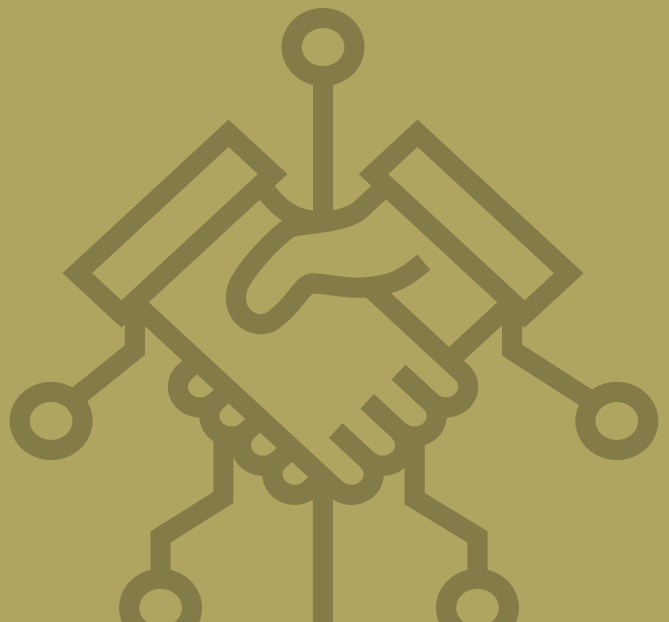




Indústria 4.0

Segmentos ou nichos
com maior potencial
para o desenvolvimento
tecnológico nacional





cgée

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



Indústria 4.0

Segmentos ou nichos
com maior potencial
para o desenvolvimento
tecnológico nacional



© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) é uma associação civil sem fins lucrativos e de interesse público, qualificada como Organização Social pelo executivo brasileiro, sob a supervisão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Constitui-se em instituição de referência para o suporte contínuo de processos de tomada de decisão sobre políticas e programas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I). A atuação do Centro está concentrada nas áreas de prospecção, avaliação estratégica, informação e difusão do conhecimento.

DIRETOR-PRESIDENTE:

Marcio de Miranda Santos (até 28/02/2022)

Fernando Cosme Rizzo Assunção (a partir de 01/03/2022)

DIRETORES

Luiz Arnaldo Pereira da Cunha Junior

Regina Maria Silverio

EDIÇÃO | *Marianna Nascimento*

DIAGRAMAÇÃO, CAPA E INFOGRÁFICOS | *Contexto Gráfico*

PROJETO GRÁFICO | *Núcleo de design gráfico do CGEE*

COORDENAÇÃO DA COMUNICAÇÃO INTEGRADA | *Jean Marcel da Silva Campos*

Catálogo na Fonte

C389s

Segmentos ou nichos com maior potencial para o desenvolvimento tecnológico nacional. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2022. (Série Documentos Técnicos, 31),

112 p.

ISBN 978-65-5775-029-2

1. Indústria 4.0. 2. Desenvolvimento tecnológico. 3. Inovação.
4. Empresas. 5. Brasil. I. CGEE. II. Título.

CDU 67 (81)

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
SCS Qd 9, Bl. C, 4º andar, Ed. Parque Cidade Corporate
70308-200, Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
<http://www.cgee.org.br>, @cgee_oficial

Referência bibliográfica:

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. Segmentos ou nichos com maior potencial para o desenvolvimento tecnológico nacional. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2022. 112 p. (Série Documentos Técnicos, 31).

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas pelo CGEE no âmbito do 2º Contrato de Gestão firmado com o MCTI. Atividade - Subsídios Técnicos para a Gestão Estratégica do SNCTI. Subsídios para as Câmaras 4.0, inclusive quanto aos seus impactos na transformação digital no Brasil. Projeto - 8.10.53.05.52.03

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que seja citada a fonte



Indústria 4.0

Segmentos ou nichos
com maior potencial
para o desenvolvimento
tecnológico nacional

SUPERVISÃO

Luiz Arnaldo Pereira da Cunha Junior

EQUIPE TÉCNICA DO CGEE

Verena Hitner Barros (Líder de projeto)

Mayra Juruá Gomes de Oliveira

Thiago Silveira Gasser

Jackson Maia

Lucas Varjão Motta

CONSULTORIA

Kamila Aben Athar

GRUPO DE TRABALHO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO DA CÂMARA TÉCNICA DA INDÚSTRIA 4.0

Eliana Emediato (MCTI)

Felipe Bellucci (MCTI)

Marcondes Moreira de Araújo (MCTI)

Klaus Schutzer (PGEPR/UFABC)

Luís Gustavo Delmont (Senai)

Victor Venâncio Loureiro Dias (Abinc)



Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Onde o futuro está presente



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
1. INTRODUÇÃO	9
2. ANÁLISE DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Internet das Coisas (IoT) e Internet das Coisas Industrial (IIoT)	22
2.2. Inteligência Artificial (AI)	27
2.3. <i>Big Data</i>	29
2.4. Impressão 3D ou manufatura aditiva	30
2.5. Computação em nuvem	32
2.6. Robótica avançada	34
2.7. Outras tecnologias	35
3. DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA INDÚSTRIA 4.0 PARA O BRASIL	37
3.1. Oportunidades	37
3.2. Riscos e desafios	45
4. NICHOS E SEGMENTOS	53
4.1. Setores exportadores de alto valor agregado	53
4.2. Outros setores	63
5. INDÚSTRIA 4.0 NAS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (MPE)	85

6. CONTRIBUIÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 PARA A RETOMADA DO CRESCIMENTO	91
7. CONCLUSÃO	95
REFERÊNCIAS	97
LISTA DE FIGURAS	109
LISTA DE GRÁFICOS	110
LISTA DE TABELAS	111
SIGLAS E ABREVIATURAS	112



APRESENTAÇÃO

Este estudo é proveniente do projeto **Subsídios para a Câmara Brasileira da Indústria 4.0, uma iniciativa da Câmara da Indústria 4.0**. A coordenação desta Câmara é feita pelo Ministério da Economia (ME) e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), com a participação de atores do setor público e de representantes dos setores industriais e da academia.

O projeto busca elaborar estudos estratégicos a fim de acelerar a transformação digital na indústria brasileira, por meio de proposições de ações para impulsionar as atividades da Câmara, contribuindo para o aprimoramento e para a produção de políticas públicas. A adoção de tecnologias 4.0 pelo setor industrial é tema prioritário, porém permeado por múltiplos desafios para sua implementação.

Entre os desafios do setor industrial brasileiro elencados pela Câmara da Indústria 4.0 estão as necessidades de:

- Aumentar a competitividade e a produtividade das empresas brasileiras por meio da Indústria 4.0
- Melhorar a inserção do Brasil nas cadeias globais de valor
- Introduzir o uso de tecnologias da Indústria 4.0 nas pequenas e médias empresas
- Garantir instrumentos para que soluções de empresas de base tecnológica, *startups* e integradoras possam ser ofertadas e disponibilizadas diretamente às empresas
- Assegurar estabilidade e volume de recursos a custo adequado para a implementação de iniciativas para a Indústria 4.0
- Identificar e desenvolver soluções para a Indústria 4.0 adequadas às empresas do parque produtivo brasileiro e
- Evitar a sobreposição de esforços individuais de instituições públicas e privadas e pulverização de recursos para solucionar necessidades e demandas da Indústria 4.0 no Brasil.
- O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) vem oferecendo contribuições à Câmara da Indústria 4.0, fornecendo subsídios para superar os entraves observados pelos membros e



buscando facilitar a formulação de iniciativas voltadas para a adoção de tecnologias 4.0 pela indústria brasileira. Por meio de estudos estratégicos, o CGEE espera aumentar o conhecimento dos atores sobre as necessidades do setor, bem como promover os incrementos necessários para o futuro.

Deste modo, O CGEE e a Câmara da Indústria 4.0 esperam, com este conteúdo, contribuir para o melhoramento do cenário do setor industrial brasileiro, promovendo maior produtividade, competitividade e desenvolvimento econômico.

Luiz Arnaldo Pereira da Cunha Junior

Diretor do CGEE



1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o mundo vivencia uma nova revolução tecnológica, definida por um conjunto de novas e dinâmicas tecnologias, produtos e indústrias, capazes de provocar uma profunda mudança em todo o tecido da economia, bem como impulsionar um aumento de desenvolvimento no longo prazo. Trata-se, assim, de uma rede inter-relacionada de inovações técnicas de baixo custo, que impulsiona a criação de novos produtos, processos significativos e infraestruturas. Ao desencadear a substituição de um conjunto de tecnologias por outro – seja de forma definitiva ou pela modernização dos equipamentos, processos e formas de operação existentes – a revolução tecnológica dá origem a um novo paradigma tecno-econômico, que guia governos, indústrias e sociedades tanto em suas decisões individuais quanto em suas interações, durante todo o período de propagação desse conjunto de tecnologias (PEREZ, 2002).

Neste sentido, o *World Economic Forum* (2017a) argumenta que as novas tecnologias advindas da 4ª Revolução Industrial estão sendo responsáveis pelo processo de redução das fronteiras existentes entre os sistemas ciberfísicos atuais. O aumento da capacidade da comunicação, processamento e interação, aliado à redução de custos, possibilita o trabalho colaborativo entre os mais diversos dispositivos e agentes (WEF, 2017a). Assim, do ponto de vista político, o interesse pela digitalização foi motivado pelos seguintes fatores (UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION - UNIDO, 2017):

- Potencial de aumento da produtividade e do crescimento econômico;
- Oportunidades e desafios para a criação de empregos;
- Preocupações com a desconexão entre manufatura e inovação;
- Preocupações com a cibersegurança de sistemas e utilidades industriais;
- Restrições de custo e fornecimento;
- Sustentabilidade dos recursos naturais e aumento da eficiência dos recursos;
- Potencial para novos mercados com base em produtos ou serviços inteiramente novos.



Sendo assim, nesta era de constantes mudanças disruptivas, é crucial desenvolver e implementar estratégias eficazes que aproveitem o potencial das tecnologias emergentes para a indústria brasileira. Ao alavancar amplamente tais tecnologias em todas as suas operações, as organizações podem evitar a armadilha de concentrar-se em ganhos de curto prazo em detrimento de oportunidades de crescimento no longo prazo (DELOITTE INSIGHTS - DELOITTE, 2020). Para tal, a complexidade tecnológica torna-se um meio de otimização dos processos, ao passo que também consiste em uma ferramenta disruptiva para as cadeias de valor globais, viabilizando a extensão de novos setores e modelos de negócio (MANYIKA *et al*, 2012; 2017).

Conforme Perez (2002) analisa, o período atual de instalação das novas tecnologias é marcado pelo rompimento gradativo de economias em amadurecimento. Estas tecnologias avançam e rompem o tecido até então estabelecido, bem como articulam novas redes industriais, estabelecendo novas infraestruturas e difundindo novas e superiores formas de produção e organização. Já o período de desenvolvimento é a fase em que todo o tecido da economia é refeito e remodelado pelo ímpeto modernizador, que se normaliza e possibilita o pleno desdobramento de seu potencial de geração de riqueza. Uma vez que a realidade atual ainda não se encontra nessa segunda fase, mas se aproxima a passos largos, é essencial que os diversos setores da indústria brasileira compreendam bem as funcionalidades, oportunidades e desafios provenientes das novas tecnologias da Indústria 4.0.

O Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (2019) prevê que o desenvolvimento tecnológico será inevitavelmente disruptivo às indústrias do País nos próximos 10 a 15 anos e seus efeitos serão transversais a todas as atividades econômicas. Neste sentido, há um alto potencial envolvido nesse processo no que tange à reconfiguração do setor industrial com o objetivo de alavancar a produtividade e alterar tanto os atuais modelos de negócios quanto as competências necessárias para a maior agregação de valor ao longo das cadeias. Assim, as empresas serão desafiadas à medida que novas tecnologias redefinem os termos do sucesso competitivo (IEDI, 2019). Apesar de o ritmo e a escala dos ajustes futuros necessários serem desconhecidos, compreende-se que a resiliência e a prosperidade serão mais prováveis em países com políticas prospectivas, instituições com melhor funcionamento, cidadãos mais qualificados e informados, além de capacidades tecnológicas críticas em vários setores (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD, 2017).



Sendo assim, com o intuito de compreender o potencial das novas tecnologias emergentes da manufatura avançada no País, este estudo parte da revisão bibliográfica de relatórios para identificar as diferentes conceituações da Indústria 4.0 incorporadas pelos organismos internacionais e pelas instituições nacionais, a fim de identificar a linha mestra entre eles. A partir deste mapeamento, esta pesquisa analisa os principais desafios e oportunidades que envolvem o processo de desenvolvimento da manufatura avançada na região latino-americana e, especialmente, no Brasil. Na terceira seção, buscam-se identificar os nichos e setores promissores da indústria brasileira para a Indústria 4.0. Já na quarta seção, o estudo se debruça sobre a situação das micro e pequenas empresas brasileiras frente à ascensão da manufatura avançada. Por fim, a última seção aborda o papel dessas novas tecnologias no combate aos impactos advindos da pandemia de Covid-19, de forma a entender, no curto e no médio prazos, o futuro do País frente aos atuais desafios.



2. ANÁLISE DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A nova onda tecnológica, caracterizada pela emergência das tecnologias digitais, gera impactos nos diferentes setores, da agricultura à indústria, alterando a maneira como se produz, como se organizam as cadeias de valor e como se comercializa, bem como a forma como as pessoas vivem e relacionam-se. O ritmo acelerado com que essas tecnologias avançam exige das empresas uma rápida capacidade de resposta, pois seu poder de concorrência e, conseqüentemente, o potencial competitivo de toda a economia dependem disso (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI, 2020).

