da estratégia dos Estados Unidos, uma iniciativa cuja governança merece destaque é a National Nanotechnology Initiative (NNI), um programa de P&D envolvendo as atividades relacionadas à nanotecnologia de 20 departamentos dos Estados Unidos e agências independentes. Cada um desses departamentos possui focos prioritários ou secundários em áreas correlatas, tais como: ciência dos processos e fenômenos fundamentais em escala nano; desenvolvimento de nanomateriais; sistemas e artefatos em escala nano; pesquisa de instrumentação, metrologia e padronização; nanomanufatura; criação de grandes laboratórios de pesquisa; meio ambiente, saúde e segurança; e dimensões sociais e de educação civil.

Recentemente, a iniciativa promoveu a criação da National Nanomanufacturing Network (NNN), uma aliança entre academia, governo e indústria para cooperar e avançar a nanomanufatura no país. O objetivo da rede é ser um catalisador de progresso em nanomanufatura nos Estados Unidos, e sua atuação consistirá na promoção de *workshops*, *roadmapping*, colaborações interinstitucionais, transição tecnológica, *testbeds* e serviços de troca de informações. Opera como uma rede de livre acesso de centros, líderes, especialistas e grupos de interesse em pesquisa, desenvolvimento e educação em nanomanufatura.

Essas iniciativas são, portanto: (i) plataformas de comunicação, cooperação, colaboração para estas agências federais; e (ii) estruturas para compartilhar objetivos, prioridades e estratégias para ajudar as agências participantes a aproveitar os recursos de todos os parceiros. A NNI apresenta uma interessante estrutura de governança, que é coordenada no nível do Gabinete Executivo da Presidência (Office of Science and Technology Policy – OSTP e Office of Management and Budget – OMB), juntamente ao National Nanotechnology Advisory Panel, que se tornou parte do President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST), com 18 membros (mais o diretor do OSTP) da indústria e da academia. Cabe notar que o presidente Donald Trump ainda não nomeou os membros do PCAST nem o diretor do OSTP.

A estratégia francesa também apresenta mecanismos de governança interessantes (IEDI, 2017b; LE GOUVERNEMENT, 2016; 2015). A estratégia é orientada a missões, ao partir da identificação de nove temas tecnológicos voltados à reindustrialização do país (plano Nouvelle France Industrielle), à promoção de setores de alta tecnologia (plano Industrie du Futur) e à busca de resposta concretas aos desafios da sociedade francesa, quais sejam: (i) economia de dados; (ii) objetos inteligentes; (iii) confiança digital; (iv) alimentos inteligentes; (v) novos recursos; (vi) cidades sustentáveis; (vii) mobilidade ecológica; (viii) transporte de amanhã; e (ix) medicina do futuro. Porém, esses temas desdobram-se em linhas de ação no nível setorial: a estratégia francesa cria 34 planos setoriais, comandados por especialistas em cada área, que são os

organizadores do trabalho coletivo e dos projetos colaborativos. Esses gestores são responsáveis por informar sobre o andamento de seu plano e de preparar os roteiros de ação, validados por um comitê gestor que reúne atores públicos e privados sob a autoridade do primeiro-ministro (a chamada “Aliança para a Indústria do Futuro”). A governança incorpora um modo de operação interdepartamental por projetos, nos quais público e privado encontram-se em uma abordagem de coconstrução.

Um exemplo de governança no nível de agências executoras vem da Agência Governamental Sueca para Inovação, a VINNOVA (IFM-ECS, 2018): estabelecida em 2001, tem por missão fortalecer a capacidade de inovação e a competitividade da Suécia, estimulando a colaboração entre os diferentes atores do sistema de inovação. A agência facilita o desenvolvimento e a implementação de projetos conjuntos de P&D entre empresas, universidades, faculdades, centros de pesquisa, setor público e sociedade civil, tanto na Suécia quanto internacionalmente. A VINNOVA tem escritórios em Estocolmo, Bruxelas e no Vale do Silício. A agência está subordinada ao Ministério da Indústria e à Autoridade Nacional de Contato do Framework Programme da União Europeia para Pesquisa e Inovação.

A VINNOVA tem uma grande carteira de instrumentos e programas, que são direcionados aos seguintes campos: economia circular e biobaseada; indústria e materiais; cidades inteligentes; ciência da vida; e viajar e transportar. O foco das iniciativas VINNOVA inclui o apoio a incubadoras, a promoção da colaboração, o desenvolvimento de programas estratégicos de longo prazo, e o financiamento de projetos de inovação nos setores público e privado. No geral, aproximadamente 45% do orçamento da agência é destinado a universidades, e 30% a empresas. Quase 60% do financiamento destinado à empresa vai para as PMEs, e vários dos programas de financiamento da VINNOVA estão reservados para essa categoria de empresas.

As atividades da VINNOVA abrangem uma ampla gama de funções relacionadas à coordenação e à formação de uma visão nacional comum em torno de novas tecnologias. Seus principais instrumentos para garantir a coordenação e o alinhamento de esforços são os programas de inovação estratégica. Os atores envolvidos em cada campo formularam uma visão comum e definiram necessidades e estratégias para desenvolver uma área de inovação. O ponto de partida para as suas agendas foi enfrentar importantes desafios sociais e criar crescimento e reforçar a competitividade da Suécia.

Em 2017, havia 17 programas de inovação estratégica em áreas como mobilidade, IoT, metalurgia, tecnologia médica e cuidados de saúde, automação de fabricação e digitalização, uso sustentável dos recursos e habitação social. Nesse ano, a VINNOVA investiu SEK 3,1 bilhões (US\$ 375,6 milhões) para promover a inovação, apoiando 3.834 projetos.

9.7 Inspirações para o Brasil

Ao contrário das economias avançadas, o Brasil ainda não formulou uma estratégia nacional de manufatura avançada de grande envergadura. Não obstante, a janela de oportunidade criada pela revolução tecnológica atual permanece aberta. Porém, para aproveitá-la, urge a formulação de estratégia nacional ambiciosa, que trate das deficiências estruturais dos nossos ecossistemas de inovação, e, assim, avance o projeto de desenvolvimento socioeconômico brasileiro (MARSH, 2017; NOLAN, 2017).

O presente capítulo identificou temas recorrentes das estratégias nacionais diante das inovações disruptivas e de programas subjacentes de países selecionados, que se traduzem em algumas lições para a formulação de uma estratégia nacional brasileira.¹⁶

- **Visão de longo prazo** – estratégias nacionais estão estruturadas em torno de uma visão nacional comum (consensual) para guiar ações da indústria, do governo e da academia, que se desdobram em missões a que se orientam as diversas políticas e ações estratégicas. Nestas visões, a inovação é um meio para se alcançar grandes ambições e para que sejam resolvidos desafios societais.
- **Programas verticais** – nas estratégias nacionais analisadas, podem ser identificadas grandes programas em torno de cada um dos *clusters* tecnológicos, bem como programas para sistemas produtivos específicos – ambos os tipos de programas verticais levam em conta um diagnóstico das vantagens e vocações de cada país.
- **Programas horizontais** – nessas estratégias há também grande destaque para programas transversais, mas que são orientados de forma complementar aos programas verticais, sejam eles tecnológicos, sejam setoriais.
- **Recursos e instrumentos** – as estratégias nacionais estabelecem metas ambiciosas para mobilização de recursos financeiros públicos e privados para CT&I (em valores absolutos e como percentual do PIB). Entretanto, há uma ênfase crescente no uso coordenado dos instrumentos – especialmente na coordenação dos instrumentos financeiros tradicionais de oferta e com os de demanda (principalmente compras públicas), muitas vezes por meio de iniciativas de inovação aberta (por exemplo, redes de laboratórios).
- **PMEs e startups** – as estratégias nacionais demonstram a importância fundamental de se ter em conta, de maneira clara e direta, os desafios específicos que as PMEs, em geral, e startups, em particular, enfrentam para participar em atividades de pesquisa e inovação.
- **Recursos humanos** – as estratégias nacionais estabelecem programas abrangentes para desenvolvimento de habilidades, incluindo conscientização, orientação e treinamento em habilidades digitais para diferentes estágios da carreira, com foco nas carreiras das pessoas, e não apenas nas demandas da indústria.

¹⁶ Uma década e meia de planos de política industrial e de inovação no Brasil, com seus acertos e erros, resultou em programas de ação (iniciativas públicas e privadas) e estruturas institucionais que podem ser aproveitadas em uma estratégia nacional brasileira, conforme se discutirá no próximo capítulo.

- **Ecossistemas e redes de colaboração** – há uma ênfase cada vez maior na promoção de colaboração entre empresas e instituições de pesquisa, por meio de redes de P&D (muitas vezes internacionais).
- **Governança** – a experiência internacional revela grande ênfase na necessidade de assegurar uma melhor coordenação dos atores do governo, conhecimento técnico e infraestrutura de P&D, o que é feito por meio de mecanismos de coordenação e controle específicos (novos ou não) – comitês, conselhos, associações, secretarias – envolvendo o mais alto nível executivo do país (presidente, primeiro-ministro), que formulam, ajudam a implantar e avaliam as ações estratégicas.

9.8 Referências bibliográficas

ACATECH – NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. Munique: ACATECH, Apr. 2013. Disponível em: <http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2018.

BMBF – FEDERAL MINISTRY OF EDUCATION AND RESEARCH. **The new high tech strategy innovations for Germany**. Berlim: BMBF, 2014. Disponível em: <https://www.bmbf.de/pub/HTS_Broschuere_eng.pdf>. Acesso em: 22 set. 2017.

EOP – EXECUTIVE OFFICE OF THE PRESIDENT. **A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing**. Washington: NTSC; EOP, 2012a.

_____. **Report to the President on capturing domestic competitive advantage in advanced manufacturing**. Washington: EOP, 2012b.

_____. **Report to the President: accelerating U.S. Advanced Manufacturing**. Washington: PCAST; EOP, 2014.

_____. **Advanced Manufacturing: a snapshot of priority technology areas across the Federal Government**. Washington: NTSC; EOP, 2016.

GOVERNMENT OF JAPAN. **The 5th Science and Technology Basic Plan**. Tokio: Council for Science, Technology and Innovation; Cabinet Office; Government of Japan, 2015. Disponível em: <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5basicplan_en.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2018.

GT&I – GERMANY TRADE AND INVEST. **Industrie 4.0: smart manufacturing for the future**. Berlim: GT&I, 2014. Disponível em: <http://www.inovasyon.org/pdf/GTAI.industry4.0_smart.manufact.for.future.July.2014.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2018.

HM GOVERNMENT. **Industrial Strategy**: building a Britain fit for the future. London: High Majesty Government; The National Archives, 2017. Disponível em: <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/664563/industrial-strategy-white-paper-web-ready-version.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2018.

IEDI – INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Indústria 4.0**: a política industrial da Alemanha para o futuro. São Paulo: IEDI, 2017a. (Carta IEDI, n. 807).

_____. **Indústria 4.0**: o Plano Estratégico da Manufatura Avançada nos EUA. São Paulo: IEDI, 2017b. (Carta IEDI, n. 820).

_____. **Indústria 4.0**: a Indústria do Futuro e a iniciativa Nova França Industrial. São Paulo: IEDI, 2017c. (Carta IEDI, n. 820).

_____. **Indústria 4.0**: a iniciativa Made in China 2025. São Paulo: IEDI, 2018a. (Carta IEDI, n. 827).

_____. **Indústria 4.0**: a Coreia do Sul e a Indústria do Futuro. São Paulo: IEDI, 2018b. (Carta IEDI, n. 831).

_____. **Indústria 4.0**: o Projeto Catapulta e a Estratégia Industrial do Reino Unido. São Paulo: IEDI, 2018c. (Carta IEDI, n. 847).

IFM-ECS – INSTITUTE FOR MANUFACTURING EDUCATION AND CONSULTANCY SERVICES. **A review of international approaches to industrial innovation**: lessons to inform Brazil's "I2027" strategy. A report for the Brazilian Industrial Board (CNI). London: IFM-ECS; University of Cambridge, 2018. Mimeo.

LE GOUVERNEMENT. **Industrie du futur**: réunir la nouvelle France industrielle. Paris: Le Gouvernement; République Française, 2015. Disponível em: <https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/industrie-du-futur_dp.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2018.

_____. **Nouvelle France industrielle**: construire l'industrie française du futur. Paris: Le Gouvernement; République Française, 2016. Disponível em: <<https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/dp-indus-futur-2016.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

MARSH, P. **The future of manufacturing**. Paper prepared for the I2027 Initiative. [s.l.]: [s.n.], 2017. Mimeo.

MERICS – MERCATOR INSTITUTE FOR CHINA STUDIES. Made in China 2025: the making of a high-tech superpower and consequences for industrial countries. **Merics Papers on China**, n. 2, Oct. 2016.

MIZUHO BANK. **Strategic vision and outlook of “Made in China 2025”**. Tokyo: Mizuho Bank, 2015a. Part 1. Disponível em: <https://www.mizuhobank.com/fin_info/cndb/economics/monthly/pdf/R512-0070-XF-0105.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2018.

_____. **Strategic Vision and Outlook of “Made in China 2025”**. Tokyo: Mizuho Bank, 2015b. Part 2. Disponível em: <https://www.mizuhobank.com/fin_info/cndb/economics/monthly/pdf/R512-0072-XF-0102.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2018.

MSIT – MINISTRY OF SCIENCE, ICT AND FUTURE PLANNING. **Master plan for building the Internet of Things (IoT) that leads the hyper-connected, digital revolution**. Seoul: Government of the Republic of Korea Interdepartmental Exercise, 2014.

_____. **Mid-to long-term master plan in preparation for the intelligent information society: managing the fourth industrial revolution**. Seoul: Government of the Republic of Korea Interdepartmental Exercise, 2017.

NOLAN, A. **Disruptive innovations: risks and opportunities**. Paper prepared for the I2027 Initiative. Paris: OECD, 2017. Mimeo.

RRRC – ROBOT REVOLUTION REALIZATION COUNCIL. **New Robot Strategy**. Japan’s Robot Strategy. Vision, Strategy, Action Plan. Missouri: RRRC, 2015.

STATE COUNCIL – THE STATE COUNCIL OF THE PEOPLE’S REPUBLIC OF CHINA. **Made in China 2025**. Pequim: State Council, 2015. Disponível em <<http://www.cittadellascienza.it/cina/wp-content/uploads/2017/02/IoT-ONE-Made-in-China-2025.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2017.



10

O PANORAMA BRASILEIRO DE POLÍTICAS INDUSTRIAIS E DE CT&I: LEGADO, INICIATIVAS RECENTES E DESAFIOS

Ao contrário das economias avançadas, o Brasil ainda não formulou uma estratégia nacional de inovação de grande envergadura. Não obstante, permanece aberta a janela de oportunidade criada pelas inovações disruptivas aqui analisadas. Porém, para aproveitá-la, urge a formulação de estratégia nacional ambiciosa, que trate das deficiências estruturais dos nossos ecossistemas de inovação, e, assim, faça avançar o desenvolvimento socioeconômico brasileiro.

O presente capítulo visa identificar, no âmbito do sistema brasileiro de inovação, as principais ações públicas e privadas no passado recente e as iniciativas atualmente em curso, bem como as estruturas institucionais consolidadas, que poderiam ser mobilizadas para a formulação e a execução de uma estratégia nacional brasileira diante das inovações disruptivas.

10.1 Políticas industriais e de inovação: legados e desafios

A partir de 2003, o Brasil voltou a formular e implantar planejamentos estratégicos em diferentes áreas (quadro 17). A inovação tecnológica, assim como a difusão e a aplicação de novos conhecimentos, foram vistas como fatores primordiais para o aumento da produtividade e a promoção do crescimento. Também se tornaram prioridades as políticas horizontais de apoio à inovação empresarial, que incluíam crédito tributário sobre o dispêndio de P&D e recursos não reembolsáveis para micro, pequenas e médias empresas (MPMEs).

Quadro 14 – Planos e programas estratégicos brasileiros selecionados, 2004-2018

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
INDÚSTRIA	PITCE			PDP			PBM				B+P				
INFRAESTRUTURA				PAC I			PAC II								
CT&I				PACTI			ENCTI I				ENCTI II				
										INOVA EMPRESA					
										EMBRAPII					
													PETI & EGD		
															ETD
SAÚDE	PPSUS														
					MAIS SAÚDE										
						PDPs									
	PROFARMA I			PROFARMA II				PROFARMA III							
EDUCAÇÃO												PNE			
								CIÊNCIA SEM FRONTEIRAS							

Fonte: Elaboração I2027 com base em Penna e Mazzucato (2016).

Até 2014, três planos de política industrial foram postos em prática:

- **Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), 2004-2007:** com foco no fortalecimento de atividades de inovação e no apoio a setores industriais selecionados (BK, eletrônica, farmacêutica, e *software*), suas principais contribuições foram a criação de um novo quadro institucional (incluindo legislação) para induzir a inovação; a criação de um fórum tripartite de alto nível para promover o consenso sobre estratégias e prioridades industriais; e a criação de agências facilitadoras (como a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI e a Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos – APEX-Brasil) para promover o desenvolvimento industrial e as exportações.
- **Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), 2008-2010:** colocada em prática em um contexto de crescimento econômico e de termos de troca muito favoráveis no comércio internacional, esta política concentrou-se em fomentar o investimento e sustentar o ciclo de crescimento, com foco setorial mais amplo do que a PITCE, cujo arranjo institucional foi instrumental para mobilizar a ação pública anticíclica, quando eclodiu a grande crise internacional.
- **Plano Brasil Maior (PBM), 2010-2014:** marcado pela continuação da crise internacional e pela concorrência acirrada das importações, agravada pela apreciação do real, este plano teve foco setorial ainda mais amplo do que a PDP e pôs ênfase na agregação de valor das cadeias produtivas nacionais, por meio da inovação; suas ações, entretanto, acabaram se dedicando a defender o mercado interno e melhorar as condições sistêmicas para a competitividade.

Esses planos representam clara continuidade – por exemplo, em seu foco na inovação e competitividade –, mas com adaptações para enfrentar diferentes desafios econômicos conjunturais aos quais essas políticas tiveram que responder. Além disso, simbolizaram a preocupação e os esforços para se definir objetivos explícitos, mobilizar instrumentos de política relevantes e interagir com o setor empresarial, os trabalhadores e a academia. Adicionalmente, ressalta-se que essas políticas industriais tornaram-se mais integradas a outras políticas de desenvolvimento, como as de C&T, saúde, educação, meio ambiente, logística, energia, defesa, desenvolvimento local/regional e infraestrutura. Essas políticas complementares compartilharam objetivos e manearam instrumentos de política de maneira concertada. Foram introduzidos instrumentos novos, com destaque para o uso do poder de compra público.

Esses planos representaram um retorno das políticas industriais ativas, com avanços e conquistas, e também um esforço de integração da política industrial com a política de CT&I, para que as empresas estivessem estimuladas a incorporar inovação em seus processos produtivos, como forma de aumentar sua competitividade global. Entretanto, o foco na gestão de **curto prazo** da economia – balança de pagamentos, crise internacional, “custo Brasil” – dificultou a implantação efetiva de ações perenes, de **longo prazo**.

A mais recente política industrial do governo federal – o programa **Brasil Mais Produtivo (B+P)** – representa uma diminuição do escopo e da ambição comparativamente aos planos anteriores. Seu foco estrito é no aumento da produtividade, por meio da oferta de consultoria tecnológica para empresas industriais que buscam implantar técnicas de “manufatura enxuta” para reduzir “desperdícios” – superprodução, tempo de espera, transporte, excesso de processamento, de estoques e defeitos. O programa, coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), valeu-se da estrutura institucional implantada inicialmente pela PITCE, e posteriormente pelo PBM, sendo implantado conjuntamente pelo SENAI, pela ABDI e pela APEX-Brasil, com apoio do SEBRAE e do BNDES.

No rol de políticas complementares, destacam-se, a seguir, diversas iniciativas desenhadas e implantadas pelo governo federal desde 2003.

Na **área de infraestrutura**, ressalta-se o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que foi criado em 2007 e entrou em nova fase em 2011, tendo deixado como legado institucional a retomada do planejamento e a execução de grandes obras de infraestrutura social, urbana, logística e energética.

Na **área de CT&I**, diversas iniciativas dos últimos 15 anos ajudaram a estruturar o sistema de inovação brasileiro. O Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI) e a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI, fases I e II) são ambos planos estratégicos que consolidaram e expandiram o sistema nacional de inovação. Entre seus legados, estão: o novo marco legal, que, entre outros avanços,

permitiu a regulamentação e o aperfeiçoamento da Lei de Inovação, da Lei do Bem, da Lei de Informática, da Lei da Biodiversidade e, como instrumento de política, a Lei de Compras Governamentais; o aumento da institucionalidade e da governança, por meio das parcerias formais com as Fundações de Apoio à Pesquisa (FAPs) estaduais, o Conselho de Secretários Estaduais para Assuntos de Ciência, Tecnologia e Inovação (CONSECTI) e o Conselho Nacional das Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (CONFAP); o aumento real da infraestrutura laboratorial; a criação, em rede nacional e internacional, de 123 Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs) em áreas consideradas críticas para o Brasil; e a implantação de programas estratégicos para formação de recursos humanos. Destaca-se também o plano conjunto da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e do BNDES chamado Inova Empresa (box 4), desenhado para promover soluções de desafios tecnológicos em ecossistemas específicos, que representou um marco na política de inovação brasileira por seu caráter sistêmico, ao apoiar a interação entre empresas, academia e instituições públicas (múltiplos ministérios, agências reguladoras, laboratórios oficiais, empresas estatais).

Atualmente, duas iniciativas importantes estão em curso no âmbito da CT&I: (i) o Plano Estratégico de Tecnologia da Informação (PETI), 2017-2019, que se alinha à Estratégia de Governança Digital (EGD) da administração pública federal. O PETI visa prover soluções de excelência em TIC para apoiar as políticas do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), em geral, e a EDG, em particular. Por sua vez, a EDG é uma estratégia de informatização e digitalização do setor público; (ii) a Estratégia para a Transformação Digital (ETG ou E-Digital) tem por objetivo aproveitar o potencial das tecnologias digitais, de maneira a promover a produtividade e a competitividade, melhorar os níveis de renda e o emprego. A E-Digital é coordenada pelo MDIC e pelo MCTIC, e conta com ações de múltiplas instituições, como Câmara de IoT, EMBRAPPII, BNDES, FINEP, entre outras.