Assim, a manufatura avançada, também denominada indústria inteligente ou Indústria 4.0, é um termo que foi introduzido pela primeira vez por Kagermann, Lukas e Wahlster (2011) e depois popularizado por vários profissionais e instituições (FIORAVANTI; KRAISELBURD; LAPORTE, 2019). Refere-se à 4ª Revolução Industrial e faz alusão ao impacto potencialmente revolucionário que segue diretamente nos passos das três revoluções industriais anteriores (BRASIL, 2017), como mostra a Figura 1.

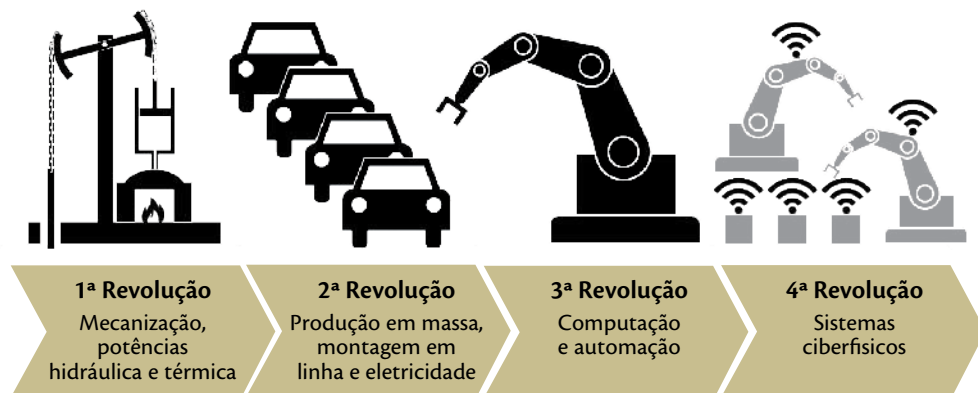


Figura 1 – Evolução tecnológica da produção

Fonte: BRASIL (2017).

O termo Indústria 4.0 é usado para abarcar todos os esforços de integração e conectividade verticais, horizontais, que perpassam os ciclos de vida dos produtos e serviços e que convergem os mundos biológico, físico e digital, tal como mostra a Figura 2 (UNIDO, 2017). Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), a Indústria 4.0 caracteriza-se, portanto, pela



integração e controle remotos da produção, a partir de sensores e equipamentos conectados em rede, associados a sistemas ciberfísicos, dados e serviços inteligentes de internet. A Indústria 4.0 é entendida como o futuro da produção, dentro de um esforço para revitalização das empresas em busca de liderança tecnológica e, conseqüentemente, de mercados globais cada vez mais competitivos (BRASIL, 2017; FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS - FINEP, 2020).

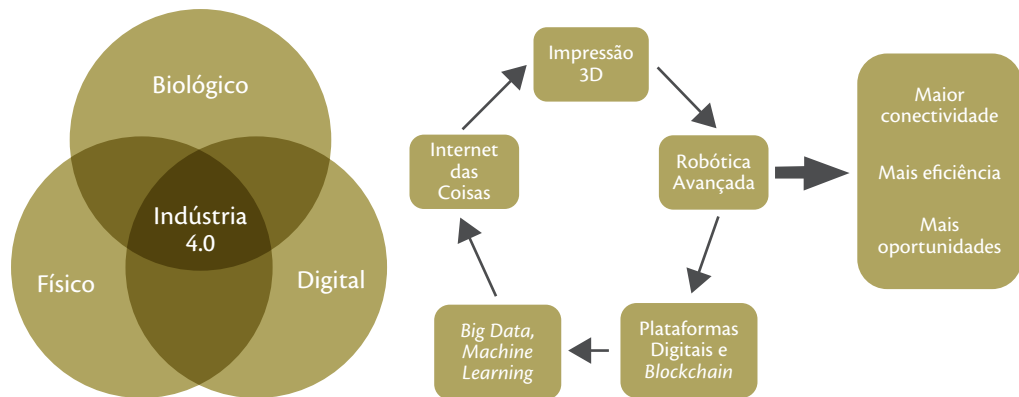


Figura 2 – Convergência dos mundos biológico, físico e digital

Fonte: Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABINEE (2020).

Segundo a Verein Deutscher Ingenieure (2020), a Indústria 4.0 consiste em uma rede inteligente que conecta, em tempo real, horizontalmente e verticalmente, pessoas, máquinas, objetos e sistemas de Tecnologias da informação e comunicação (TIC) para o gerenciamento dinâmico de sistemas complexos. Desta forma, foca-se na adição de componentes mecatrônicos e sistemas embarcados na produção industrial, preocupando-se com as habilidades, conhecimentos e liberdade de escolha, de forma a contribuir com o máximo retorno para a empresa. Ao integrar sistemas de TI, os sistemas de informação permitem o uso compartilhado de dados na criação de valor. Isso inclui sistemas para armazenar, pré-processar, analisar e visualizar dados como base para decisões ou processos de criação de valor.

Já Sacomano *et al.* (2018) afirmam que a Indústria 4.0 se debruça sobre a integração de tecnologias de informação e comunicação, as quais permitem alcançar novos patamares de produtividade, flexibilidade, qualidade e gerenciamento, possibilitando a geração de novas estratégias e modelos de negócio para a indústria. Desta forma, a Indústria 4.0 pode ser definida como sendo um sistema produtivo, integrado por computador e dispositivos móveis interligados à internet ou à



intranet, que possibilita programação, gerenciamento, controle, cooperação e interação com o sistema produtivo de qualquer lugar em que haja acesso à internet ou à intranet, buscando, assim, a otimização do sistema e de toda a sua rede de valor, ou seja, empresa, fornecedores, clientes, sócios, funcionários e demais *stakeholders*.

Por fim, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial entende Indústria 4.0 como sendo:

(...) um termo coletivo para tecnologias e conceitos da organização da cadeia de valor. No interior das fábricas inteligentes e modulares da Indústria 4.0, sistemas ciber-físicos (CPS) monitoram processos, criam uma cópia virtual da realidade e tomam decisões descentralizadas. Através da Internet das Coisas (IoT), os CPS se comunicam e cooperam entre si e com seres humanos em tempo real, e através da Internet dos Serviços (IoS) são oferecidos serviços organizacionais internos e externos, utilizados por participantes desta cadeia de valor. (ABDI, s.d.)

O processo de desenvolvimento das novas tecnologias não se iniciou agora, mas sim nas últimas décadas. Entretanto, a fase tida como mais promissora é a atual, na qual foram desenvolvidas e aperfeiçoadas algumas tecnologias importantes, como Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem, análise de *Big Data*, robotização, Inteligência Artificial, nano e biotecnologia e impressão 3D, entre outras (IEDI, 2019). A partir delas, foi possível trazer um novo modelo de fábrica que mudou os paradigmas dos modelos de produção, organização e negócios. Além de melhorar os controles do processo e aumentar a flexibilidade da escala de produção, o surgimento desse novo modelo tecnológico apresenta implicações estruturais para a organização da economia. Nesse caso, não se trata apenas de conectar objetos e máquinas para coordenar operações ou criar redes de otimização inteligentes, mas sim construir sistemas de aprendizado autônomos (ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN - ECLAC, 2018).

Por outro lado, as tecnologias emergentes apresentam desafios altamente complexos para empresas e organizações, que serão abordados posteriormente na seção 4. De forma geral, conforme mostra a Figura 3, percebem-se: o aumento na densidade de conexões entre os setores do ecossistema tecnológico; o número reduzido de acordos entre empresas do mesmo setor; e o lugar central nas redes de convergência de quatro principais tecnologias: *software* e processamento de dados, eletrônica e *hardware*, telecomunicações e máquinas e equipamentos. Esses resultados mostram que, dentro do ecossistema, ocorreu consolidação no processo de convergência de serviços avançados, principalmente no que diz respeito ao *software*, enquanto a manufatura avançada ainda tem um caminho a percorrer para alcançar a maturidade (ECLAC, 2018).

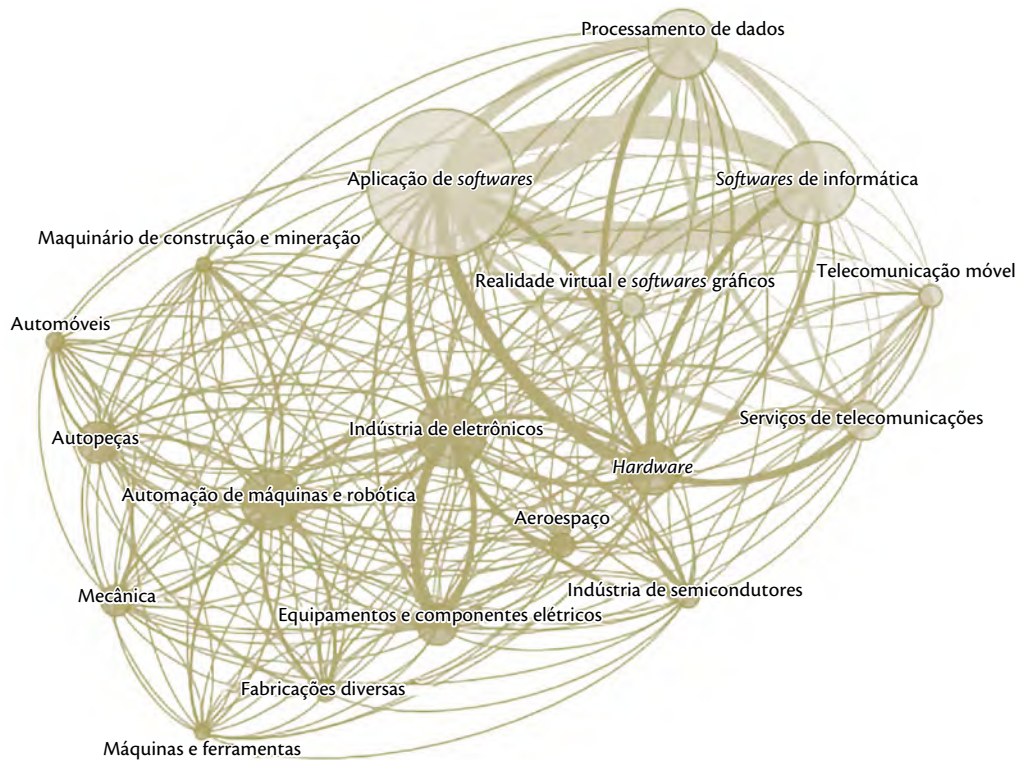


Figura 3 – Convergência acelerada do ecossistema da Indústria 4.0 entre 2014 e 2016

Fonte: ECLAC (2018).

Apesar da relevância de todas as tecnologias envolvidas na Indústria 4.0, pesquisa realizada pela KPMG (2018) colheu a opinião de mais de 750 líderes globais da indústria tecnológica, a fim de identificar aquelas que, em sua opinião, teriam maior impacto na indústria até 2021. Conforme os dados da Figura 4, a Internet das Coisas, a Inteligência Artificial e a robótica foram eleitas como as principais tecnologias disruptivas para a indústria.

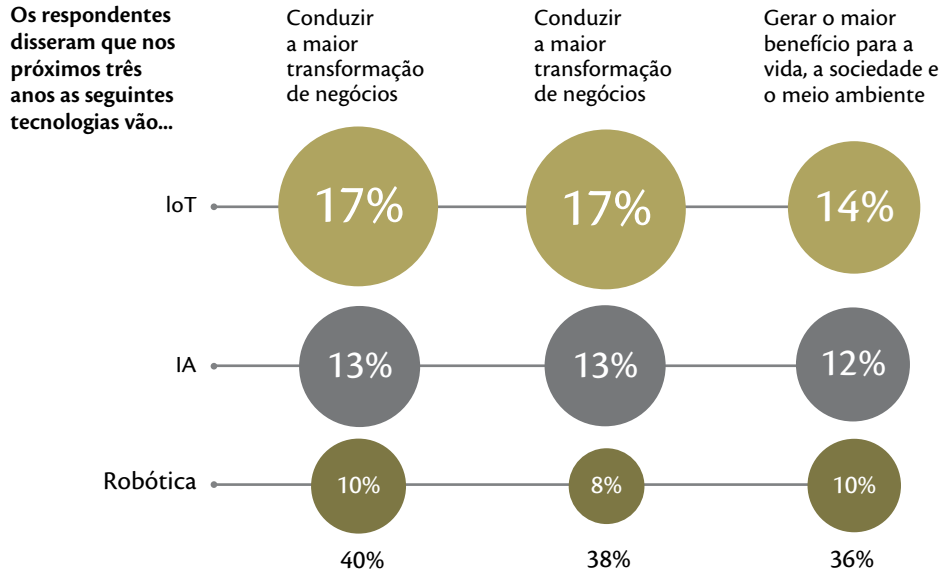


Figura 4 – Tecnologias de maior impacto na Indústria 4.0, segundo consulta pública
Fonte: KPMG (2018).

Já o estudo elaborado pela Deloitte (2020) aponta que as tecnologias com maior probabilidade de gerar impacto sobre as empresas são: Internet das Coisas (72%), Inteligência Artificial (68%), infraestrutura em nuvem (64%), Big Data (54%), nanotecnologia (44%), robótica avançada (40%), sensores (40%), Blockchain (17%), manufatura aditiva ou impressão 3D (10%), realidade aumentada (9%), computação quântica (7%) e computação de ponta (6%).