Box 4 – O sucesso relativo das diversas linhas do Inova Empresa

O plano *Inova Empresa* foi a mais ambiciosa política de inovação do Brasil e representou um afastamento das políticas tradicionais caracterizadas pelo viés de oferta, ilustrando a importância de combinar instrumentos do lado da oferta com os de demanda. Com um orçamento de mais de R\$ 32 bilhões, direcionou recursos para projetos de desenvolvimento de tecnologias selecionadas em ecossistemas específicos. Pela primeira vez em suas histórias, BNDES e FINEP trabalharam juntos para financiar e viabilizar projetos com maiores riscos tecnológicos e de mercado, criando um canal único para obtenção de financiamento e promovendo parcerias produtivas entre empresas, universidades e outras instituições de pesquisa. O Inova foi inspirado no *Plano de Apoio à Indústria Sucroenergética e Sucroquímica* (PAISS), focado no desenvolvimento do etanol de segunda geração (2G) a partir de biomassa de cana de açúcar, cujo sucesso levou ao estabelecimento de outros subprogramas do Inova, cada um com focos setoriais-tecnológicos específicos. No total, 12 ministérios estiveram envolvidos, e a demanda foi quase três vezes maior do que os recursos disponíveis, o que destaca o interesse comercial nesse tipo de política de inovação direta e sistêmica. Embora muitos dos subprogramas estejam em andamento e apresentem apenas resultados preliminares, alguns podem ser vistos como mais bem sucedidos do que outros, considerando o interesse das empresas e a quantidade e qualidade de projetos propostos em cada subprograma.

Penna e Mazzucato (2016) analisaram o *Inova Empresa* e identificaram seis tipos de capacidades necessárias aos ecossistemas para a consistência interna e eficácia dos subprogramas mais bem sucedidos: (i) capacidade científico-tecnológica; (ii) capacidade de demanda (privada ou pública); (iii) capacidade produtiva ou empresarial; (iv) capacidade de coordenação do Estado; (v) capacidade de mobilização de instrumentos de política; e (vi) capacidade “analítica” (definição de objetivos tecnológicos através de diagnósticos e prognósticos sólidos).

Fonte: Elaboração I2027.

Na **área de educação**, merecem destaque a criação, em 2008, da Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, com 644 *campi* em 2016, e o programa Ciência sem Fronteiras, que levou cerca de 100 mil estudantes e pesquisadores brasileiros a 2.912 universidades e centros de pesquisa em 54 países. A evolução da Educação Superior e da pesquisa científica levou o Brasil ao 13º lugar em publicações científicas em 2015. Atualmente, a Estratégia Nacional de Educação propõe metas e programas específicos para Educação Técnica e Profissional.

Na **área de saúde**, mais especificamente o Complexo Econômico-Industrial da Saúde (CEIS), talvez seja o setor que mais se beneficiou das políticas industriais e de inovação ativas. Desde 2004, o CEIS consolidou-se por meio de iniciativas como o Programa Pesquisa para o SUS (PPSUS), o BNDES Profarma (2004-2017), o Mais Saúde (ou PAC da Saúde) e as Parcerias para o Desenvolvimento Produtivo (PDP), que visaram ampliar o acesso a medicamentos e produtos para saúde considerados estratégicos para o Sistema Único de Saúde (SUS). Destaque-se ainda o Grupo Executivo do Complexo Industrial da Saúde (GECIS), instituído em 2008 como órgão de governança, sob a coordenação do Ministério da Saúde (MS), dos programas e das iniciativas para fortalecimento do complexo produtivo e de inovação em saúde.

A experiência de planejamento estratégico dos últimos 15 anos, especialmente na área industrial e de inovação, deixou legados importantes. Em primeiro lugar, o crescimento econômico e o *boom* das *commodities* criaram uma condição relativamente confortável em termos de reservas internacionais, o que mitigou bastante o foco de curto prazo no equilíbrio externo da economia brasileira – não obstante o cenário internacional continue sujeito a incertezas. Em segundo lugar, os planos e as iniciativas correlatas criaram um novo arcabouço institucional para políticas públicas, o que incluiu não só marcos legais e regulatórios, mas também a criação de novas agências e instrumentos de apoio.

A ampliação do crédito e dos investimentos públicos e privados em infraestrutura permitiu a redução de custos sistêmicos e ganhos de escala. A elevação da taxa agregada de investimento¹⁷ passou a ser um objetivo estratégico, ao viabilizar um aumento significativo do ritmo de crescimento potencial da economia brasileira. O conjunto articulado de iniciativas do governo resultou na possibilidade de impulsionar as exportações, ampliando a escala de produção e a produtividade, o que contribuiu para o crescimento econômico sustentável.

A partir de 2015 inicia-se um severo período de recessão, decorrente de uma guinada da política macroeconômica e do colapso do apoio político-parlamentar ao governo. Em meados de 2016, sobrevém o impedimento da presidente Dilma Rousseff. Sob grande incerteza econômica e política no período recente, as restrições fiscais foram agudizadas pela forte queda das receitas tributárias, determinando uma significativa retração dos orçamentos e investimentos públicos e em interrupção do conjunto das políticas de desenvolvimento e de CT&I supracitadas. Sob a pressão da recessão e, depois, da falta de previsibilidade política, o setor privado também retraiu significativamente suas atividades de inovação. A ascensão do novo governo pôs em marcha uma política liberalizante, centrada quase que exclusivamente em medidas fiscais

17 Dados do IBGE para a taxa de investimentos (razão entre a Formação Bruta de Capital Fixo e o PIB) mostram que, em 2002, a taxa situava-se em torno de 16,4%, tendo passado para 20,9% em 2013, cedendo acentuadamente nos anos seguintes, até atingir, em 2016, o menor resultado em dez anos, 16,4%. Com a intensidade da crise originada nos mercados internacionais em 2008-2009, a expansão da oferta de crédito do BNDES foi positiva por contribuir para evitar que o país mergulhasse em uma espiral recessiva; contribuiu, assim, para aumentar o nível de investimento das firmas compradoras e o faturamento das empresas fabricantes de bens de capital. Cabe observar que, como parte dos aportes de recursos no BNDES, o erário federal, entre juros e dividendos, além dos tributos, recolheu do banco a impressionante soma de R\$ 129,7 bilhões no período 2001-2016.

restritivas. A agenda neoliberal tardia e o ajuste fiscal ortodoxo passaram a impor forte restrição aos investimentos e perda de recursos orçamentários, com retrocessos na área de crédito e de recursos para impulsionar as atividades de pesquisa. Com esse pano de fundo, o cenário atual apresenta grandes desafios.

10.2 Quais desafios permanecem no âmbito das políticas industriais e de inovação?

Como assinalado, após os avanços das políticas industriais e de inovação, a formulação de estratégias nacionais de maior envergadura foi interrompida pela superveniência das crises econômica e política. Essa interrupção é, em si, desafiadora e vem acompanhada de outros desafios específicos que devem ser necessariamente endereçados, por meio de ações e iniciativas diversas, com vistas a se retomar uma estratégia nacional de CT&I.

Esses desafios, muitas vezes comuns às políticas de inovação da grande maioria dos países relevantes (ver capítulo 9), podem ser agrupados em oito categorias detalhadas a seguir. Para cada desafio, identificam-se iniciativas que começam a endereçá-lo,¹⁸ com especial foco para políticas voltadas para os *clusters* e sistemas produtivos tratados na pesquisa.

- (i) **Visão de longo prazo:** unificação das visões de diferentes agências públicas, por meio da formulação de nova visão estratégica de longo prazo que defina missões orientadoras para ações públicas e privadas. São as iniciativas: (a) o plano estratégico do BNDES, Brasil, País desenvolvido, com visão para 2035, e o da EMBRAPA, O Futuro do Desenvolvimento Tecnológico da Agricultura Brasileira, com visão para 2034; (b) o Projeto de Lei nº 9.163/2017, que estabelece a política de governança e a estratégia nacional de longo prazo (12 anos).
- (ii) **Governança:** estruturação de governança de alto nível, com poder decisório para coordenar essas ações no âmbito das políticas industriais e de inovação orientadas a missões. Para lidar com os desafios da governança, as iniciativas em curso são o Decreto nº 9.203/2017, que institui política de governança pública, e o modelo de governança do GECIS.
- (iii) **Financiamento e renúncia fiscal:** urgência de superação das atuais restrições orçamentárias e do contingenciamento de recursos para CT&I; propostas para a ativação dos Fundos Setoriais e recomposição do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT); propostas para o fortalecimento do BNDES e de sua capacidade de suporte à inovação empresarial; instituição de contrapartidas efetivas no âmbito de revisão dos regimes de renúncia fiscal. Para fazer frente às questões de financiamento de renúncia fiscal,

¹⁸ Ressalta-se que as iniciativas e estruturas destacadas em cada item podem servir a propósitos em múltiplas áreas.

destacam-se: (a) a aglutinação de recursos de diferentes agências; por exemplo, o programa Inova Empresa e as chamadas conjuntas das FAPs com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); (b) o projeto de lei que transforma o FNDCT em fundo financeiro; (c) a nova política operacional do BNDES, com direcionamento dos recursos para áreas de impacto e onde tenha expertise; e (d) fundos privados para CT&I (também proposta de fundo com recursos das “cláusulas de P&D”).

- (iv) **PMEs e startups:** identificar e estimular as PMEs com potencial de crescimento “inteligente” (baseado na incorporação ou no desenvolvimento de inovações); aumentar a propensão a inovar das PMEs; reforçar e promover ecossistemas para processos de emparelhamento das cadeias intensivas em PME, incluindo centros de tecnologia capacitados a oferecer serviços de assistência, metrologia, treinamento; ampliar o suporte à capitalização de *startups*. Aqui as iniciativas em curso são o programa Brasil Mais Produtivo, e as ações dos sistemas SENAI e SEBRAE com focos nas PMEs.
- (v) **Recursos humanos:** necessidade de expansão da quantidade e qualidade da formação de engenheiros e graduados nas áreas STEM; ampliação do esforço de qualificação e habilitação dos recursos humanos nas empresas em face das novas tecnologias; requalificação e realocação da força de trabalho deslocada por inovações disruptivas (por exemplo, pela inteligência artificial). Para fazer frente aos desafios relacionados aos recursos humanos, as iniciativas em curso são: (a) as chamadas dos programas Inova Talentos, Inova Global, Inova Tec (IEL-CNPq); (b) as chamadas conjuntas para bolsas de estágio nos laboratórios credenciados da EMBRAPPII (EMBRAPPII-CNPq-CAPES); (c) os 11 cursos SENAI direcionados à capacitação em tecnologias de manufatura avançada; e (d) a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica.
- (vi) **Infraestrutura:** necessidade de investimentos para superar a fragilidade, a obsolescência tecnológica e a inadequação da infraestrutura física de telecomunicações, da infraestrutura de logística de transportes e da infraestrutura de pesquisa; superar a defasagem tecnológica dos laboratórios e centros tecnológicos e de inovação dos ecossistemas industriais. Na área de infraestrutura, as ações em curso são: (a) a implantação dos Institutos de Inovação, Institutos de Tecnologia e rede de Laboratórios Abertos do SENAI; (b) a criação de unidades EMBRAPPII e polos EMBRAPPII-IF; (c) a elaboração do Plano de Manufatura Avançada (governo federal, FAPESP, BNDES) e do estudo IoT do BNDES (base do Plano Nacional de Internet das Coisas, que se espera vir a ser instituído por meio de Decreto da Presidência da República).
- (vii) **Desenvolvimento regional:** necessidade de se promoverem a inclusão e o desenvolvimento das localidades e regiões brasileiras relativamente mais atrasadas nos seus aspectos socioeconômicos, por meio do aproveitamento (descoberta e/ou criação) de “vocações” locais. Nesse sentido, destacam-se como

iniciativas em curso: (a) a Política Nacional de Desenvolvimento Regional (PNDR); (b) os instrumentos regionais de apoio à inovação (FAP, Banco do Nordeste – BNB, Fundo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNDECI); (c) os Centros de Desenvolvimento Regional do MEC, com foco na educação científica e tecnológica considerando especificidades regionais; (d) os laboratórios regionais da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) e da EMBRAPA; (e) a rede de INCT.