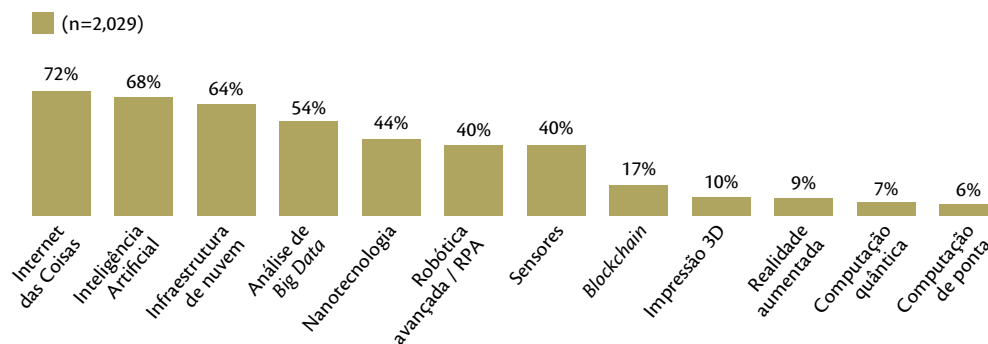


Gráfico 1 – Comparação da probabilidade de impactos esperados advindos das novas tecnologias
Fonte: Deloitte (2020).



Por meio do recorte regional, Deloitte (2020) indica a probabilidade de impacto esperado de tais tecnologias no continente americano (AMER), na Ásia e Pacífico (APAC) e na Europa, Oriente Médio e África (EMEA). Conforme demonstrado no Gráfico 2, Europa, Oriente Médio e África são as regiões que apresentam maior probabilidade de impacto esperado a partir da implementação das novas tecnologias, com 92% de expectativa sobre a Internet das Coisas, 84% para infraestrutura em nuvem, 78% para Inteligência Artificial e 65% para *Big Data*. Já as Américas apresentam a probabilidade de 72% para impactos esperados da Internet das Coisas, 65% para infraestrutura em nuvem, 63% para *Big Data* e 62% para Inteligência Artificial. Por fim, a região da Ásia e Pacífico é aquela que apresenta menor probabilidade de impacto esperado dessas tecnologias, com probabilidade de 60% para Inteligência Artificial, 45% para Internet das Coisas, 34% para infraestrutura em nuvem e 28% para *Big Data*.

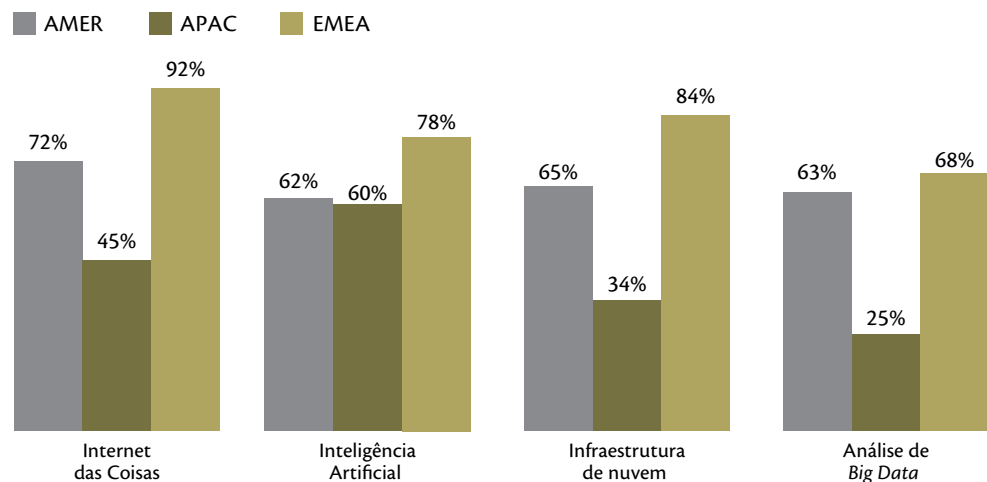


Gráfico 2 – Probabilidade de impactos esperados das novas tecnologias 4.0, por região
Fonte: Deloitte (2020).

Ademais, Boston Consulting Group - BCG (2019) indica que são nove as principais tecnologias da Indústria 4.0, determinantes da produtividade e crescimento das indústrias. São elas: robôs autônomos, simulações, sistemas de integração horizontal e vertical, Internet das Coisas Industrial, segurança cibernética, computação em nuvem, manufatura aditiva, realidade aumentada, e *Big Data* e *analytics*.

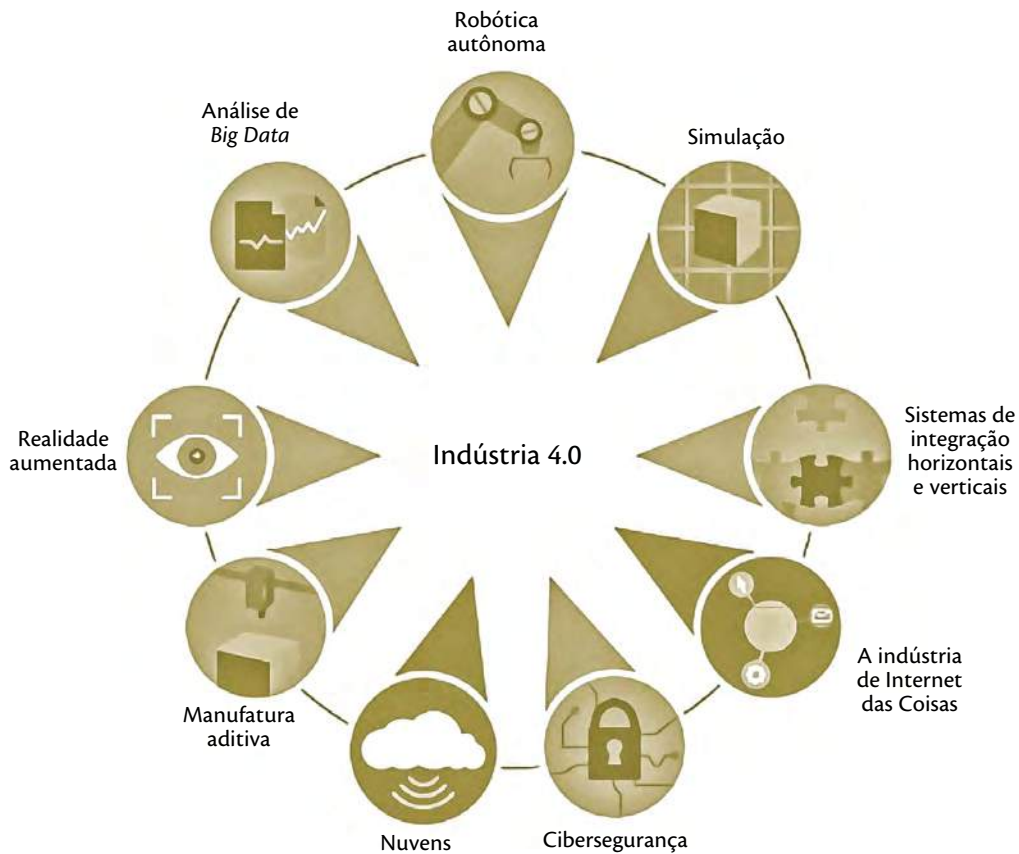


Figura 5 – Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0
Fonte: BCG (2019).

Sacomano *et al.* (2018) propõem uma classificação não definitiva dos elementos formadores da Indústria 4.0, pela qual categoriza as tecnologias emergentes em: **elementos-base** ou fundamentais, que representam a base tecnológica fundamental sobre a qual o próprio conceito de Indústria 4.0 apoia-se e sem os quais não poderia existir; **elementos estruturantes**, que são tecnologias e/ou conceitos que permitem a construção de aplicação da Indústria 4.0; e **elementos complementares**, que ampliam as possibilidades da Indústria 4.0, mas que não necessariamente tornam 4.0 as aplicações industriais que eventualmente os utilizem.

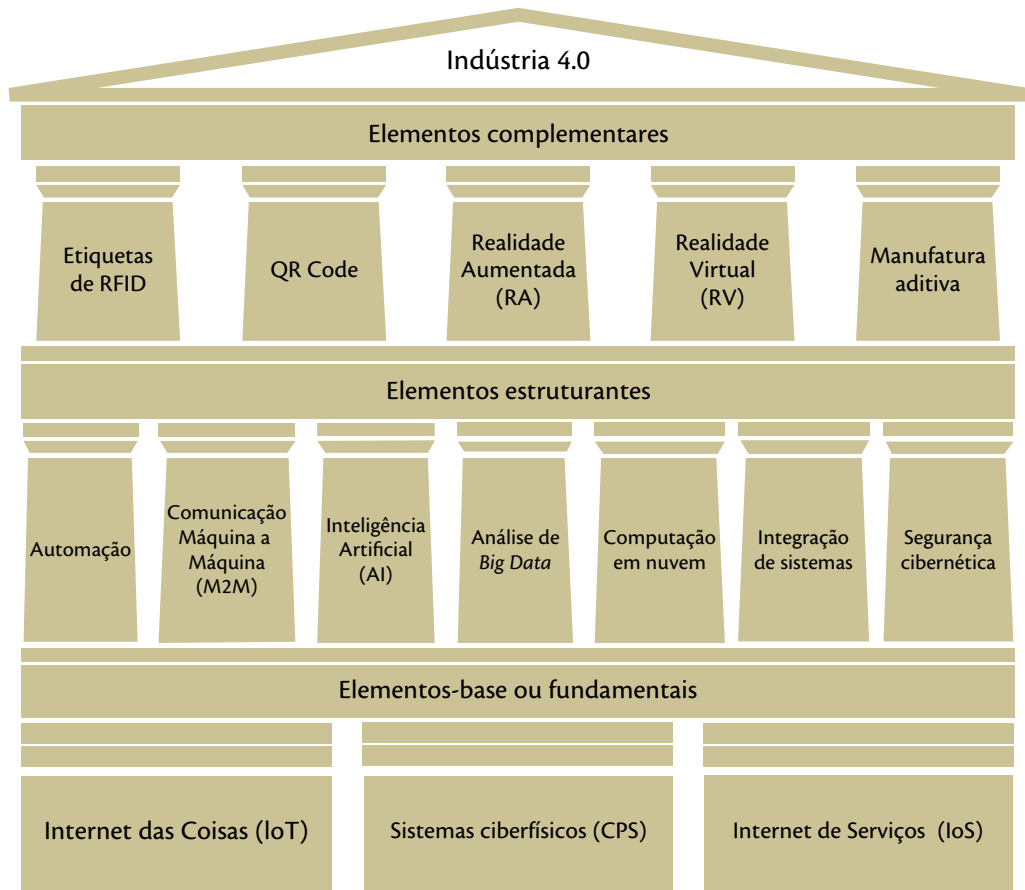


Figura 6 – Elementos formadores da Indústria 4.0: a “casa” da Indústria 4.0

Fonte: Sacomano *et al.* (2018).

Por fim, considerando as áreas tecnológicas conclusivas para a promoção da manufatura avançada e os temas tecnológicos prioritários expressos na Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) 2016 - 2022 (BRASIL, 2016), bem como as tecnologias apontadas pelas empresas como relevantes e oportunas de serem exploradas, a Figura 7 destaca as tecnologias referenciais (*technology drivers*) para manufatura avançada que devem ser priorizadas pelo Brasil (BRASIL, 2017). Consideradas como nucleares à manufatura avançada, estão: *software* industrial,



sensores e atuadores, eletroeletrônica, TIC, nanotecnologia, biotecnologia, fotônica e novos materiais. Entre estas, ramificam-se os objetos inteligentes e as tecnologias de conectividade, habilitadoras, integradoras e provedoras.

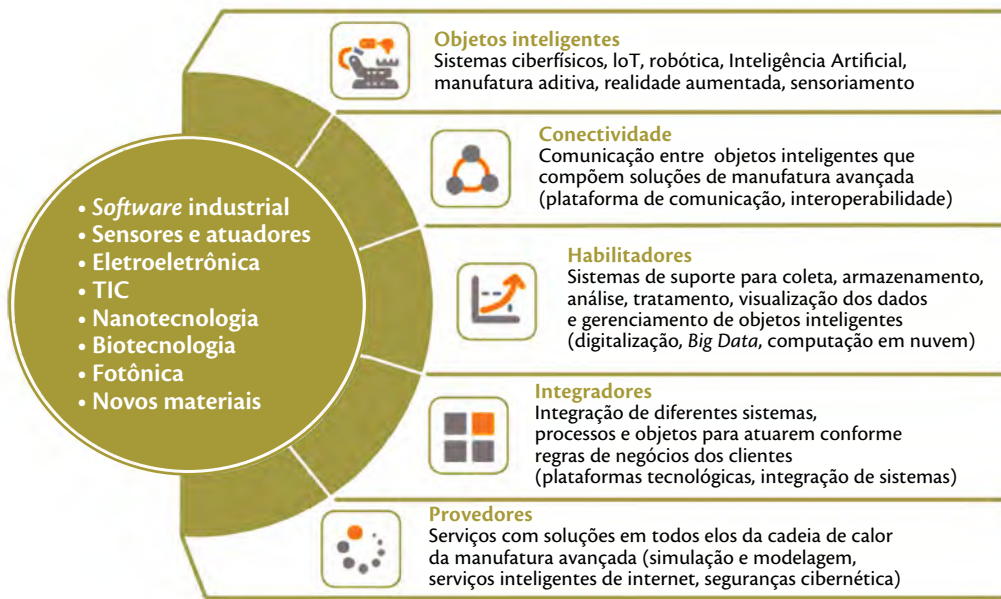


Figura 7 – Tecnologias referenciais para manufatura avançada no Brasil

Fonte: Brasil (2017).