(viii) Regulação e reformas: necessidade de se regular no momento certo questões relacionadas a constrangimentos éticos, técnicos, econômicos e socioambientais que surgem em decorrência das novas tecnologias disruptivas; urgência em atualizar marcos legais defasados (por exemplo, marco legal das comunicações) ou de se criar novos marcos legais (por exemplo, para IoT e inteligência artificial). Para fazer frente a essas questões, destacam-se: (a) o marco regulatório para as comunicações; (b) o marco civil da internet; e (c) os diversos projetos de lei para transformação digital, para biotecnologia e a nanotecnologia.

10.3 O maior dos desafios: políticas para mover-se mais rápido do que as mudanças tecnológicas em curso

Este capítulo buscou avaliar a experiência brasileira recente com políticas industriais e de inovação ativas, identificando seus legados e desafios, principalmente os relacionados à elaboração e à implantação de uma estratégia nacional diante das tecnologias potencialmente disruptivas. Por um lado, o legado da trajetória de planejamento estratégico pré-crise deixou estruturas institucionais úteis em diversas áreas, estruturas essas que poderão vir a ser mobilizadas. Por outro, a interrupção daquela trajetória significou a permanência de desafios relevantes, para os quais ainda não há propostas consensuais que mobilizem as principais instâncias públicas, privadas e da academia.

Algumas ações em curso – meritórias, porém desconectadas entre si – tratam de maneira parcial alguns desses desafios nas áreas de governança, financiamento, apoio a PMEs, capacitação de recursos humanos, infraestrutura, desenvolvimento regional e regulação. Tanto o legado positivo quanto essas iniciativas podem e devem ser aproveitados, aprofundados e aperfeiçoados por uma estratégia brasileira de grande envergadura diante das inovações disruptivas.

Considerada a velocidade das mudanças tecnológicas recentes, países como o Brasil precisarão realizar avanços firmes e significativos em pesquisa básica, em infraestruturas laboratoriais e científicas e em P&D e inovação empresarial. Torna-se fundamental, para isso, impulsionar os ecossistemas produtivos e inovativos brasileiros e capacitar os nossos trabalhadores para enfrentar as mudanças nos processos de trabalho e no perfil de qualificação do emprego. Para tanto, é decisivo formar uma base econômica competitiva, apoiada em processos endógenos e dinâmicos de inovação.

O desafio é enorme: é preciso mover-se a uma velocidade superior à da fronteira tecnológica, sob pena de termos, na melhor das hipóteses, uma estagnação relativa. Só um verdadeiro salto histórico no esforço inovador poderá viabilizar uma trajetória de desenvolvimento sustentável.

10.4 Referências bibliográficas

CASSIOLATO, J. E.; SZAPIRO, M.; LASTRES, H. Dilemas e perspectivas da política de inovação. *In*: BARBOSA, N. *et al.* (Eds.). **Indústria e desenvolvimento produtivo no Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 377-416.

DE NEGRI, J. A. Avançar ou avançar na política de inovação. *In*: BARBOSA, N. *et al.* (Eds.). **Indústria e desenvolvimento produtivo no Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 359-375.

FERRAZ, J. C.; COUTINHO, L. Investment policies, development finance and economic transformation: lessons from BNDES. **Structural Change and Economic Dynamics**, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.strueco.2017.11.008>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

FERRAZ, J. C.; KUPFER, D.; MARQUES, F. S. Industrial policy as an effective development tool: lessons from Brazil. *In*: SALAZAR-XIRINACHS, J. M.; NÜBLER, I.; KOZUL-WRIGHT, R. (Eds.). **Transforming economies: making industrial policy work for growth, jobs and development**. Geneva: International Labour Office, 2014. p. 291-396.

KUPFER, D.; FERRAZ, J. C.; MARQUES, F. S. The return of industrial policy in Brazil. *In*: STIGLITZ, J. E.; YIFU, J. L. (Eds.). **The industrial policy revolution**. London: Palgrave, 2013. p. 327-339.

PENNA, C. C. R.; MAZZUCATO, M. Mission-oriented policies in practice: the case of Brazil's Inova programme. *In*: SPRU ANNIVERSARY CONFERENCE, 50., Brighton, 2016. **Annals...** Brighton: SPRU, 2016.



11

PREMISSAS, DIRECIONAMENTOS E ESTRATÉGIAS PARA CONSTRUIR O FUTURO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA

Construir o futuro da indústria brasileira é um imperativo. As tecnologias combinadas e sinérgicas propiciam janelas de oportunidade para a construção de um futuro competitivo e sustentável para a indústria brasileira. O projeto Indústria 2027 forneceu evidências sobre o estágio de desenvolvimento das empresas e ecossistemas e caracterizou as estratégias nacionais de inovação contemporâneas. Essas estratégias têm muitos temas e prioridades em comum, mas, ao mesmo tempo, há especificidades marcantes de cada país. Esses direcionamentos serão especificados neste capítulo 11. Na primeira seção, serão apresentadas as estratégias por grupos de empresas e respectivos sistemas produtivos/inovativos. Em sequência, registram-se os direcionamentos no que tange às políticas de caráter sistêmico.

11.1 Estratégias diferenciadas por grupos de empresas e respectivos ecossistemas produtivos/inovativos

A pesquisa de campo realizada pelo projeto I2027 revelou, com clareza, três tipos de estratégia do setor industrial brasileiro em face das inovações disruptivas.

Primeiro, identificou-se um grupo ainda pequeno de empresas que contam com atividades estruturadas de P&D e relacionam-se com ecossistemas de inovação próximos à fronteira tecnológica. Na visão dessas empresas, a G4 – a quarta e mais avançada geração de digitalização da gestão e da manufatura, compreendendo toda a cadeia de valor – já será dominante em 2027. Por isso, essas empresas têm ambição de se mover rapidamente em direção ao novo paradigma digital e avançar em matéria de inovação de ponta.

Segundo, há um grupo de empresas que têm eficiência produtiva; são, em geral, exportadoras, e, de acordo com os testes econométricos realizados, tendem a ser de grande porte. Essas empresas compreendem os desafios antepostos pelas inovações com potencial disruptivo e têm consciência da necessidade de formular planos para buscar os padrões de digitalização G3 e G4. Algumas já dispõem de atividades permanentes de P&D e de ecossistemas embrionários de colaboração com centros de pesquisas. Demandam, contudo, estímulos para acelerar suas estratégias de inovação.

Terceiro, uma fração importante das empresas ainda não tem plena consciência da urgência em adotar estratégias de digitalização da manufatura e da gestão, e,

em decorrência disso, corre o risco de perder viabilidade diante de um cenário de mudanças. Nessas empresas as atividades de engenharia de processos e de produtos são mais rarefeitas, sendo ainda mais escassa a prática regular de P&D.

Com base nesse critério de diferenciação, que considera os estágios de capacitação inovativo e de produtividade, respectivamente, em relação às fronteiras de inovação e produtividade, foram organizadas as recomendações para as estratégias privadas. Essas recomendações foram construídas a partir de aferições sobre: (i) características da demanda; (ii) classificação das empresas por estágios de capacitação em ecossistemas produtivos/inovativos; e (iii) natureza e grau de dificuldade dos desafios a enfrentar. A partir dessas análises foram propostas estratégias diferenciadas para os três grupos de empresas e respectivos ecossistemas produtivos e inovativos, especificando-se os instrumentos relevantes de fomento, regulação e financiamento a serem mobilizados.

11.1.1 Grupos de empresas e ecossistemas que podem evoluir na fronteira tecnológica

Mercados, sistemas produtivos e desafios

Os clientes de empresas que disputam a fronteira internacional são informados e demandam confiabilidade, segurança e uma relação custo/*performance* superior aos bens e serviços existentes. São usuários exigentes que participam dos desenvolvimentos. É essencial, por isso, a interação entre produtores e usuários no âmbito dos ecossistemas de inovação de fronteira.

Essas empresas encontram-se nos seguintes sistemas produtivos e respectivos setores: A&D – aeronaves de médio porte e de transporte aéreo, veículos verticais urbanos; BK – equipamentos, componentes (inclusive motorização elétrica) e serviços para agronegócios, transporte comercial, exploração de petróleo em águas ultraprofundas; fármacos – biofármacos; química – empresas de bioeconomia; e TIC – *softwares* de gestão, serviços de *design* e engenharia de soluções para IoT e manufatura avançada, serviços intensivos em conhecimento (*agtechs*, por exemplo).

Em segmentos de mercados específicos, a indústria brasileira está na fronteira tecnológica. Trata-se de um legado a ser valorizado e ampliado. Essas empresas precisam se valorizar ao ofertarem bens e serviços em qualquer espaço geográfico, detendo informações e competências próximas às melhores práticas internacionais. Isso requer que as empresas estejam capacitadas a incorporar novos conhecimentos imprescindíveis à convergência tecnológica. Para isso precisam coliderar ecossistemas multiparceiros, interdisciplinares e internacionalizados. Como essas empresas competem por novos mercados por meio da inovação, o número e o perfil dos competidores podem ser cambiantes como, por exemplo, na bioeconomia. Caso existam barreiras à entrada, essas podem ser rompidas pelo sucesso em inovação.

Estratégia: inovar na fronteira

A inovação na fronteira organiza e direciona a estratégia corporativa para competir por inovação, diferenciação, antecipação e criação de mercados. Competir por inovação também inclui movimentos de consolidação, *joint-ventures*, aquisição/venda de ativos. Esses movimentos podem viabilizar atalhos e ganhos de competências e capacitações.

Competências: P&D avançada e coliderança de ecossistemas produtivos e inovativos

Para se gerar, usar e difundir inovações que combinam, de forma sinérgica, diferentes bases técnicas e conhecimentos científicos interdisciplinares, exigem-se investimentos intensos em P&D e coliderança em redes de ecossistemas produtivos e inovativos, envolvendo interação permanente com clientes e parceiros. As empresas precisam estar integradas e conectadas não apenas internamente, mas também com seus fornecedores de bens e serviços e com seus clientes, para lhes prover soluções que gerem valor. Precisam também estar integradas e conectadas com os institutos de CT&I, para o desenvolvimento de tecnologias. Esses desafios precisam ser tratados diuturnamente pela alta gestão das empresas.

Ecossistemas organizados em redes interdisciplinares

Os ecossistemas produtivos e inovativos devem ser fortes, cientificamente interdisciplinares, compostos por redes integradas (inclusive internacionalmente), compreendendo universidades, centros de pesquisa, fornecedores e clientes de componentes, equipamentos e serviços. É determinante a velocidade para identificar desafios tecnológicos e propor soluções.

Os ecossistemas brasileiros, com desempenho e capacitação comprovados, devem evoluir com a fronteira internacional. Em poucos momentos da história brasileira, diante um contexto de intensa mudança tecnológica, o país contava com o estoque hoje existente de empreendedores e de infraestrutura de pesquisa habilitados a fazer frente aos desafios tecnológicos que se impõem.

É necessário, contudo, recuperar e fortalecer este legado científico, tecnológico e empresarial. Os recursos infraestruturais, orçamentários e os incentivos à rentabilização das inovações precisam ser articulados. O ensino em ciência, tecnologia, engenharia e matemáticas deve ser renovado na direção da interdisciplinaridade, inclusive nos campos da gestão e das ciências sociais aplicadas; o trabalho em rede deve ser crescentemente interativo entre os institutos e os respectivos laboratórios; o ambiente deve favorecer o surgimento de *startups* intensivas em conhecimento e de pequenas empresas de base tecnológica em uma perspectiva de longo prazo.

Concertação público-privada em programas e planos para enfrentar corridas tecnológicas

A experiência internacional e algumas iniciativas brasileiras recentes (EMBRAPII, Inova Empresa) demonstram o quão essencial é estabelecer uma sintonia fina entre as ferramentas de fomento manejadas e as necessidades das empresas, tendo por base visões consensuais quanto aos desafios tecnológicos a serem enfrentados. A interlocução do setor público com representantes da oferta e da demanda por soluções tecnológicas facilita o entendimento dos potenciais de mercados, a definição de prioridades, o alinhamento na mobilização de instrumentos e o engajamento de empresas e ecossistemas.

Os fatores de sucesso para os ecossistemas de inovação na fronteira são: (i) partir de avaliações realistas das capacitações existentes, de perspectivas tecnológicas e de visões compartilhadas, inclusive sobre os mercados potenciais; (ii) concertar interesses públicos e privados na especificação dos desafios críticos a enfrentar; (iii) organizar e implementar ações por meio de programas com focos explícitos, metas, prazos e lideranças especificadas; (iv) ancorar programas na operação articulada e conjunta de agências públicas, mobilizando os instrumentos da competência de cada uma para otimizar a alocação de recursos públicos; e (iv) realizar o monitoramento e a avaliação de resultados para assegurar a eficiência de execução dos programas.

O setor público e o setor privado são essenciais para financiar a corrida tecnológica

O financiamento à empresa e a ecossistemas deve utilizar todos os instrumentos disponíveis no Brasil – subvenção, crédito e capital de risco, para suportar todo o ciclo de inovação –, e deve organizar-se em programas e projetos inovadores, que se valham dos instrumentos mais efetivos para cada objetivo. Dada a incerteza dos projetos, é necessário que o setor público e o setor privado participem conjuntamente dos investimentos e compartilhem os riscos nas sucessivas etapas.

Almejar a fronteira demanda investimentos incertos quanto aos resultados. Porém, investimentos desse tipo frequentemente se concretizam em projetos com ingredientes inéditos e conceitos tecnológicos novos, que exigem testes e validações. Nesse estágio as atividades de pesquisa são geralmente realizadas em laboratórios de universidades e de centros de pesquisa científica que dependem fundamentalmente de recursos públicos, inclusive subvenção, sendo relativamente mais importantes do que os aportes privados.

O suporte público aos institutos de pesquisa para projetos de fronteira deve ter como objetivo a busca de soluções para desafios societários relevantes, que possam ser resolvidos pelo progresso técnico e legitimados ante a sociedade. O financiamento

de programas ou de projetos emanados desses objetivos pode ser complementado com aportes privados, em algum nível, por também ser do interesse econômico das empresas o sucesso da empreitada tecnológica. Os programas e os projetos de desenvolvimento tecnológico dessa natureza devem ter continuidade plurianual assegurada, com atenção aos resultados (erros e acertos são naturais neste estágio) visando potencializar as chances de sucesso.

No estágio de testes de protótipos e de construção de plantas-piloto para *scaling-up* e manufaturabilidade, os riscos são menores; porém, os custos podem ser elevados, o que requer a continuidade da participação pública em parceria com o investimento privado. Esse último deve se beneficiar de financiamentos com condições de crédito (taxa, garantias, prazos) adequadas ao risco tecnológico. Já no estágio de qualificação e operacionalização comercial o investimento privado deve liderar, podendo ser apoiado por financiamento público ou de mercado.

Nas etapas de incerteza ou de maior risco, os instrumentos de crédito apoiados em garantias (inclusive reais) podem não ser adequados. Partindo da premissa de que os retornos potenciais estimulam a disposição ao risco, a opção recai sobre aportes de capital, por meio de reinvestimento de lucros retidos ou de investimentos de terceiros nas empresas ou nos projetos da empresa inovadora, ou, ainda, por meio de fundos de capitalização direcionados a distintos segmentos (*private equity*, capital de risco e capital semente). A modelagem de participação em risco de projetos é complexa: por um lado, é estabelecida parceria em torno de empreitadas discretas e concretas, permitindo isolar riscos; por outro lado, não são triviais os modos de compartilhamento da propriedade intelectual/industrial como recompensa pela assunção de riscos da inovação.

O investimento público em empresas de base tecnológica, por meio de fundos de renda variável, é prática usual e crescentemente relevante em todos os países, inclusive nos Estados Unidos (utilizando fundos associados aos departamentos de defesa, energia e saúde), e no Brasil, por meio do BNDES e da FINEP, principalmente. Iniciativas desse tipo devem ser fortalecidas e expandidas, principalmente por serem realizadas em parceria com investidores financeiros privados.

Simultaneamente, com vistas a fortalecer a capacidade empresarial para disputar fronteiras produtivas e tecnológicas, é necessário fortalecer e expandir fundos privados capazes de realizar aportes de capital e dar suporte técnico e em gestão a empresas com planos de negócio (teses de investimento) consequentes. Da mesma forma, devem ser incentivados investimentos corporativos de risco (*corporate venturing*), em suas mais variadas formas. Os normativos fiscais regulatórios associados a investimentos financeiros em empresas de base tecnológica devem reconhecer a dimensão da inovação no âmbito de sua definição de "risco": perdas e acertos são inerentes à natureza incerta do progresso técnico.

Financiar a difusão de soluções tecnológica é essencial para o progresso industrial, na medida em que cria e expande capacidades de oferta e externalidades. A difusão de soluções tecnológicas aplicadas (produtos, componentes, *softwares*, serviços) é indispensável à construção de uma indústria competitiva e sustentável. O financiamento da difusão dessas soluções vai beneficiar diretamente as empresas usuárias e, indiretamente, as empresas provedoras. O Brasil tem longa e acumulada experiência no financiamento público para aquisição de BK, por meio do programa FINAME do BNDES. As regras para acesso a esses financiamentos, antes baseadas em índices de nacionalização medidos em peso e/ou valor, foram substituídas pelo sistema de Credenciamento Informatizado de Fabricantes (CFI). A nova metodologia, a vigorar a partir de dezembro de 2018, valoriza o investimento em inovação, a qualificação da mão de obra das empresas e a utilização de componentes de alto grau tecnológico e valor adicionado. Trata-se de um avanço importante e que deve ter sequência. Porém, a emergência de novas tecnologias demanda o apoio com termos de crédito mais favoráveis a equipamentos mecânicos ou elétricos que incorporem tecnologias digitais, equipamentos, *softwares* e serviços digitais avançados, inclusive os serviços necessários à integração M2M e à implantação de plataformas de manufatura avançada e módulos avançados de ERP.

Com relação a tarifas de importação, a decisão do nível atual e futuro das tarifas não deve se basear unicamente na justaposição de preços da produção local *versus* da importação em momentos do tempo específicos e travar taxas altas ou baixas, homogêneas ou não. Em um momento de mudanças tecnológicas velozes, é necessário incentivar a aceleração de processos de difusão de novas tecnologias e aproveitar as mesmas janelas para abrir espaços para o empreendedorismo competitivo brasileiro. É importante que a orientação da política tarifária organize e direcione o potencial de uso, difusão e geração de inovações em bens e serviços, e não os seus *trade-offs*.

Regulações e poder de compra para induzir inovações de fronteira

É amplo o espectro de regulações que afetam o processo de geração, uso e difusão de tecnologias digitais aqui analisadas: propriedade intelectual, tecnologia industrial básica, saúde, segurança alimentar, meio ambiente, infraestrutura, defesa da concorrência, precificação de carbono, margens de preferência em compras públicas, entre outras. Assim, para efetivamente contribuir é necessário vencer desafios institucionais:

- As agências ou ações públicas responsáveis devem convergir e padronizar conceitos a serem utilizados em seus normativos (já existem conceitos consolidados nos sistemas estatísticos internacionais, inclusive brasileiros, de inovação e P&D, por exemplo).
- Os marcos regulatórios devem ser atualizados continuamente, para incorporar soluções tecnológicas que podem ser vislumbradas comercialmente em um prazo de cinco a dez anos.

- É necessário dar previsibilidade à disponibilidade dos recursos direcionados para fundos, assim como seus destinos, e a construção de cenários tecnológicos pode auxiliar na construção de consensos em torno da destinação de recursos.
- É essencial a parceria das agências reguladoras com agências de financiamento em torno de iniciativas de promoção de desenvolvimento tecnológico orientadas por desafios e organizadas por programas.
- As agências públicas devem investir em pessoas e na modernização digital, para aumentar a eficiência de processos, a qualidade do atendimento e a velocidade de resposta, inclusive a prestação de contas.
- As compras públicas devem ser orientadas por missões, para alavancar programas prioritários associados às novas tecnologias em condições de segurança jurídica e regulatória. O marco legal de compras públicas deve ser aperfeiçoado nesse sentido.

11.1.2 Grupos de empresas e ecossistemas que podem acompanhar a fronteira de produtividade

Mercados, sistemas produtivos e desafios

Genericamente, a trajetória da demanda é de crescente pressão por precisão no atendimento a especificações, até o limite da personalização dos bens e serviços, e pela adoção da “economia circular”, em que resíduos e emissões possam ser utilizados pela própria indústria ou reciclados por outras atividades econômicas. Clientes de bens intermediários, equipamentos ou bens duráveis sabem o que querem e os seus mercados são transparentes e bem monitorados; já compradores de BK demandam especificações técnicas, pois seus processos dependem da eficiência dos equipamentos, e, para consumidores finais, a atração está nas características *preço/performance* e na sustentabilidade ambiental dos bens e serviços. Para além de inovações específicas à base técnica de variadas atividades industriais, as tecnologias digitais combinadas e sinérgicas proveem soluções na direção da precisão e do atendimento a especificações.