Para fins metodológicos deste documento técnico, optou-se por averiguar a frequência de menções atribuídas a cada tecnologia em um total de 30 relatórios elaborados por instituições internacionais e nacionais, a fim de identificar a linha mestra que perpassa todos esses estudos.

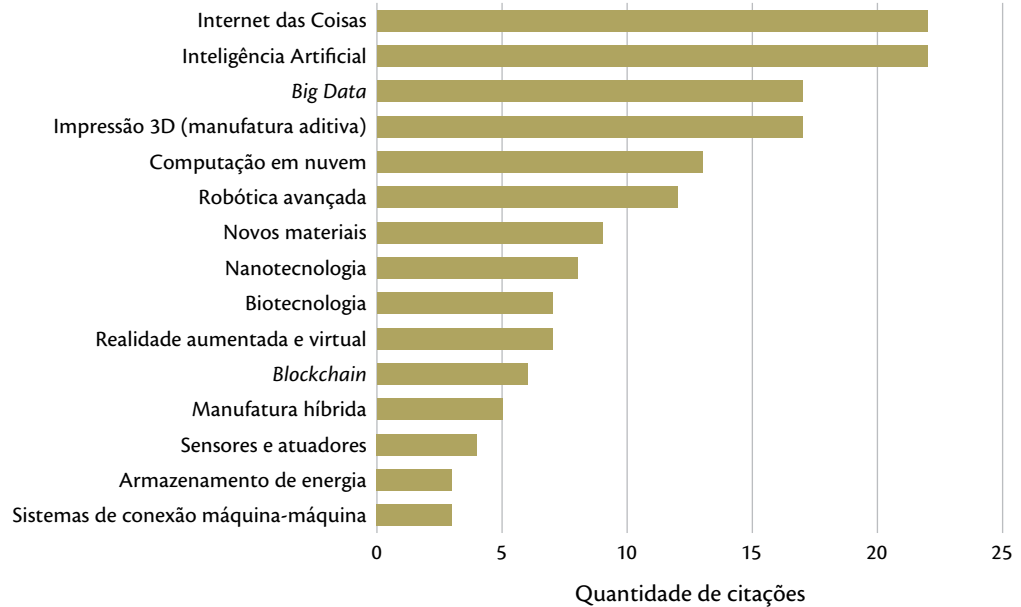


Gráfico 3 – Frequência de citação das novas tecnologias da Indústria 4.0 na literatura atual

Fonte: Elaboração própria, com base em relatórios do MCTI, CNI, BNDES, IEL, UNIDO, World Bank, WEF, OECD, KMPC, ECLAC, Deloitte, McKinsey, PwC, Accenture Strategy, BID, Sebrae e SENAI.

Entendendo as limitações existentes da literatura atual em classificar quais tecnologias fazem parte ou não da Indústria 4.0 (SACOMANO *et al.*, 2018), o Gráfico 3 aponta que apenas seis foram citadas em pelo menos um terço (dez) dos 30 textos selecionados para análise. Compreende-se que novas tecnologias surgem a cada dia e que, portanto, muitas outras poderiam ter sido contempladas. Contudo, a fim de viabilizar a delimitação da análise, optou-se por explorar apenas as seis tecnologias que se sobressaíram nos relatórios analisados, sendo elas: Internet das Coisas (citada em 22 relatórios), Inteligência Artificial (22), *Big Data* (17), manufatura aditiva (ou impressão 3D) (17), computação em nuvem (13) e robótica avançada (12), as quais serão abordadas a seguir.

2.1. Internet das Coisas (IoT) e Internet das Coisas Industrial (IIoT)

Com uma previsão de US\$ 1,1 trilhão em investimentos mundiais até 2021, a Internet das Coisas (IoT) consiste no conjunto de sistemas, compostos por *hardwares* e *softwares*, que viabilizam



a interligação e a comunicação entre objetos físicos, podendo ser máquinas e equipamentos conectados entre si ou bens de consumo conectados com outros produtos (KPMG, 2018; IEDI, 2019). Sensores microeletrônicos distribuídos e *gateways* formam sistemas de coleta e tratamento de informações que podem ser centralizadas e processadas em nuvem ou em servidores especializados (VERMESAN; FRIESS, 2014). Trata-se, portanto, de tecnologias que habilitam inovações nos demais *clusters*, abarcando tecnologias já conhecidas e novas gerações em surgimento produtivo (UNIDO, 2017; INSTITUTO EUVALDO LODI - IEL, 2018).

Como exemplo, verifica-se que os sistemas ciberfísicos da Internet das Coisas geram e capturam dados do mundo físico, transmitindo-os por meio da infraestrutura de rede, a fim de serem analisados e empregados por aplicativos distintos. Durante esse processo, a rede deve ter a capacidade de transmitir e analisar grandes volumes de dados (*Big Data*) por meio de aplicativos, que podem fazer uso da computação em nuvem com o poder de processamento necessário para lidar com as grandes quantidades de informações. Esses dados podem ser usados para alimentar algoritmos de aprendizado, que aumentam a inteligência artificial de máquinas e de sistemas inteligentes de fabricação que aprendem e comunicam-se em tempo real, permitindo que eles tomem suas próprias decisões e, portanto, adaptem e otimizem suas operações, mesmo em condições de mudança. Da mesma forma, esses dados podem permitir que as empresas detectem e resolvam problemas mais rapidamente, economizando tempo e custos associados a interrupções na produção (VERMESAN; FRIESS, 2014).

Segundo Barleta, Pérez e Sánchez (2019), a base global instalada de dispositivos de IoT deve aumentar de 27 bilhões em 2017 para 64 bilhões em 2025. Outro elemento esperado para favorecer a ampla incorporação dessa tecnologia é a implementação do 5G, que pode fornecer velocidades de acesso à internet de dez a cem vezes mais rápidas que a tecnologia existente atualmente e com latência inferior a um segundo, o que significa melhoria nos serviços baseados em nuvem (BARLETA; PÉREZ; SÁNCHEZ, 2019). Ademais, ressalta-se que a Internet das Coisas é frequentemente apresentada como uma revolução, mas na verdade consiste em uma evolução das tecnologias desenvolvidas há mais de 15 anos (WEF, 2017a). Tal tecnologia leva a tomada de decisão orientada por dados para diversos domínios da atividade humana, seja para otimizar o desempenho de sistemas e processos, economizar tempo para pessoas e empresas ou melhorar a qualidade de vida. Desde o monitoramento de máquinas no chão de fábrica até o rastreamento do progresso dos navios no mar, os sensores podem ajudar as empresas a aproveitar muito mais seus ativos físicos, melhorando o desempenho das máquinas, prolongando a vida útil e aprendendo como elas podem ser redesenhadas para fazer ainda mais (MANYIKA et al., 2015).



Ademais, espera-se que a Internet das Coisas tenha aplicações importantes na indústria e em outros setores, como serviços domésticos e de consumo, energia, sistemas de transporte, assistência médica, entretenimento e serviços públicos (OECD, 2015). A indústria é uma das maiores fontes de valor no que tange à adoção da Internet das Coisas, potencialmente gerando um impacto econômico de US\$ 1,2 trilhão a US\$ 3,7 trilhões por ano, conforme Figura 8. No cenário das fábricas, o valor da Internet das Coisas surgiria principalmente de melhorias de produtividade, incluindo 10% a 20% de economia de energia e uma melhoria potencial de 10% a 25% na eficiência da mão de obra. Melhorias na manutenção de equipamentos, otimização de inventário e saúde e segurança do trabalhador também são fontes de valor nas fábricas (MANYIKA *et al.*, 2015).

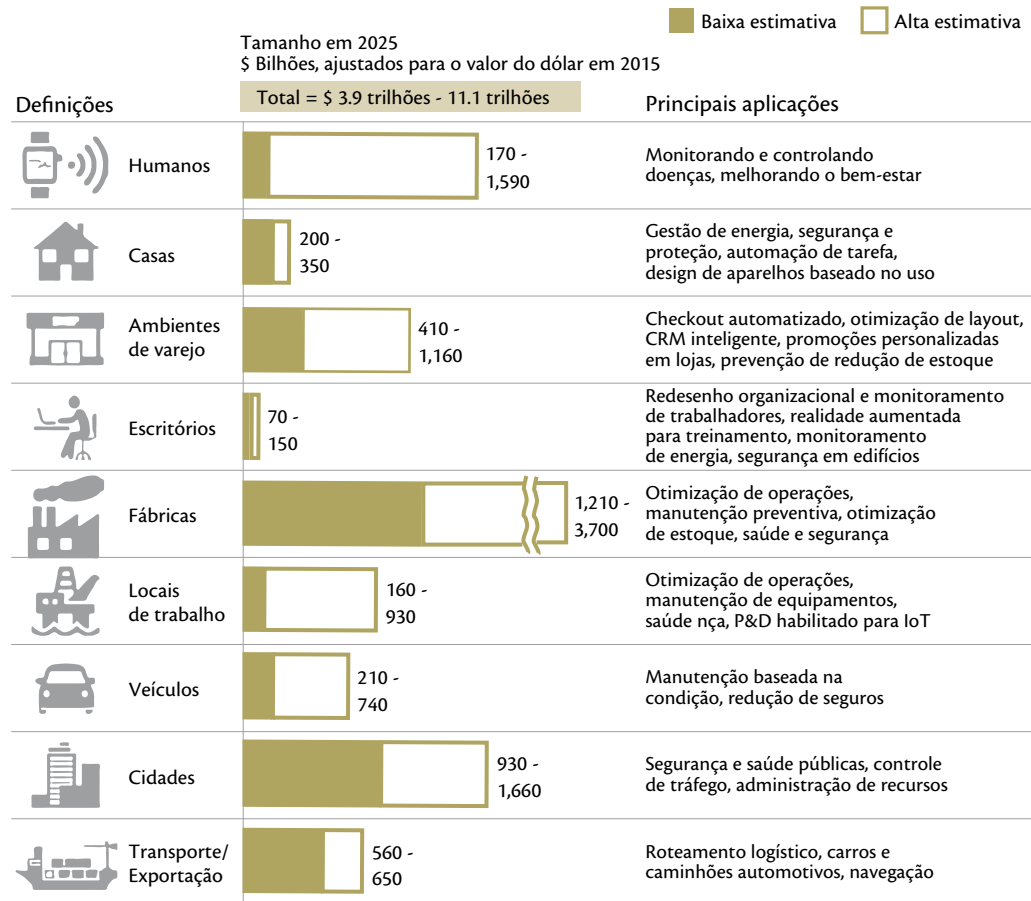


Figura 8 – Potencial impacto econômico da internet das coisas mundialmente, em 2025

Fonte: Manyika *et al.* (2015).



Esse uso de tecnologias da Internet das Coisas na indústria é comumente conhecido como Internet das Coisas Industrial (IIoT). Como o nome indica, esta tecnologia incorpora tecnologias de comunicação e automação que existem em ambientes industriais com a finalidade de maximizar e automatizar a captura de dados para melhorar a rastreabilidade dos processos e a tomada de decisões em tempo real relacionadas à produção (BARLETA; PÉREZ; SÁNCHEZ, 2019). Vale destacar que as fábricas inteligentes usam a Internet das Coisas não apenas para automatizar a produção, mas também para se comunicar e compartilhar informações que visam a otimizar toda a cadeia de valor. Assim, tais fábricas apresentam duas características importantes: as tecnologias físico-digitais incorporadas em máquinas e equipamentos que permitem a detecção, o monitoramento e o controle; e a comunicação entre as diferentes partes da cadeia de valor (HALLWARD-DRIEMEIER; NAYYAR, 2018).

Avalia-se que a IIoT pode aprimorar a eficiência operacional, sendo necessário o emprego de melhores práticas em toda a cadeia de valor (tecnologia atualizada de produtos, equipamentos de produção, abordagem de venda, soluções de TI, gestão da cadeia de suprimentos, etc.). Além disso, com sua rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e aplicativos com tecnologia embarcada nos setores da indústria, a IIoT pode gerar um número cada vez maior de dispositivos conectados (em algumas situações incluem até produtos inacabados), possibilitando a comunicação e a integração de sistemas e controles e permitindo respostas e tomadas de decisão em tempo real (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - FIRJAN, 2016).

Por fim, o Plano de Ação de IoT para o Brasil aborda os meios pelos quais se busca acelerar a implantação da Internet das Coisas como instrumento de desenvolvimento sustentável da sociedade brasileira, capaz de aumentar a competitividade da economia, fortalecer as cadeias produtivas nacionais e promover a melhoria da qualidade de vida. Desta forma, evidencia-se que a IoT na indústria brasileira tem objetivos estratégicos a nível de recursos e processos, bens de capital, estoque e inovação, conforme a Figura 9 (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES, 2017).



	 Cidades	 Saúde	 Rural	 Indústria
Mobilidade 	Reduzir tempos de deslocamento , considerando diferentes modalidades de veículos , e aumentar a atratividade do transporte coletivo	Doenças Crônicas 	Uso eficiente de recursos naturais e insumos 	Recursos e processos 
Segurança pública 	Aumentar capacidade de de vigilância e monitoramento de áreas da cidade para mitigar situações de risco à segurança	Promoção e prevenção 	Uso eficiente maquinário 	Bens de capital 
Eficiência energética e saneamento 	Reduzir desperdício de utilities e criar rede de iluminação pública que habilite soluções de IoT de forma ampla na cidade	Eficiência de gestão 	Segurança sanitária 	Estoque a cadeia de fornecimento 
Inovação 				Promover a adoção de soluções desenvolvidas localmente para desafios do ambiente

Figura 9 – Objetivos Estratégicos do IoT nos ambientes

Fonte: BNDDES (2017).