A típica empresa deste grupo possui competências bem desenvolvidas em termos de escala técnica e empresarial. Tratam-se de empresas eficientes do ponto de vista produtivo, e elas se encontram nos seguintes sistemas produtivos e respectivos focos setoriais: agroindústrias – *commodities* agrícolas, alimentos processados (empresas de maior porte); BK – equipamentos para geração, transmissão e distribuição de energia, máquinas-ferramentas avançadas e equipamentos elétricos de uso industrial; bens de consumo – empresas têxteis de maior porte, eletrodomésticos; complexo automotivo – veículos leves, fornecedores (autopeças) de primeiro nível; farmacêutica – empresas produtoras de genéricos ou de marca; insumos básicos – bens intermediários, inclusive siderurgia, celulose e papel, cimento; química – empresas de grande porte em produtos intermediários e especialidades; e TIC – equipamentos para redes de telecomunicações, dispositivos de acesso e de captura de informações.

As empresas brasileiras nesses setores/cadeias têm escala técnica e empresarial e sabem ser eficientes. Porém, novas referências se impõem: ter precisão na eficiência, ser capaz de personalizar o atendimento ao cliente e de combinar escala com diferenciação. Por um lado, é necessário combinar escala com diferenciação ou customização de produtos; por outro, é preciso ampliar esforços em engenharia e prática regular de P&D. Não está em jogo o negócio em si, pois os participantes nos mercados são relativamente estabelecidos; são os modelos de negócios que estão mudando, impulsionados pelas tecnologias digitais avançadas. Caso não se adaptem, as empresas poderão perder as vantagens competitivas já conquistadas. Quanto mais cedo a maior parte das empresas brasileiras avançar, maior será a probabilidade de sustentação da posição competitiva do país.

Estratégia: manter-se na fronteira da eficiência, explorar oportunidades de fronteira tecnológica

Para essas empresas de fronteira, a principal estratégia diante das inovações disruptivas congrega ações para que elas avancem ou se mantenham próximas à fronteira produtiva e tecnológica. Nesse grupo, quem não se mexer rapidamente e continuamente ficará para trás. A estratégia para continuarem competitivas deve buscar mudanças rumo a modelos de negócio integrados, conectados e inteligentes.

Competências: empresas integradas, conectadas e inteligentes

Para executar tal estratégia, é necessária a construção de competências essenciais de empresas integradas, conectadas e inteligentes. A empresa que bem implemente um modelo de negócios dessa natureza é diferente da empresa que já poderia se considerar integrada e conectada. O componente “inteligente” significa que a empresa delega para o equipamento digital dotado de capacidade cognitiva (**inteligência artificial embutida**) decisões quanto a reações a determinados eventos. Por mais que as soluções provenham “de fora”, para aprender a usar, para se atualizar, para navegar por âmbitos desconhecidos, para sua segurança, as empresas devem ter as competências necessárias e suficientes para compreender a “mecânica” das soluções, saber identificar seus pontos fortes e fracos e interagir com fornecedores para manter-se atualizada. Para tanto, é necessário ampliar e fortalecer atividades permanentes de engenharia e P&D e aprofundar o conhecimento de mercados para capturar oportunidades de diferenciação de produto/serviços.

Nesse sentido, recomenda-se ainda usar (se possível codesenvolver) e incorporar novos materiais em componentes e equipamentos e tecnologias digitais para: (i) relacionar-se em tempo real com fornecedores e clientes; (ii) desenvolver produtos por meio de sistemas de modelagem virtual do produto e/ou processo; (iii) gerir a

produção baseada em soluções de comunicação M2M (máquina-máquina) crescentemente integradas; e (iv) gerir o negócio com apoio de inteligência artificial e *big data*.

É condição necessária para o sucesso de empreitadas nessa direção o envolvimento direto da alta gestão. Somente com o envolvimento dos líderes empresariais, as empresas conseguirão seguir o ritmo do progresso técnico mundial, com apoio dos seus ecossistemas produtivos e inovativos.

Ecossistemas organizados para interagir

Os ecossistemas associados a estratégias empresariais para acompanhar a fronteira produtiva e tecnológica devem oferecer suporte ao uso e ao desenvolvimento de produtos e processos que contribuam para a integração, a conexão e a inteligência das empresas. O escopo do campo do conhecimento científico e tecnológico tende a ser relativamente mais restrito do que pesquisas de ponta para evoluir na fronteira. Porém, para bem prover soluções avançadas, esses ecossistemas devem ser capazes de integrar e conectar, de modo inteligente, os seus diferentes participantes: provedores interdisciplinares de bens/serviços, recursos humanos, serviços técnicos especializados e pesquisa tecnológica. Para as empresas que ambicionam coliderar a fronteira, é necessário promover um firme engajamento no desenvolvimento de produtos e processos, o que deve abranger toda a cadeia produtiva

Em resumo, recomenda-se às empresas deste grupo:

- Engajar-se no desenvolvimento de produtos e processos, abrangendo toda a cadeia produtiva.
- Priorizar a prática regular de atividades de engenharia e P&D.
- Evoluir na direção de redes interdisciplinares (inclusive internacionais) com universidades, centros de pesquisa, fornecedores e clientes.
- Favorecer *startups* em *hubs* e incubadoras (as *startups* de base tecnológica demandam suporte de longo prazo).
- Identificar com celeridade desafios tecnológicos e propor soluções.

Compartilhar financiamento e riscos

Para as empresas que, em parceria com seus ecossistemas, estiverem realizando investimentos em inovação, as recomendações são as mesmas feitas para as empresas que pretendem evoluir com a fronteira tecnológica. E não poderia ser de outra forma: organização em programas e projetos, cofinanciamento com a presença significativa do fomento público.

A participação privada deve ser mais expressiva quando os investimentos das empresas estiverem orientados para introduzir e/ou avançar no uso de novas tecnologias. A utilização de recursos próprios encontra racionalidade pela (usual) baixa relação entre investimento em novas tecnologias e investimento total, assim como pela atratividade das taxas de retorno esperadas. As empresas também devem estar atentas a investimentos (*corporate venturing*) em empresas de base tecnológica (emergentes ou não), justamente para ter, entre seus ativos, competências para “entender” o uso e empreender novos negócios com flexibilidade. O financiamento público, nesses casos, deveria apenas complementar o aporte de recursos privados na aquisição de soluções que envolvam maior risco.

Regulações para assegurar precisão, qualidade, segurança (inclusive de dados) e sustentabilidade ambiental

Tecnologia industrial básica, saúde, segurança alimentar, meio ambiente, defesa da concorrência, defesa do consumidor, segurança e privacidade de dados, precificação de carbono: eis o leque de regulações relevantes. As orientações para as agências responsáveis são assegurar qualidade, segurança, sustentabilidade ambiental, e promover estruturas de mercado permeáveis a entradas e flexíveis a diferentes formatos empresariais.

11.1.3 Grupos de empresas e ecossistemas que podem encurtar a distância da fronteira produtiva

Mercados, sistemas produtivos e desafios

Há grande heterogeneidade neste grupo de empresas. Os mercados de bens finais ou de equipamentos e componentes são muito variados, assim como as cadeias de valor, processos e produtos e portes das empresas. Os mercados podem ser segmentados pelo nível de exigência e/ou de renda dos usuários. Porém, uma tendência atual para todas as faixas de renda é a crescente demanda por qualidade ponderada pelo preço, em todos os segmentos.

A segmentação dos mercados por exigência de qualidade e preço sempre existirá, mas a latitude será mais estreita, por três razões: (i) expansão mais lenta dos mercados derivados de classes médias mais exigentes, cujos rendimentos reais não acompanham suas aspirações; (ii) a entrada bem-sucedida de novos concorrentes que possuem participações significativas em outros mercados; e (iii) a pressão do *marketing*, que dissemina informação volumosa, global e alimenta expectativas de consumidores e produtores de bens.

A típica empresa desse grupo é tecnologicamente pouco sofisticada, carente de capacitação, com limitado acesso a recursos; porém, por ter estrutura societária familiar e gestão mais horizontal, possui maior flexibilidade decisória. Tratam-se de empresas geralmente encontradas nos setores de: A&D; agroindústrias; BK; bens de consumo; complexo automotivo; química; e TIC.

Empresas que operam em mercados pouco exigentes, em geral, são de menor porte e têm competências limitadas. É inconteste a importância econômica, principalmente para o emprego, das empresas de menor porte. Para além de casos de sucesso, que devem ser valorizados e tomados como referência, em todos os países, especialmente naqueles de nível de desenvolvimento intermediário como o Brasil, o desafio das empresas é mitigar a limitação dessas competências e fortalecer suas vantagens potenciais.

Elas ocupam nichos em que as barreiras à entrada não são altas e os volumes de capital requeridos são baixos. A concorrência é acirrada: as empresas disputam espaços com muitas outras, o que somente se viabiliza por uma demanda igualmente variada em termos de exigência de preço/*performance* de bens e serviços. Em contrapartida, essas empresas têm flexibilidade de negócios: a possibilidade de alterar rapidamente (e sem alta complexidade organizacional) estruturas, gestão (inclusive financeira), aquisição de insumos, lotes de produção e *mix* de produtos.

Em grande medida, os produtos dessas empresas são de *design* simples e conhecido e elas são usuárias de inovações de processo desenvolvidas por fornecedores de insumos, equipamentos e serviços. Em alguns casos, tratam-se de fornecedores especializados; em outros, tratam-se de fabricantes de equipamentos, provedores de soluções digitais (*softwares* de gestão), prestadores de serviços técnicos especializados ou de inovação. Especializados ou não, esses fornecedores atuam como os difusores de inovações para as empresas de menor porte.

O fortalecimento das empresas deste grupo requer soluções digitais para enfrentar concorrentes que possam oferecer melhores produtos a preços competitivos. Porém, pela própria diversidade existente entre essas empresas, não necessariamente a geração digital mais avançada pode e deve ser a solução preferencial para fortalecer a capacidade competitiva. E, mesmo que o investimento em novas tecnologias represente uma proporção significativa do investimento total, estão disponíveis soluções localizadas que resultam em taxas de retorno interessantes. A introdução de novas tecnologias, em qualquer nível de intensidade e sofisticação, implica mudanças organizacionais significativas.

Estratégia: encurtar distâncias da fronteira produtiva para antecipar a concorrência

Para essas empresas, a principal estratégia diante de inovações disruptivas deve ser investir no conhecimento e na implementação de soluções digitais para fortalecer a gestão de negócios e a capacidade de entregar qualidade e preços competitivos.

Competências: saber escolher e implementar a solução tecnológica adequada

A competência essencial é a capacidade de gestão do negócio, em especial da produção, mas também o aprendizado para conhecer e saber especificar e implementar as soluções tecnológicas mais adequadas.

Ao contrário do que ocorre em indústrias intensivas em capital, o investimento em novas tecnologias representa quase que a totalidade do investimento em novas instalações. A difusão de novas tecnologias deve ser desigual e ocorrer inicialmente nos fabricantes voltados para consumidores de renda alta e nichos de mercado especializados. Nos mercados de consumo de massa, e para produtores de menor porte, o processo de difusão pode ser mais lento, feito por etapas ou por módulos. É previsível a convivência de linhas de produção, produtos e modelos de negócios de gerações diferentes.

As novas tecnologias têm o potencial de alterar positivamente as condições de competitividade na produção brasileira em duas direções. Primeiro, como as inovações podem ser introduzidas de forma modular ou por segmentos, pode-se aumentar gradativamente a produtividade. Segundo, isso ocorre porque a automação de base digital confere maior flexibilidade aos processos, viabilizando a customização de produtos e aumentando a velocidade de resposta em face de mudanças nos mercados. As tecnologias de digitalização já alcançaram um estágio de amadurecimento suficiente para que o ritmo das mudanças dependa, principalmente, das decisões empresariais no sentido de modernizar os respectivos modelos de negócios e saberem especificar o provimento das melhores soluções técnicas.

Ecosistemas organizados para prestar serviços de suporte

Para empresas com competências limitadas, as dificuldades de adoção de novas tecnologias podem estar associadas ao desconhecimento dos empresários e à limitação de recursos das empresas. Os ecossistemas produtivos e inovativos devem prover soluções adequadas a custos compatíveis. Provedores de componentes, bens e serviços, inclusive serviços técnicos especializados em tecnologia industrial básica e apoio à gestão, são os atores relevantes para induzir o fortalecimento das empresas. A seguir detalham-se os três componentes principais dos ecossistemas de suporte às empresas.

O **primeiro componente** é formado pelos fornecedores de equipamentos, máquinas, *softwares* e, crescentemente, pelos fornecedores de serviços de integração digital. Esses fornecedores devem estar próximos e prover bens e serviços de assistência técnica antes, durante e depois de se efetuar uma venda. É necessário entender como funciona e agir em um ambiente de alta diversidade de demandas. Isso somente se torna possível pela conexão digital com os clientes e pelo provimento de plataformas de serviços, a partir das quais os fornecedores possam acompanhar e atender às necessidades de seus clientes.

O **segundo componente** é formado pelos prestadores de serviços técnicos especializados (tecnologia industrial básica). A rede brasileira de provedores de serviços, públicos e privados, como os institutos tecnológicos do SENAI, é extensa, mas dispersa do ponto de vista geográfico, temático e setorial. As referências técnicas estão organizadas pelo sistema ABNT-INMETRO. Trata-se de um ativo a ser valorizado e expandido, que deve ter seus conteúdos atualizados pela adoção de tecnologias digitais, com o duplo objetivo de obter relação de proximidade com as empresas e oferecer serviços correspondentes aos novos padrões de digitalização.

O **terceiro componente** é formado pelos prestadores de assistência empresarial às empresas, principalmente no campo da gestão, tais como as pequenas empresas de serviços de *software* e o sistema SEBRAE. Essas redes de consultores e provedores especializados devem ampliar sua cobertura setorial e locacional e serem acessíveis a baixo custo. São essenciais para promover a ampla difusão de novas práticas digitais de gestão, por meio da incorporação de ERPs adaptados a PMEs, e também por intermédio da incorporação de sistemas digitais para produção conectada, com sustentabilidade ambiental e eficiência energética.

Diferentemente dos dois grupos anteriormente abordados (empresas orientadas para a inovação de fronteira ou empresas que podem acompanhar as melhores práticas digitais), no caso do grupo de empresas que devem encurtar distâncias da fronteira da viabilidade, são os provedores de soluções – de diferentes tipos – que devem liderar a organização e a ativação de ecossistemas de suporte à inovação. Vencer limitações informacionais e de capacitação empresarial, para avançar em produtividade e competitividade das empresas, demanda liderança e proatividade dos três ecossistemas de suporte supramencionados.

Dada a extensão e a variedade de instituições capazes de prestar serviços desta natureza, devem ser valorizadas iniciativas de organização em redes de prestadores de serviços orientados pela demanda. Vale destacar iniciativas que se organizem para atender às **demandas reais**, que podem ser melhor articuladas por associações empresariais setoriais ou por grupos de empresas de arranjos produtivos locais (APLs). As componentes local e territorial têm alta relevância para este grupo de empresas e ecossistemas.

Em resumo, para os ecossistemas em que se inserem as empresas mais distantes da fronteira tecnológica, ficam as seguintes recomendações:

- Instituições de apoio tecnológico públicas e privadas e os institutos SENAI devem buscar liderar ecossistemas que visem apoiar e mobilizar as empresas.
- Centros de serviços técnicos especializados devem oferecer soluções digitais para promover a tecnologia industrial básica.
- Instituições de apoio à gestão empresarial, como o SEBRAE, devem promover a difusão maciça de novas práticas associadas às tecnologias digitais.
- Participantes das cadeias produtivas (especialmente grandes empresas a montante ou a jusante) devem participar dos ecossistemas para qualificar seus fornecedores ou clientes.
- É útil promover experimentos demonstrativos de soluções digitais, tais como linhas de produção e *testbeds*.
- A articulação da demanda por esses serviços de apoio deve priorizar os APLs e as associações empresariais locais, especialmente nas regiões menos desenvolvidas, e as redes de prestadores de serviços devem preparar-se para atendê-las com prioridade.

Financiamento e fomento à difusão de novas tecnologias

A difusão de soluções tecnológicas entre empresas de menor porte deve ser ampla e rápida. Esforços em duas direções devem ser empreendidos: do lado da demanda, disseminar conhecimento e promover o uso destas soluções; e, do lado da oferta, fortalecer a capacidade de prover soluções adaptadas e eficientes.

O suporte em condições favorecidas a empresas de menor porte é consenso relativamente alto entre estudiosos e formuladores de políticas públicas, inclusive no Brasil. Nessa direção, são dois os desafios do apoio à difusão de soluções técnicas de modernização: ampliar a motivação interna das empresas e prepará-las tecnicamente, de um lado, e induzir pressão externa (de consumidores e dos próprios fornecedores) por modernização, de outro. Como o suporte às empresas implica condições financeiras favoráveis, é necessário especificar metas de contrapartida associadas à difusão de novas práticas. Os indicadores de ações nessa direção devem ser construídos a partir de uma base temporal de referência e taxas de crescimento associadas.

Há experiências bem-sucedidas de fomento à modernização de empresas, tanto internacionais quanto brasileiras. Volume e fonte de recursos são decisões de política que serão, no entanto, definidos pelas prioridades estabelecidas pela administração executiva do país. O Brasil não carece de fontes e os volumes variam a cada período de gestão. Independentemente de volume e da fonte de recursos, as experiências exitosas revelam dois requisitos necessários, mas essenciais: a disponibilidade e a previsibilidade de recursos. Em contrapartida, a prestação de contas de resultados e financeira é feita de modo sistemático, recorrente e transparente, inclusive com avaliadores de terceira parte.

Financiar a difusão de soluções tecnológicas é essencial para o progresso industrial, na medida em que cria e expande capacidades de oferta com aumentos de produtividade. A difusão de plataformas ou soluções tecnológicas aplicadas (produtos, componentes, *softwares*, serviços de integração) é imperativa para a construção de uma indústria competitiva e sustentável. O financiamento da difusão dessas soluções vai beneficiar diretamente as empresas usuárias e, indiretamente, as empresas provedoras. O Brasil tem longa e acumulada experiência no financiamento público para aquisição de BK, por meio do programa FINAME do BNDES.

As regras para acesso a esses financiamentos, antes baseadas em índices de nacionalização medidos em peso e/ou valor, foram substituídas pelo sistema CFI. A nova metodologia, a vigorar em dezembro de 2018, valoriza o investimento em inovação, a qualificação da mão de obra das empresas e a utilização de componentes de alto grau tecnológico e valor adicionado. Esse é um avanço muito importante e que deve ter sequência. A emergência de novas tecnologias demanda o apoio com termos de crédito mais favoráveis a equipamentos mecânicos ou elétricos que incorporem tecnologias digitais; equipamentos, *softwares* e serviços digitais de sensorização e integração conectada da manufatura e da gestão. O financiamento de pacotes completos de implantação de plataformas ou de soluções modulares deve ser examinado com prioridade.

Para essas empresas, podem-se distinguir ainda dois tipos de fomento não financeiro, que devem ser promovidos pelo poder público.

O primeiro é o **fomento via programas de serviços técnicos especializados**. À semelhança das recomendações para evoluir ou acompanhar a fronteira, nas ações públicas o fomento deve privilegiar programas de ecossistemas orientados para desafios específicos da prestação de serviços especializados, organizados em redes regionalizadas de prestadores de serviços, com metas de ampliação da prestação de serviços, sob a liderança da instituição que melhor demonstrar capacidade de gestão de projetos complexos. O financiamento público deve apoiar programas de suporte, assim como a adequação das instituições às novas tecnologias digitais. Apesar da limitada disponibilidade de recursos pelo lado empresarial, a sua participação financeira deve ser mandatória, mesmo que inicialmente simbólica, para depois crescer proporcionalmente à taxa de sucesso nos negócios.

O segundo é o **fomento via programas de assistência empresarial**. Essa modalidade de fomento consiste da difusão de novas práticas de gestão e tecnologias digitais, por meio de programas de assistência empresarial, nos quais consultores técnicos especializados e qualificados proveem assistência diretamente às empresas. A indução de aprendizado pelos usuários pode ser potencializada pelo aprendizado coletivo. Programas dessa natureza devem ser organizados para grupos de empresas que compartilhem experiências adquiridas (desde que isso não afete a estratégia de negócios) para reforçar o aprendizado coletivo, inclusive dos prestadores de serviços e dos financiadores. A organização das instituições envolvidas nessa modalidade de

fomento pode variar em termos de volume de recursos e foco de atenção, espacial, setorial ou temático: o modelo brasileiro, por exemplo, o Brasil Mais Produtivo, é diferente dos modelos chileno, singapurense ou alemão. Independentemente do modelo de organização, o importante é a capacidade das redes atenderem às demandas locais.

As recomendações quanto ao financiamento e ao fomento podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- Programas de serviços técnicos especializados devem ser orientados para desafios específicos de tecnologia industrial básica, com metas de ampliação, e organizados em redes (por exemplo, redes SENAI).
- Devem-se ampliar, de forma maciça e significativa, programas de apoio à gestão empresarial (tais como Brasil Mais Produtivo) visando à difusão de soluções digitais adequadas ao perfil das empresas e compreendendo focos espaciais, setoriais ou temáticos, com metas e contrapartidas estabelecidas.
- É fundamental financiar a aquisição de equipamentos, *softwares*, serviços de sensorização e integração de plataformas e módulos de manufatura e gestão conectadas, para PME, em condições de crédito favorecidas.

Regulações: indução da oferta de externalidades para a indústria

Tecnologia industrial básica, saúde, segurança alimentar, meio ambiente, defesa da concorrência, defesa do consumidor, segurança e privacidade de dados: eis o leque de regulações relevantes. As orientações para as agências responsáveis são as seguintes: assegurar qualidade, segurança e sustentabilidade ambiental, bem como promover estruturas de mercado permeáveis a entradas e flexíveis a diferentes formatos empresariais.

11.2 Prioridades, construção de externalidades e capacitações, novos temas

11.2.1 Premissas e priorização das políticas

A construção do futuro da indústria deve partir de um conjunto de premissas. A primeira delas é valorizar legados de competências empresariais, tecnológicas e científicas, incluindo os experimentos recentes de políticas e programas, para que se possa aprender com erros, solidificar acertos e alavancar fortalezas. A segunda é desvelar e explorar oportunidades a partir das capacitações existentes e dos potenciais vislumbrados pelas empresas. Como terceira premissa, tem-se a necessidade de construir consenso e concertação público-privada em torno de uma visão nacional comum, a ser compartilhada com a sociedade. A quarta é reconhecer e endereçar anseios da

sociedade por qualidade de vida e sustentabilidade ambiental e debater amplamente os novos temas éticos e regulatórios. A quinta e última premissa é a urgência de se avançar com ambição, realismo, pragmatismo, resiliência, foco e visão de longo prazo.