Em suma, as oportunidades imediatas para os produtores estão em controle corporativo inteligente, gerenciamento de desempenho de ativos em tempo real e produtos e serviços inteligentes e conectados. Já os desafios de segurança cibernética, interoperabilidade, complexidade e riscos de gerenciamento acabam por impedir que os produtores adotem a IoT no chão de fábrica e em suas cadeias de suprimentos, com 85% dos ativos ainda desconectados (WEF, 2017a; KPMG, 2018). Contudo, ainda que as inovações de IoT surjam inicialmente como adicionais e opcionais, elas demonstram um potencial cada vez maior de se tornarem inovações radicais (IEL, 2018).

2.2. Inteligência Artificial (AI)

A Inteligência Artificial (AI) é a tecnologia que permite que máquinas tomem decisões de forma autônoma, sem a interferência humana (IEDI, 2019). Abrange todos os agentes inteligentes (sistemas de computador) que têm a capacidade de aprender, adaptar e operar em ambientes dinâmicos e incertos. Para tal, sistemas inteligentes usam algoritmos avançados que aprendem com cada registro de dados adicional e continuamente ajustam e aprimoram suas previsões (IEL, 2018). As máquinas imitam funções cognitivas associadas às mentes humanas, como aprendizado, percepção, resolução de problemas e raciocínio (OECD, 2020; UNIDO, 2017). Geralmente, a Inteligência Artificial é usada para tarefas que exigem movimentos repetitivos, facilitando a identificação de padrões e acionando ações específicas com base em um grande volume de dados de diferentes fontes (BARLETA; PÉREZ; SÁNCHEZ, 2019). Desta forma, percebe-se que, para a incorporação desta tecnologia, é necessário dispor de grandes bases de dados, capacidade de processamento de informações e computação em nuvem (IEDI, 2019).

Estima-se que o potencial impacto da Inteligência Artificial sobre o Produto Interno Bruto (PIB) mundial seja de US\$ 15,7 trilhões até 2030 e 85% das interações com clientes seriam gerenciadas sem humanos até 2020 (OECD, 2020). Já a previsão de investimentos mundiais nesses sistemas poderia chegar a US\$ 52,2 bilhões até 2021 (KPMG, 2018). Ademais, as aplicações da Inteligência Artificial podem produzir efeitos radicais sobre processos, produtos, insumos, organizações, infraestruturas e mercados. Mesmo sendo tecnologias em diferentes estágios de desenvolvimento, o ritmo de progresso técnico é muito intenso, assim como o de aplicação geral (na indústria) (IEL, 2018).

Na indústria, a Inteligência Artificial permite que os produtores compreendam os dados que suas fábricas, operações e consumidores geram, permitindo-os transformarem esses dados em decisões



significativas. Em 2017, 70% dos dados de produção capturados não eram utilizados. Aplicando a Inteligência Artificial à conectividade da Internet das Coisas, os produtores podem orquestrar e otimizar processos de negócios, de *desktops* a máquinas, em paredes de departamentos e camadas de fornecedores. Além disso, outras oportunidades imediatas promissoras para a aplicação dessa tecnologia em sistemas de produção são o gerenciamento da qualidade, a manutenção preditiva e a otimização da cadeia de suprimentos. Entende-se, portanto, que os produtos habilitados para Inteligência Artificial serão um divisor de águas para as propostas de valor endereçadas aos clientes, o que indica que os produtores devem preparar-se para orquestrar as redes de valor necessárias para entregá-las (WEF, 2017a).

Ressalta-se que o facilitador que permite com que o sistema de Inteligência Artificial exiba aspectos da inteligência humana é o *machine learning*, que, na sua forma mais básica, refere-se ao uso de algoritmos para analisar e aprender com dados, a fim de tomar decisões sobre tarefas específicas. Em vez de escrever um conjunto específico de código de *software* para instruir uma máquina a realizar um trabalho, os algoritmos de *machine learning* permitem que a máquina aprenda a executar uma tarefa, treinando o sistema por meio do uso de grandes quantidades de dados (*Big Data*). O *machine learning* também tem sido utilizado nos processos de manutenção preditiva, otimização do controle de qualidade, estimativa de reserva de garantia, telemática e previsão de demanda. Aponta-se ainda que as aplicações de Inteligência Artificial na fabricação devem aumentar rapidamente devido à maior disponibilidade de *Big Data*, maior poder computacional (computação em nuvem) e desenvolvimento de melhores algoritmos de *machine learning*. Os sistemas robóticos autônomos são, inclusive, uma área interessante para explorar os avanços na Inteligência Artificial e *machine learning* (UNIDO, 2017).

Por fim, o *Institute for the Future for Dell Technologies* (2017) argumenta que a Inteligência Artificial é usada em aplicações simples e complexas, desde veículos autônomos até assistentes virtuais. Seu desenvolvimento pode ser pensado em três etapas. A primeira é a inteligência de reconhecimento, algoritmos que reconhecem padrões. A inteligência cognitiva virá em seguida: máquinas que inferem informações a partir de dados. A fase final trata de seres humanos virtuais. Seria plausível que em 2030 entremos em uma segunda fase da AI. Mas não é tudo: além da capacidade de tomar decisões, as máquinas agora podem aprender com as experiências e compartilhar esse aprendizado com outros programas de AI e com robôs. Essas habilidades levam a novos debates sobre quem (ou o quê) é moral e eticamente responsável pelas decisões tomadas pelas máquinas. (FINQUELIEVICH, 2020).



2.3. Big Data

A implementação industrial em larga escala de sistemas ciberfísicos, juntamente com as melhorias nas redes industriais, resulta no crescimento do volume e do tráfego de dados. O termo *Big Data* ou *Big Data Analytics* denomina o conjunto de ativos de informações de alto volume, alta velocidade e/ou alta variedade que exigem formas de processamento inovadoras e econômicas, que permitem uma visão aprimorada, tomada de decisão e automação de processos (UPADHYAYA; KYNLOVA, 2017). *Big Data* refere-se, assim, a conjuntos de dados cujo tamanho está além da capacidade que as ferramentas típicas de *software* de banco de dados têm de capturar, armazenar, gerenciar e analisar (UNIDO, 2017). Vale destacar que dispor de dados passou a ser de extrema importância para o tratamento computacional de análise de processos e tomada de decisões. Por meio desta expressiva quantidade de dados, viabiliza-se o desenvolvimento de outras tecnologias emergentes, como a automação digital e a robotização de processos industriais, nos quais robôs autônomos tendem a assumir maior relevância (IEDI, 2019).

De acordo com UNIDO (2017) e Barleta, Pérez e Sánchez (2019), a tecnologia de *Big Data* incorpora os quatro elementos seguintes:

- **Volume:** refere-se à sua magnitude exponencial crescente de dados, expressos frequentemente em terabytes e petabytes;
- **Variedade:** refere-se à sua estrutura heterogênea e à complexidade de seus formatos, podendo aparecer de maneira estruturada (como bancos de dados, documentos, imagens, vídeos, e-mails, coordenadas, etc.) e não estruturada;
- **Velocidade:** refere-se à velocidade em que é criado, distribuído, armazenado, analisado e visualizado;
- **Variabilidade:** refere-se aos fluxos de dados inconsistentes ao longo do tempo.

Ressalta-se que outros Vs, como validade e visualização, são outras propostas existentes na literatura atual, mas se sobrepõem principalmente às dimensões já mencionadas (UPADHYAYA; KYNLOVA, 2017). De forma complementar, a Indústria 4.0 compreende o conceito de *Big Data Analytics* tendo por base os seis Cs (LEE; KAO; YANG, 2014): conexão (sensor e redes), *cloud* (computação em nuvem e dados sob demanda), cyber (modelo e memória), conteúdo/contexto (significado e correlação), comunidade (compartilhamento e colaboração), customização (personalização e valor).



Apesar de seu valor e oportunidades, o desenvolvimento de *Big Data* também traz desafios tecnológicos. Em particular, a infraestrutura tradicional da tecnologia da informação e os métodos de gerenciamento e análise de dados ainda não estão prontos para o seu rápido crescimento. As redes de TI existentes apresentam gargalos importantes em termos de baixa escalabilidade, baixa tolerância a falhas, baixo desempenho e dificuldade na instalação, implantação e manutenção, entre outras questões. Desta forma, novos desenvolvimentos em TI são necessários para lidar com a demanda em tempo real de *Big Data*, particularmente em cinco categorias principais (UNIDO, 2017):

- **Suporte à infraestrutura:** o processamento de *Big Data* requer *Data Centers* em nuvem com recursos em grande escala, bem como plataformas de computação em nuvem com soluções eficientes de agendamento e gerenciamento de recursos, que sejam seguras, de alto desempenho, confiáveis e escaláveis;
- **Aquisição de dados:** a aquisição é uma pré-etapa essencial para o processamento de dados e envolve não apenas tecnologias para coletar, mas também para limpar, filtrar, verificar e converter dados válidos em formatos e tipos adequados;
- **Armazenamento de dados:** devido à grande quantidade de dados envolvidos, são necessários sistemas de armazenamento de arquivos e bancos de dados distribuídos para armazenar os dados em vários sites.
- **Computação e análise de dados:** as ferramentas analíticas também devem evoluir para extrair as informações incorporadas em *Big Data* por meio da estruturação, análise e processamento rápidos de fontes de dados distribuídas e heterogêneas em tempo quase real. A análise de *Big Data* inclui métodos quantitativos sofisticados, como mineração de dados, redes neurais, matemática computacional, Inteligência Artificial e *machine learning*, para descobrir inter-relações e padrões nos dados.
- **Exibição e interação:** para explorar completamente seu valor, formatos apropriados de exibição visual são essenciais para obter um melhor entendimento de *Big Data* por usuários industriais, em apoio às atividades de tomada de decisão nos processos de negócios.

2.4. Impressão 3D ou manufatura aditiva

A manufatura aditiva, ou impressão 3D, é o processo de produção de peças por meio da deposição de materiais, criando objetos sobrepondo (imprimindo) camadas sucessivas de material com base em um modelo ou desenho 3D (IEDI, 2019). A tecnologia apresenta um amplo leque de



funcionalidades para os mais diversos setores. Especificamente no âmbito industrial, a impressão 3D envolve a impressão de peças de polímero a nível local, o que poderia trazer mudanças significativas em algumas cadeias de valor (BARLETA; PÉREZ; SÁNCHEZ, 2019). Por exemplo, na fabricação de automóveis, a manufatura aditiva pode alterar o modelo operacional, encurtando a cadeia de valor e permitindo a produção de objetos diretamente nas fábricas ou nas proximidades, economizando tempo e custos de transporte, além de proporcionar maior flexibilidade na produção em resposta a mudanças na demanda ou nos gostos dos clientes (BARLETA; PÉREZ; SÁNCHEZ, 2019).

Nesse sentido, a impressão 3D está revolucionando os processos de produção tradicionais. No curto prazo, avalia-se que a tecnologia trará benefícios às indústrias em que a personalização e o tempo de colocação no mercado sejam fatores importantes para a construção do valor do produto final – normalmente com peças de baixo volume e alto valor, como aeroespacial e assistência médica. Espera-se, assim, que a escala importe menos com as impressoras 3D do que com outras novas tecnologias de processo de fabricação e a demanda por produtos personalizados entregues rapidamente possa dispersar as atividades de fabricação geograficamente – ou seja, em um modelo de microfabricação, pelo qual até mesmo as pequenas empresas possam acessar projetos internacionais e imprimir localmente (HALLWARD-DRIEMEIER; NAYYAR, 2018). No entanto, esse cenário pode ser limitado pela escassez de técnicos e engenheiros treinados ou pelo fornecimento confiável de eletricidade. A fraca proteção dos direitos de propriedade intelectual é outro fator a ser considerado. É improvável que as empresas enviem projetos para locais onde possam ser facilmente impressos, sem limite, para clientes que não pagam taxas de licença ou *royalties*. Além disso, os países que não estão abertos ao comércio de serviços correm o risco de ficar para trás, porque o modelo de impressão 3D substitui efetivamente o comércio de serviços (por meio do pagamento de taxas de licença e *royalties* por desenhos) pelo comércio de mercadorias (HALLWARD-DRIEMEIER; NAYYAR, 2018).

Desta forma, WEF (2017a) avalia que as economias e a dinâmica da indústria atual ainda não têm capacidade de suportar a incorporação da impressão 3D, uma vez que a substituição da fabricação convencional por longas tiragens de produção em localização mais próxima dos consumidores pode ser uma mudança desafiadora e dispendiosa. Dadas essas limitações nos amplos recursos de uso da impressão em 3D ou se as economias de escala na impressão em 3D forem fortes, a atividade de impressão provavelmente se agrupará nos locais do *hub*. Atualmente, Barleta, Pérez e Sánchez (2019) apontam que, mesmo que a qualidade e a velocidade da impressão 3D ainda estejam sendo debatidas, o investimento privado nessa tecnologia



está concentrado nos Estados Unidos, responsáveis por 39% do mercado global, seguidos pela Ásia e Pacífico (29%) e Europa (28%). Assim, embora a impressão em 3D tenha sido usada principalmente para prototipagem até o momento, ela já possui uma presença considerável ou potencial significativo em certas indústrias – embora em grande parte em países de alta renda (HALLWARD-DRIEMEIER; NAYYAR, 2018).

2.5. Computação em nuvem

A computação em nuvem consiste em serviços que utilizam computadores, servidores e toda uma infraestrutura necessária para processar e armazenar bases de dados. Seu compartilhamento e acesso se dá por meio da internet, a partir de diversos dispositivos, como computadores, *tablets* e celulares (IEDI, 2019). Segundo UNIDO (2017), a computação em nuvem baseia-se, assim, na prática de usar uma rede de servidores remotos hospedados na internet para armazenar, gerenciar e processar dados, em vez de um servidor local ou computador pessoal. Nesse sentido, é um tipo de computação baseada na internet que permite acesso onipresente e sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos de computação configuráveis (por exemplo, redes de computadores, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente fornecidos e liberados com o mínimo esforço de gerenciamento (UNIDO, 2017). Esse modelo apresenta vantagens relevantes em termos de custos e escalabilidade da infraestrutura, embora exija acesso ininterrupto à internet de alta velocidade e controles rígidos de segurança para proteger aplicativos e dados críticos (BARLETA; PÉREZ; SÁNCHEZ, 2019).

Nota-se que a computação em nuvem e *Big Data* são complementares, visto que o primeiro fornece uma maneira econômica de oferecer suporte à infraestrutura tecnológica necessária para processar grandes volumes e formatos variados de *Big Data* disponíveis na nuvem. Desta forma, a computação em nuvem desenvolveu-se como uma resposta aos enormes requisitos de processamento de informações da era da internet, como resultado de tendências tecnológicas e necessidades sociais, e possui as seguintes características (UNIDO, 2017):

- **Autoatendimento sob demanda:** os usuários podem solicitar unilateralmente os recursos de computação da nuvem, conforme necessário, sem nenhuma interação humana com o provedor de serviços, de maneira semelhante ao acesso a serviços públicos;



- **Acesso amplo à rede:** os recursos estão disponíveis na rede e podem ser acessados por meio de plataformas padrão (telefones celulares, *tablets*, *laptops* e estações de trabalho). Todos os serviços em nuvem são hospedados além dos limites do cliente e entregues pela internet;
- **Pool de recursos:** os recursos da nuvem (por exemplo, armazenamento, processamento, memória e largura de banda da rede) são agrupados para atender vários consumidores, com recursos atribuídos e reatribuídos dinamicamente de acordo com a demanda do consumidor;
- **Rápida elasticidade:** os recursos da nuvem podem ser provisionados elasticamente e liberados de uma maneira que, para o consumidor, pareça ilimitado, podendo ser apropriados em qualquer quantidade a qualquer momento;
- **Serviço medido:** o uso de recursos pode ser monitorado, controlado, otimizado e reportado automaticamente, fornecendo transparência ao fornecedor e ao consumidor.

Ademais, a adoção generalizada da computação em nuvem apresenta alguns riscos que precisam ser abordados, em particular (UNIDO, 2017):

- **Segurança de dados:** informações confidenciais são vulneráveis a violações de segurança e, portanto, as atividades de pesquisa atuais são altamente focadas no desenvolvimento de soluções para esse risco. Além disso, leis relacionadas ao sigilo de informações ainda estão em desenvolvimento na maioria dos países;
- **Confiabilidade:** as informações devem estar sempre disponíveis sob demanda. Isso significa que ter conexões de rede confiáveis e de alta velocidade é essencial para o uso bem-sucedido da computação em nuvem. Qualquer falha no desempenho geral do sistema pode interromper as operações normais da empresa, levando a possíveis perdas financeiras;
- **Problemas de gerenciamento:** o monitoramento, o planejamento e a implantação eficientes dos recursos da nuvem representam um desafio complexo de gerenciamento. São necessários mais pesquisa e desenvolvimento em algoritmos avançados de programação dinâmica para melhorar a eficiência do compartilhamento de recursos, economizar energia e reduzir custos operacionais;
- **Padronização:** Devido ao seu recente desenvolvimento, os padrões para implementação de tecnologia e prestação de serviços começaram a ser homogêneos. Padrões abertos são necessários para garantir a total interoperabilidade em termos de dados e aplicativos.



Embora a computação em nuvem não seja nova na manufatura, a digitalização projetada da manufatura exigirá maior compartilhamento de dados entre máquinas e processos. Mais dados da máquina serão implantados na nuvem para permitir o aumento de serviços orientados por dados para os sistemas de produção, incluindo processos de monitoramento e controle baseados em nuvem. Os usuários da nuvem poderão usar os serviços de acordo com seus requisitos, desde o design até fabricação, testes, gerenciamento e todos os outros estágios do ciclo de vida do produto (UNITED STATES DEPARTMENT OF EDUCATION - USDE, 2015).

2.6. Robótica avançada

Com a previsão dos investimentos mundiais em robótica avançada, as novas tecnologias terão o potencial de mudar os locais de trabalho tão dramaticamente quanto as máquinas da primeira revolução industrial (KPMG, 2018). Por meio da robótica avançada, as principais habilidades relacionadas aos negócios – conhecimento de processos, integração de tecnologia e análise perspicaz – podem ser fornecidas a partir de um modelo alavancado por um custo reduzido. A capacidade e a demanda já existem para essa tecnologia e são possibilitadas por abundantes soluções de *software* e poder de computação que podem ser empacotadas e baixadas como “aplicativos” (DELOITTE, 2016). Ressalta-se que a automação e a robótica são duas tecnologias que andam juntas, pois permitem que ações ou procedimentos repetitivos sejam executados automaticamente (BARLETA; PÉREZ; SÁNCHEZ, 2019). Assim, a automação de processos em larga escala começou há mais de dois séculos na indústria têxtil. Agora, tarefas físicas dessa natureza são amplamente automatizadas nos setores de manufatura e outras indústrias e os desenvolvimentos no campo da robótica continuam a reduzir o custo da automação enquanto expandem os recursos (DELOITTE, 2016).

Atualmente, a automação da produção está acelerando, com uma taxa de 74 unidades de robôs industriais por 10 mil trabalhadores, o que marca a nova média da densidade robótica global na indústria manufatureira. Em 2015, esse índice era de 66 unidades (ABINEE, 2020). Como mostra o Gráfico 4, os índices apresentados pelos países europeus e asiáticos estão distantes daquele apresentado pelo Brasil, que possui média de 15 unidades (ABINEE, 2020). Quando comparado com os países que estão na fronteira da introdução de robôs industriais, a distância do Brasil é ainda mais expressiva, o que indica o longo caminho que o País precisa percorrer para alcançar a tendência mundial.

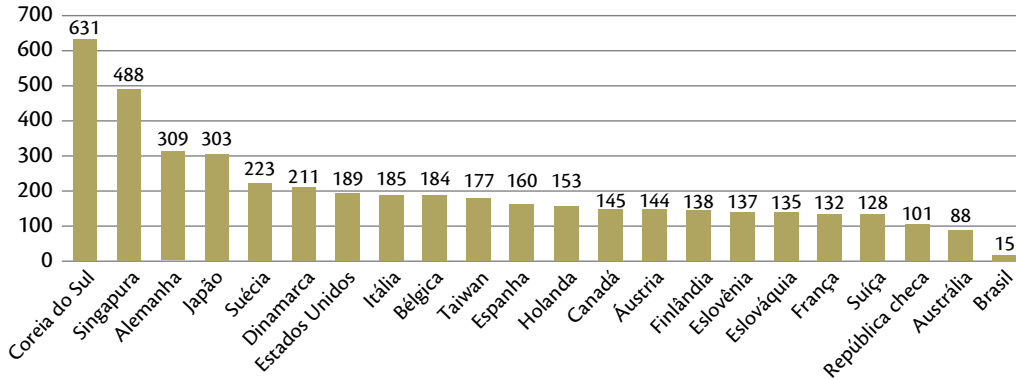


Gráfico 4 – Comparativo da densidade robótica mundialmente, em 2016

Fonte: ABINEE (2020).

2.7. Outras tecnologias

Além das seis tecnologias abordadas anteriormente, outras tecnologias prometem trazer impactos profundos para a indústria brasileira e mundial, sendo algumas delas:

- **Novos materiais ou materiais avançados:** conjunto de nova geração de materiais, que podem ser nanoestruturados ou não, possuir aplicações diversas e contribuir para o desenvolvimento das tecnologias (IEDI, 2019). Podem ser materiais que agregam novas características a materiais tradicionais ou materiais totalmente novos, que apresentam um desempenho superior em uma ou mais características de sua aplicação comercial (IEL, 2018).
- **Simulações computacionais:** utilização de técnicas e *inputs* alimentados em *softwares*, proporcionando uma modelagem matemática que gera o funcionamento virtual detalhado, em 2D e 3D, de todo o processo produtivo, com dados de eficiência, volume de entrega, gargalos, excesso de movimentação, abastecimento de materiais, movimentação de pessoas e oportunidades de rearranjo (FIRJAN, 2019).
- **Sistemas integrados:** digitalização dos dados, no monitoramento on-line dos processos produtivos, nas simulações e em toda a base de dados gerada por esses processos que necessitam estar interligados para que a comunicação seja eficaz e eficiente (FIRJAN, 2019).
- **Blockchain:** criação de um registro – neste caso, um livro-razão – de transações anteriores e o saldo atual de várias contas diferentes. Tal tecnologia destaca-se, pois não requer uma



entidade central de qualquer natureza em que todos os participantes tenham que depositar sua confiança (ECLAC, 2018).

- **Sensores e atuadores:** sensores são dispositivos que respondem a estímulos (luminosidade, movimentos, temperatura) capazes de registrar informações. Já os atuadores são responsáveis por comandar estímulos (capazes de gerar alguma ação) (CNI, 2017).
- **Manufatura híbrida:** máquinas que integram as funções aditivas e de usinagem (CNI, 2017).
- **Sistemas de Conexão Máquina-Máquina (M2M):** *software* de integração que possibilita a transmissão de informações entre máquinas e equipamentos (CNI, 2017).
- **Infraestrutura de comunicação:** meios físicos que garantem a comunicação entre máquinas dentro de um mesmo estabelecimento, entre distintas unidades de uma grande corporação empresarial ou entre diferentes empresas localizadas em lugares distintos (CNI, 2017).
- **Rede de comunicação:** sistema interligado de computadores, tecnologias de transmissão e recursos relacionados para processar, trocar ou difundir informações (IEL, 2018).
- **Nanotecnologia:** campos da Ciência e Tecnologia (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 (IEL, 2018).
- **Biotecnologia:** conjunto de técnicas de intervenção no genoma de organismos vivos ou suas partes para obter ou modificar os produtos, melhorar plantas ou animais ou desenvolver micro-organismos com fins definidos (IEL, 2018).
- **Armazenamento eletroquímico de energia:** corresponde à utilização de uma reação química (reação redox) para armazenar energia elétrica. É tido como instrumental para as inovações de IoT, redes e alimentação elétrica de sistemas produtivos (IEL, 2018).
- **Realidade aumentada e virtual:** refere-se a uma visão direta ou indireta ao vivo de um ambiente físico do mundo real, cujos elementos são aumentados por entradas sensoriais geradas por computador que fazem o som, vídeo e gráficos parecerem mais com a realidade (HALLWARD-DRIEMEIER; NAYYAR, 2018).



3. DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA INDÚSTRIA 4.0 PARA O BRASIL

A Indústria 4.0 tem o potencial de transformar e revolucionar as instituições, os processos e as dinâmicas atuais, oferecendo soluções para importantes desafios que impactam diretamente a produtividade industrial nacional. A sua transversalidade e agilidade trazem oportunidades a diversos setores. Entretanto, nota-se que o seu desenvolvimento no Brasil envolve uma série de desafios que precisam ser superados a fim de reposicionar o País frente às cadeias globais de valor. Desta forma, esta seção se debruça sobre a identificação das oportunidades e desafios da Indústria 4.0, levando em consideração também as características e particularidades nacionais.

3.1. Oportunidades

Um estudo realizado pela Acatech envolvendo 500 empresas brasileiras identificou que poucas delas visualizam o Brasil como um dos protagonistas em manufatura avançada no cenário mundial ou mesmo na América Latina. Por outro lado, quase 80% dos entrevistados entendem que a manufatura avançada constitui uma oportunidade para o desenvolvimento produtivo e da sociedade, conforme Gráfico 5 (BRASIL, 2017).

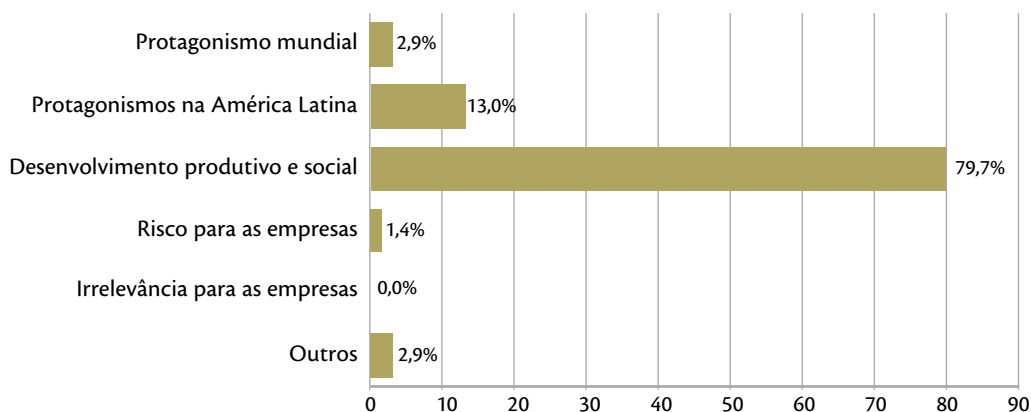


Gráfico 5 – Visão futura dos efeitos da manufatura avançada

Fonte: BRASIL (2017).