A construção do futuro da indústria demanda priorização das políticas, isto é, requer não apenas o envolvimento direto do mais alto nível de comando da administração pública, das lideranças empresariais e de organizações de trabalhadores e sociedade civil com construção dessa visão de longo prazo, mas também o investimento de recursos financeiros significativos e previsíveis em CT&I por um longo período de tempo.

Assim, **a construção do futuro da indústria requer direcionamentos, no sentido de:** (i) se construir alicerces e externalidades para todos, visando formar recursos humanos qualificados e PMEs capacitadas; (ii) modernizar e aumentar a capacidade de resposta do Estado, atualizando e criando marcos regulatórios pró-inovação; (iii) coordenar e utilizar instrumentos e programas de forma articulada, especialmente entre as agências reguladoras e entidades federais de financiamento; e (iv) garantir a segurança jurídica dos processos de fomento e introduzir na agenda pública novos temas éticos e regulatórios.

Esses direcionamentos serão pontuados a seguir. Entende-se que são condições macrossistêmicas, necessárias e facilitadoras: a retomada sustentada do crescimento econômico, a existência de taxas de juros e de câmbio competitivas, a concretização de reformas institucionais (tributária, fiscal, financeira), a facilidade de negócios, a segurança jurídica e a firme recuperação dos investimentos em infraestruturas. Não obstante a relevância dessas condições macroeconômicas, a implementação de uma estratégia nacional de inovação requer persistência e visão de longo prazo, e não deve ficar vulnerável a oscilações cíclicas da economia.

11.2.2 Direcionamentos

Alicerces: externalidades para todos

Com relação à **qualificação de recursos humanos**, reconhece-se, nos sistemas brasileiros de formação profissional, público e privado, e, especialmente, no SENAI, o papel de agentes estratégicos para promover a evolução do perfil de qualificação dos nossos trabalhadores. É necessário avançar na direção de transformar os “centros de formação” em “centros de aprendizagem”; ampliar e diversificar programas de treinamento profissional para desenvolver e renovar habilidades ao longo da vida dos trabalhadores; e antecipar os requisitos de habilidades, qualificações e talentos dos trabalhadores, considerando as necessidades empresas.

É também fundamental avançar no sentido de inserir o ensino e o uso de tecnologias digitais em todos os níveis de educação e promover amplamente estudos e debates sobre os impactos das novas tecnologias digitais sobre o emprego, as ocupações, as qualificações, o trabalho, as rendas e os benefícios sociais.

Para melhorar a **capacitação das PMEs**, é necessário ampliar maciçamente programas de capacitação empresarial, assistência técnica e prestação de serviços técnicos/metrológicos, a exemplo do programa Brasil Mais Produtivo. Porém, esses programas devem passar a priorizar a necessidade de difundir a digitalização da gestão e da manufatura. Para isso, devem promover normas e padrões (ABNT e INMETRO) que facilitem a difusão das novas tecnologias, assegurem interoperabilidade e orientem a atuação das redes existentes de assistência às PMEs; difundir soluções digitais e *softwares* integradores, plataformas experimentais modulares, inclusive para manufatura enxuta e eficiência energética – o que pode ser feito por meio da Rede SENAI de Institutos de Tecnologia e Institutos de Inovação, em parceria com o SEBRAE.

O financiamento à difusão das novas plataformas digitais de manufatura e gestão pode ser feito por meio das instituições financeiras públicas e deve basear-se em novos sistemas digitais e procedimentos automáticos simplificados. Outros instrumentos de crédito, subvenção e capital de risco podem também ser mobilizados para a estruturação de atividades permanentes de engenharia e P&D em PME. Por fim, ressalta-se a importância de reforçar redes de incubadoras e aceleradoras e garantir tratamento fiscal favorável aos fundos de capital de risco.

Por um Estado integrado, conectado, inteligente e orientado por missões

Assim como as empresas devem evoluir em direção a modelos de negócio integrados, conectados e inteligentes, o Estado brasileiro também deve seguir nesse caminho, buscando uma atuação integrada, transparente, conectada e inteligente. Digitalizar o Estado é condição fundamental para se obter ganhos de eficiência, redução de custos, aumento de transparência, melhoria da qualidade e maior celeridade dos serviços (desburocratização).

Para avançar nessa direção, é preciso não apenas capacitar gestores públicos para a prospecção, o planejamento, a implementação e a avaliação de programas de geração, uso e difusão de novas tecnologias, mas também coordenar agências e instituições e assegurar coerência no manejo dos instrumentos financeiros e não financeiros, por meio de sistemas de gestão integrados, inteligentes e transparentes. Assim, as políticas serão implementadas por meio de programas e instrumentos coordenados entre si e sintonizados com as necessidades das empresas, e assegurar-se-á o monitoramento dos resultados.

Regulações contemporâneas e eficientes

As **regulações** devem ser eficientes e orientadas para a inovação. Porém, para isso, é essencial atualizar os marcos legais existentes e/ou criar novos marcos e normativos envolvendo telecomunicações, CT&I, compras governamentais, biodiversidade, privacidade e segurança de rede, “Marco Civil da Internet das Coisas”, pesquisas e aplicações derivadas de técnicas de genômica avançada. Para avançar nesse sentido, também é necessário acelerar a capacitação e a digitalização das agências reguladoras e das empresas públicas, notadamente o INPI, a ANVISA, a ANATEL, a ANTT e o IBAMA.

No que tange à atuação das **agências setoriais**, é essencial fazer convergir e padronizar conceitos dos normativos sobre inovação e P&D, com vistas a aumentar a eficiência e a segurança jurídica para fruição dos incentivos previstos em leis – incluindo aqui os da Receita Federal, do Ministério Público e dos órgãos de controle, como o Tribunal de Contas da União, a Controladoria-Geral da União e os Tribunais de Contas Estaduais. Também são condições para avançar nessa direção disponibilizar e dar previsibilidade aos recursos de fundos setoriais e forjar parcerias das agências com as instituições federais de financiamento em torno de iniciativas de promoção do desenvolvimento tecnológico, orientadas por desafios e organizadas por programas, em linha com as experiências bem-sucedidas da EMBRAPA e do Inova Empresa.

Fomento ampliado, com segurança jurídica

Os instrumentos de fomento devem ser descomprimidos e ampliados, com segurança jurídica, eficiência, metas, contrapartidas e avaliações de resultados. Para isso, é relevante, primeiramente, descomprimir os recursos federais destinados ao sistema de CT&I e ampliar as escalas de suporte à inovação das instituições financeiras federais, por meio de mais financiamento, inclusive não reembolsável, e mais capitalização com custos e condições adequadas (exemplos como da EMBRAPA devem ser fortalecidos e ampliados). O mais alto nível de governo deve definir projetos e programas prioritários, com metas compartilhadas com o setor privado, e alocar recursos adicionais de forma previsível e não contingenciável, incluindo aqueles destinados à capacitação das instituições de C&T públicas e privadas. Por fim, é fundamental assegurar recursos para as distintas fases dos projetos prioritários, especialmente as de *scaling-up* e manufaturabilidade.

Aperfeiçoamento da Lei do Bem e de outros normativos

A Lei do Bem precisa ser aprimorada, com ampliação das deduções, acessibilidade por parte das pequenas empresas, permissão de contratação parcial de P&D externo, inclusão de incentivos para investimentos em *startups*, capital semente, investidores-anjo, capital de risco e *corporate venturing*. Mas não apenas isso: é indispensável

também a convergência de conceitos e normas infralegais. A uniformização de critérios de aplicação deve garantir a segurança jurídica necessária à fruição dos incentivos previstos na lei. Essas mesmas recomendações devem ser aplicadas à Lei de Informática e ao PADIS.

A sociedade deve debater novos temas éticos e regulatórios

As inovações disruptivas suscitam novas questões éticas e regulatórias relevantes que vêm sendo debatidas nas sociedades desenvolvidas, com o envolvimento ativo da comunidade científica e tecnológica, dos formadores de opinião e das entidades da sociedade civil. A sociedade brasileira precisa e deve debater amplamente esses novos temas.

Recomenda-se que a indústria contribua e participe de uma discussão ampla e representativa para balizar propostas relativas, por exemplo, aos seguintes temas éticos e regulatórios: privacidade dos cidadãos; uso e manipulação de genomas humano, animal e vegetal; propriedade de bases de dados e dos direitos de propriedades dos dados pessoais dos cidadãos; propriedade e direitos de proteção de dados genômicos ou de biodados de pessoas ou organismos vivos; segurança dos dados e informações das empresas; interoperabilidade de padrões e protocolos de comunicações, IoT, manufatura avançada; e reciclagem de insumos, partes e peças e equipamentos relacionados a biomateriais, nanomateriais e tecnologias digitais.



12

MENSAGEM FINAL

É urgente a formulação de uma estratégia nacional brasileira que busque aproveitar as oportunidades e mitigar os riscos associados às inovações disruptivas, almejando construir um futuro competitivo e sustentável para a indústria brasileira. Esta é a tarefa imediata e para os próximos dez anos.

O Brasil pode e deve avançar, com ambição, realismo, propostas pragmáticas, passíveis de implantação no curto prazo, mas também com resiliência, foco e visão de longo prazo. Para tanto, é necessário superar a dicotomia, por vezes arraigada na sociedade brasileira, que opõe o setor público, por um lado, e o setor privado, por outro – como se fosse possível o desenvolvimento socioeconômico calcado **apenas** no Estado ou **apenas** no mercado.

A história mostra que países bem-sucedidos estabeleceram – e continuam a criar – arranjos institucionais que promovem a sinergia entre Estado e mercado. Para executar uma estratégia nacional diante das inovações disruptivas, uma sólida e sinérgica parceria entre o setor público e o setor privado é fundamental. É também essencial que ambos trabalhem de maneira concertada, para criar consenso e legitimidade perante a sociedade de iniciativas de CT&I e de promoção industrial cujos impactos nem sempre são óbvios e de curto prazo.

A direção da competitividade está estabelecida; sempre respeitando as especificidades da concorrência em cada mercado, a empresa competitiva é integrada, conectada e inteligente. E o futuro da indústria só poderá ser construído pelo investimento continuado em capacitação, sob planos de longo prazo, implementados dia após dia, com tenacidade.

As novas tecnologias combinadas e sinérgicas geram oportunidades e são instrumentais para a indústria brasileira desenvolver competências, capturar espaços para competir, gerar empregos, criar novos bens e serviços e contribuir para a ascensão da qualidade de vida de nosso povo.

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 Moreira de 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

Institutos de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Institutos de Economia da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Luciano Coutinho
João Carlos Ferraz
David Kupfer
Mariano Laplane
Luiz Antonio Elias
Caetano Penna
Jorge Nogueira de Paiva Britto
Julia Ferreira Torracca
Carolina Dias
Autores/Organizadores

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