Este mesmo estudo indicou, além das vantagens que a manufatura avançada proporcionará no aumento da produtividade e na descentralização da produção, preocupações das empresas com temas de interesse social, como proteção ambiental, segurança alimentar, emprego e eficiência energética, como mostra o Gráfico 6:

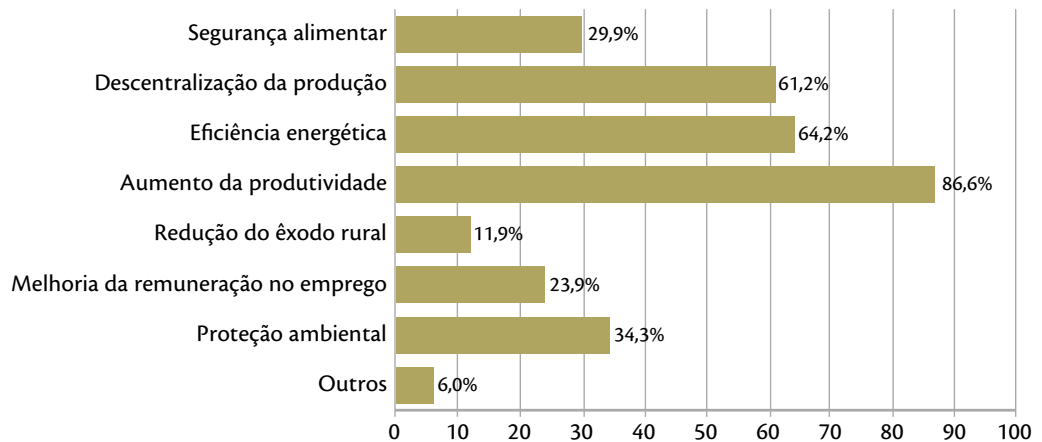


Gráfico 6 – Vantagens da manufatura avançada para o Brasil

Fonte: BRASIL (2017).

Por fim, o Gráfico 7 evidencia que o empresariado brasileiro associa o conceito de manufatura avançada principalmente a produtos inteligentes (72,5%), *networking* e digitalização (68,1%), novos modelos de negócios (63,8%), automação (52,2%), otimização de produtos (34,8%) e outros (8,7%).

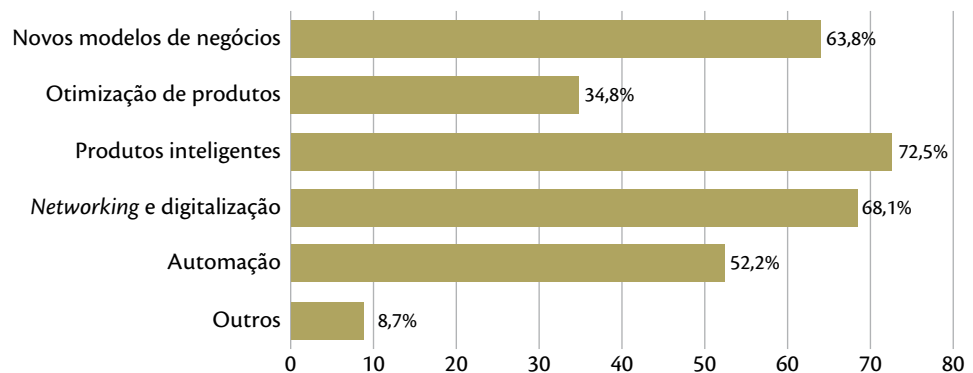


Gráfico 7 – Compreensão de manufatura avançada pela indústria brasileira

Fonte: BRASIL (2017).



Ademais, a partir de pesquisa realizada com mais de 700 líderes empresariais, a Deloitte Global e a Forbes Insights apontam que os executivos brasileiros estão preparando suas organizações e seus trabalhadores para o processo inevitável de digitalização. Comparado com a média global, o País apresenta maiores taxas de desenvolvimento de novos modelos de negócios (44%), preparação de força de trabalho para o futuro digital (98%) e uso de tecnologias para solucionar desafios organizacionais (22%), como mostra o Gráfico 8 (ROSSATO, 2018).

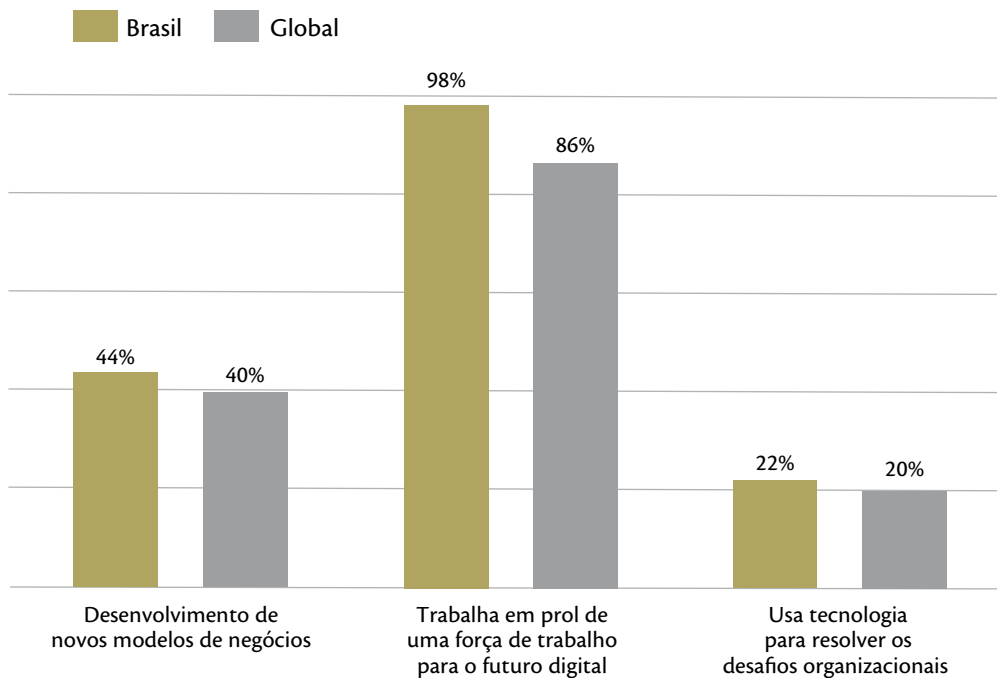


Gráfico 8 – Nível de preparação do Brasil para a Indústria 4.0

Fonte: Software.org (2018), com base em Deloitte Global e Forbes Insights.

Desta forma, diversos ganhos são esperados a partir da incorporação dessas tecnologias nas indústrias atuais. Como aponta o Gráfico 9, 37% dos respondentes brasileiros esperam que as tecnologias emergentes gerem receita adicional às empresas, 32% esperam redução de custos e 41% antecipam ganhos na eficiência.

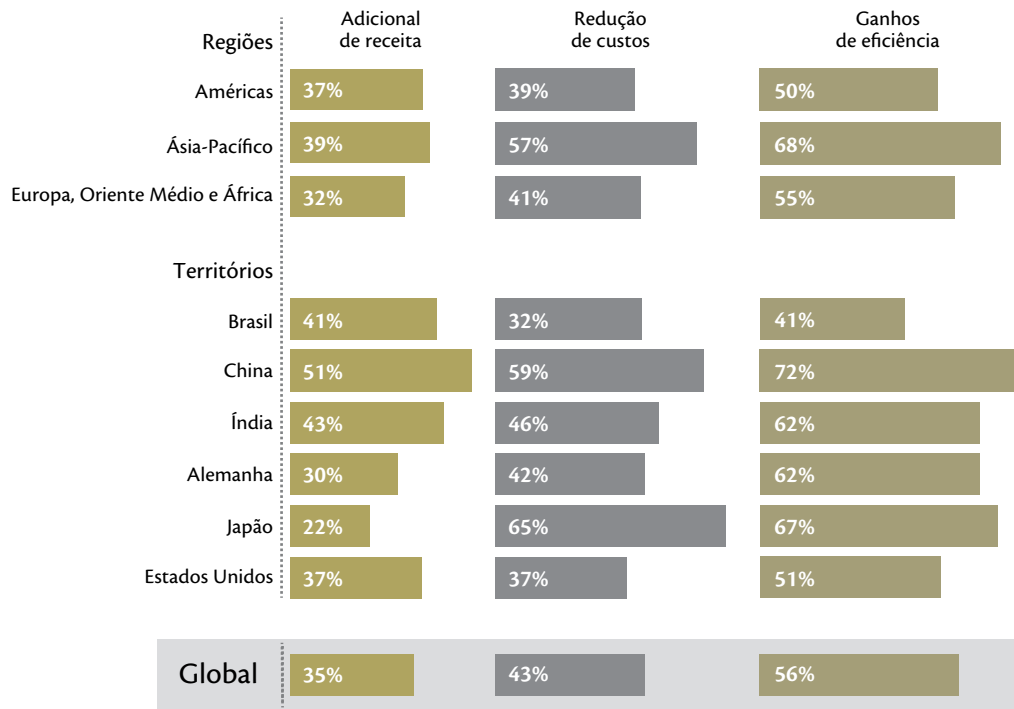


Gráfico 9 – Ganhos esperados pelas indústrias, por região e país (%)

Fonte: PricewaterhouseCoopers - PwC (2016).

Dentre as principais oportunidades econômicas provenientes da Indústria 4.0, está o aumento esperado das receitas. Entende-se que os custos de transação podem ser reduzidos, havendo um maior controle e confiabilidade sobre os processos de produção, o que acarreta um maior índice de produtividade e competitividade, maior segurança industrial, melhor qualidade do produto e maior envolvimento do cliente na produção. O aumento da utilização de capital é outro fator importante, particularmente para empresas que operam em países em desenvolvimento, onde as restrições de capital podem ser uma grande barreira para a atualização da tecnologia (UNIDO, 2019a).

Além disso, as novas tecnologias permitem o aprimoramento do uso de ativos fixos, reduzindo tempos de inatividade e aumentando o uso da capacidade. A flexibilidade também pode reduzir os investimentos em várias linhas de produção automatizadas e a própria necessidade de investimento em ferramentas e equipamentos, além de reduzir os custos de manutenção entre 10% e 40% até



2025 (MANYIKA *et al.*, 2015; UNIDO, 2019a). A manutenção preditiva, o autodiagnóstico imediato e a detecção de falhas são outras características positivas a serem consideradas, pois viabilizam a redução do tempo de inatividade da máquina e fornecem soluções de forma rápida e eficaz (UNIDO, 2019a).

Para além dos efeitos na economia, Bughin *et al.* (2019) apontam que o desenvolvimento e a adoção de tecnologias avançadas têm o potencial de não apenas aumentar a produtividade e o Produto Interno Bruto de um país, mas também de melhorar o bem-estar de maneira mais ampla. As novas tecnologias prometem trabalhos mais seguros, bens e serviços novos personalizados (OECD, 2017). Assim, espera-se que as novas tecnologias abarquem os seguintes benefícios sociais: melhorias na cognição humana, na saúde e nas capacidades físicas; aprimoramentos em criatividade e inovação; avanços nos sistemas de educação e treinamento; criação de uma sociedade do conhecimento; melhor segurança e proteção alimentar; maior segurança do trabalhador; aumento da eficiência do trabalho entre 10% e 25%; melhor acesso a alimentos, à energia sustentável e à assistência universal à saúde; e mais oportunidades para grupos populacionais desfavorecidos e vulneráveis, aqueles que sofrem discriminação estrutural, bem como para micro, pequenas e médias empresas, para participar das redes globais de produção e inovação como prestadores de serviços ou produtores de produtos de nicho (MANYIKA *et al.*, 2015; UNIDO, 2019a).

Já os benefícios ambientais das novas tecnologias incluem uma produção mais verde e sustentável; maior eficiência e eficácia de recursos; melhor acesso a eletricidade e água; redução nas emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes; e redução do consumo de energia entre 10% a 20%, além de um melhor gerenciamento de resíduos (MANYIKA *et al.*, 2015; OECD, 2017; UNIDO, 2019a). Enquanto a 1ª Revolução Industrial baseou-se no modelo de produção linear, pautado pelo descarte de recursos em aterros sanitários após o consumo, criando grandes quantidades de resíduos, a 4ª Revolução Industrial tem o potencial de eliminar os resíduos, suportando modelos de negócios eficazes com base na economia circular, que consomem recursos renováveis ao passo que mantêm materiais de estoques finitos em um ciclo infinito (UNIDO, 2019a).

Especificamente sobre o caso brasileiro, compreende-se que a descentralização dos controles dos processos produtivos, a interoperabilidade, a virtualização, a produção em tempo real e os sistemas modulares na linha de produção definem as principais premissas da 4ª Revolução Industrial (FIRJAN, 2019). Concomitantemente, a CNI (2017) aponta que a integração das tecnologias permite a conexão das diversas etapas da cadeia de valor, desde o desenvolvimento de novos produtos,



passando por projetos e produção, até o pós-venda. De forma consolidada, a Figura 10 apresenta a esquematização dos impactos esperados na produção industrial mediante a incorporação das novas tecnologias advindas da 4ª Revolução Industrial no Brasil.



Figura 10 – Impactos esperados da manufatura avançada na produção industrial brasileira
Fonte: CNI (2017).

Como mostra a Figura 10, os principais ganhos esperados dessas tecnologias no Brasil são a redução das vantagens comparativas; a ampliação da cooperação entre agentes econômicos; o aumento da competitividade e da produtividade nos sistemas produtivos; a melhor inserção nos mercados; e a ampliação da escala dos negócios, novas atividades e profissões, facilitando, assim, o acoplamento de diversos serviços aos bens produzidos (CNI, 2016; DAUDT, MIGUEZ, WILLCOX, 2018).



Entende-se também que o estabelecimento da integração entre fornecedores, empresas e clientes permite uma otimização logística, a qual possibilita maior integração horizontal da produção industrial. Já a manutenção preditiva de máquinas e equipamentos assegura precisão nos procedimentos, eficiência no uso de insumos e maior qualidade nos serviços executados, o que leva ao desenvolvimento de ambientes interativos autônomos. A flexibilização das linhas de produção viabiliza a customização em massa, a qual reduz custos e permite, assim, a diferenciação de produtos de acordo com as preferências e necessidades de diferentes consumidores (CNI, 2017; FURTADO *et al.*, 2019).

A adoção dessas tecnologias também apresenta reflexos na estrutura interna das empresas. No que se refere à gestão empresarial, uma das principais transformações é o caráter determinante da cooperação entre as diferentes áreas, principalmente entre a unidade de Tecnologia de Informação (TI) e a de produção. Neste novo formato, os *feedbacks* entre as etapas de desenvolvimento, produtivas e comerciais precisam ser ágeis. Já a cooperação com fornecedores exige estratégias eficazes, que pautem agilidade, confiança e segurança adequadas para a troca de informações. Além disso, novamente, pontua-se que as empresas precisarão desenvolver e/ou aperfeiçoar seus modelos de negócio, principalmente no relacionamento com os clientes, pois a prestação de serviços atrelados aos bens industriais será estratégica em alguns setores (CNI, 2017).

Assim, optou-se novamente por averiguar a frequência de menções sobre as oportunidades geradas por meio de novas tecnologias, agora em um total de 15 relatórios elaborados por instituições internacionais e nacionais, a fim de identificar a linha mestra que perpassa todos esses estudos no que se refere às principais oportunidades identificadas provenientes das novas tecnologias para a indústria brasileira. Conforme Gráfico 10, destacam-se o ganho de eficiência (11 menções), seguido da descentralização dos controles dos processos produtivos (seis menções), maior segurança industrial (seis menções), otimização organizacional (seis menções), eficiência no uso de insumos (seis menções), aumento da produtividade (seis menções), otimização logística (cinco menções), diminuição dos custos (cinco menções), preparação da força de trabalho (cinco menções) e novos modelos de negócios (cinco menções), os quais foram citados em pelo menos um terço (cinco) dos 15 textos selecionados para análise.

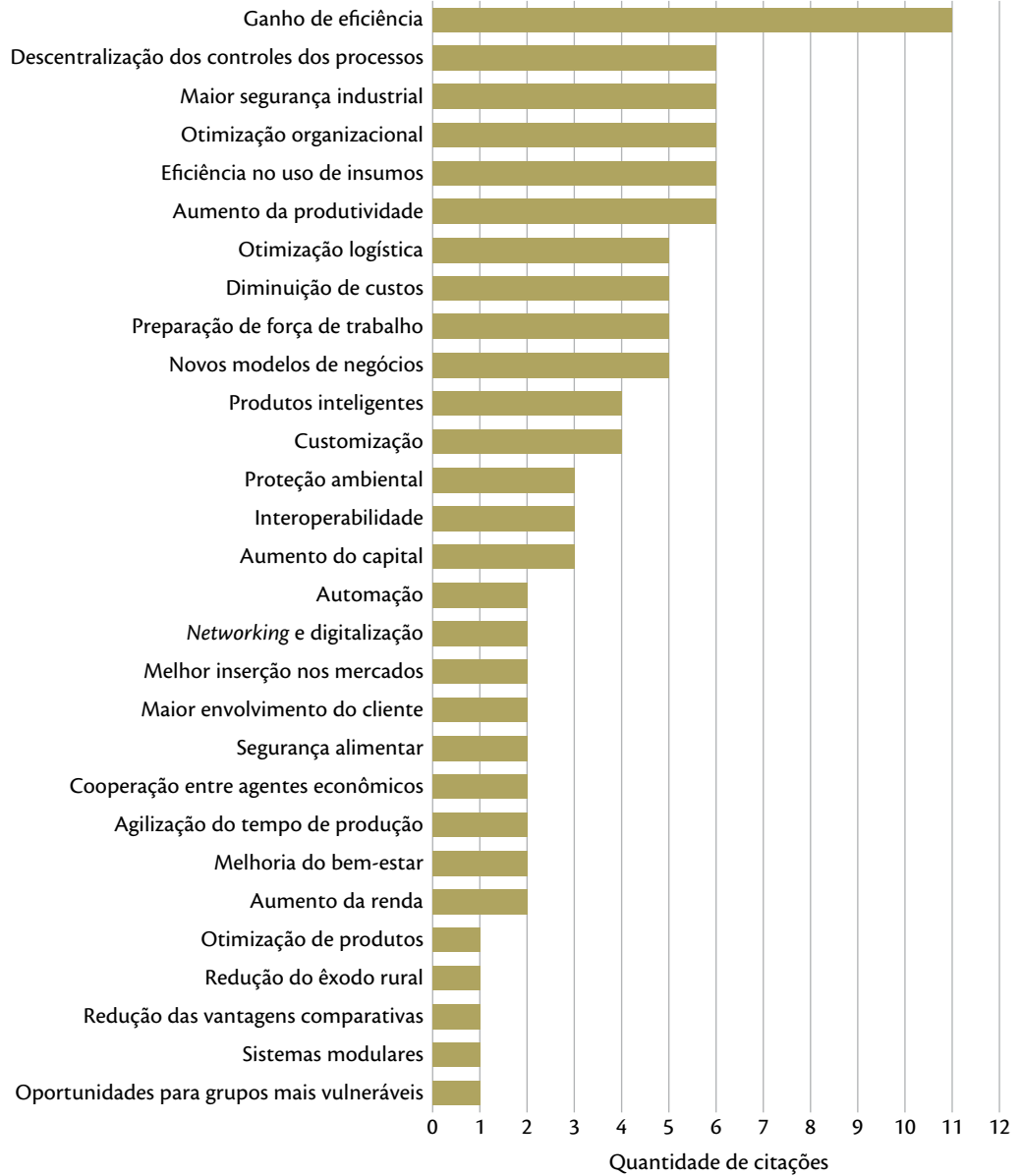


Gráfico 10 – Frequência de citação das principais oportunidades provenientes das novas tecnologias na literatura atual

Fonte: Elaboração própria, com base em relatórios do MCTI, ME, BNDES, IEDI, IEL, FIRJAN, CNI, OECD, UNIDO, Deloitte, McKinsey, PwC e Forbes.



Contudo, ressalta-se que, para alcançar tais benefícios, será essencial um crescimento liderado pela inovação e pelo gerenciamento cuidadoso da força de trabalho, bem com outras transições relacionadas à adoção e à difusão de tecnologia (BUGHIN *et al.*, 2019). Há, portanto, desafios a serem superados para que haja plena aplicação, mas a adoção de novas tecnologias parece ser uma tendência inevitável para a indústria nacional (DAUDT; MIGUEZ; WILLCOX, 2018). Sendo assim, faz-se necessário analisar os riscos e os desafios presentes na realidade brasileira que possam limitar ou retardar a implementação de tais tecnologias nos setores produtivos do País.

3.2. Riscos e desafios

Embora as novas tecnologias de aumento de produtividade e competitividade apresentem grande potencial para beneficiar a economia em geral, os ajustes associados podem ser significativos e gerar impactos profundos. A dificuldade poderia afetar muitos se o deslocamento da mão de obra ocorresse em um setor importante ou em muitos setores simultaneamente (OECD, 2017). Por outro lado, UNIDO (2019a) alerta que são necessárias também cautela e moderação de expectativas.

As principais preocupações vinculadas às novas tecnologias da 4ª Revolução Industrial estão associadas a mudanças no mercado de trabalho e impactos no emprego no setor manufatureiro. Inclusive, em nota técnica sobre capital humano, CGEE (2020) aponta que ainda há muito desconhecimento quanto à evolução de perfis e habilidades necessárias neste contexto de Indústria 4.0, o que acaba por dificultar a definição de habilidades necessárias, uma vez que tal conceito depende de diversos fatores, como a competição internacional e a globalização, mudanças tecnológicas, escolhas corporativas, mudanças demográficas, macroeconomia, escolha do consumidor, ambiente regulatório e o meio político e de relações de trabalho. Somente a partir deste complexo quadro, único para cada país, setor e momento histórico, é possível pensar um rol de habilidades necessárias.

Qualquer que seja o impacto das novas tecnologias sobre o emprego, percebe-se que a mudança tecnológica não é neutra em relação ao perfil de habilidades profissionais exigidas, favorecendo habilidades e técnicas complementares à nova tecnologia. Isso apresenta grandes desafios para os trabalhadores das economias em desenvolvimento, que precisam adaptar-se



a essas mudanças para aproveitar as novas oportunidades (UNIDO, 2019a). Nesse debate, na revisão das Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) do Curso de Graduação em Engenharia que entraram em vigor em 2019, CNI (2020) conclui que, para atender as necessidades do mundo em rápida transformação, é preciso preparar os estudantes para lidar com a diversidade de demandas, conceber e desenvolver tecnologias, empreender, resolver problemas complexos com soluções viáveis e navegar na era digital. Isso implica valorizar competências técnicas e socioemocionais ao longo da trajetória de formação, oferecendo uma educação que faça sentido para os alunos e que os motive a aprender e a evoluir constantemente (CNI, 2020). Assim, ressalta-se que os formuladores de políticas precisam monitorar e gerenciar ativamente os ajustes (OECD, 2017).

Por outro lado, as novas tecnologias podem também produzir um efeito rebote, uma vez que podem ser acompanhadas pelo aumento da demanda por recursos escassos (como certos metais) e aumento do consumo de energia (como no caso de sensores e dispositivos). Outra variável relevante é entender que o impacto das tecnologias diferirá entre e dentro dos setores, devido às diferenças setoriais no escopo de oportunidades oferecidas para as inovações na cadeia de valor (produtos, processos e funções) e na implementação de novos modelos de negócios (UNIDO, 2019a).

A segurança industrial também constitui outro desafio que deve ser considerado. A segurança colaborativa de robôs, o risco ocupacional da fabricação aditiva, os potenciais riscos psicológicos, as ameaças à segurança de dados e os riscos de propriedade intelectual resultantes de ciberespionagem e ciberterrorismo são reais e presentes. Desta forma, camadas de segurança e sistemas de codificação de computador seguros são necessários para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas industriais. As fábricas inteligentes exigem respostas de segurança inteligentes e o aproveitamento de novas tecnologias, como *blockchain*, com o potencial de melhorar a segurança do computador e gerenciar riscos (UNIDO, 2019a).

Ademais, ECLAC (2018) analisa as três regiões mundiais de manufatura avançada: Ásia, Europa e América do Norte – lideradas, respectivamente, por China, Alemanha e Estados Unidos, conforme a Figura 11. As mudanças na competitividade entre esses países estão criando três grupos dominantes que competirão pela supremacia da Indústria 4.0, em que a arbitragem de custos está começando a ser substituída pela arbitragem da automação digital decorrente da adoção da internet industrial.

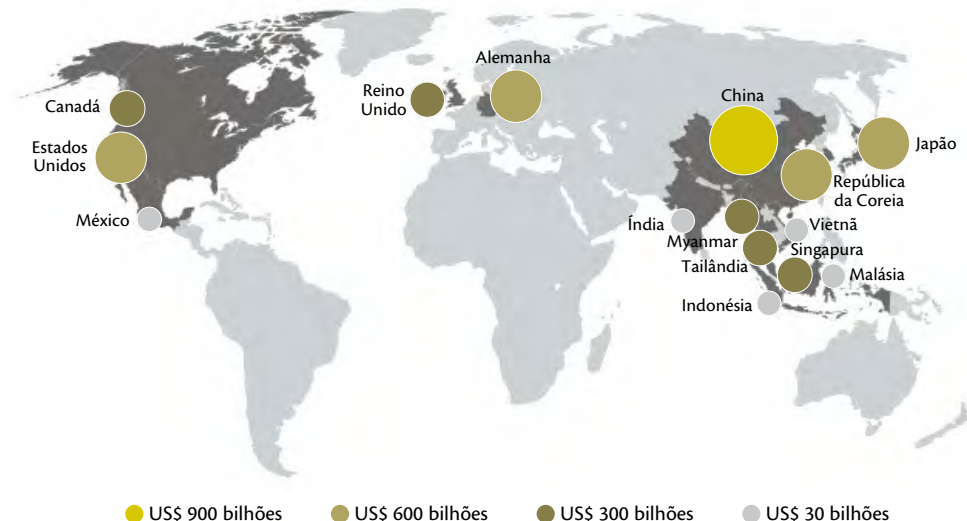


Figura 11 – Principais novos *clusters* industriais e países exportadores mundiais

Fonte: ECLAC (2018).

A partir da Figura 11, percebe-se que as empresas dos países em desenvolvimento podem ser prejudicadas pela difusão progressiva das tecnologias da Indústria 4.0 nas economias avançadas, uma vez que é esperado que países desenvolvidos usem tais tecnologias para impulsionar o retorno de parte de sua produção, que foi perdida com a redução de trabalho nas últimas décadas (efeitos *backshoring* ou *reshoring*), reiniciando a produção industrial. Assim, novas máquinas de capital barato e robôs podem induzir as empresas a devolver a produção a países de alta renda que estão localizados próximos a grandes mercados consumidores. Tal fenômeno pode contrabalançar a extensão das cadeias globais de valor das décadas anteriores e descentralizar a produção de países de alta renda, delegando as atividades que exigem habilidades baixas e salários baixos para países de menor renda (UNIDO, 2019a).

Essa difusão heterogênea e desigual de tecnologias é preocupante, visto que os países com altas capacidades em ciência, tecnologia e inovação (CT&I) serão os primeiros a colher os benefícios de avanços dessas tecnologias. Conseqüentemente, a lacuna tecnológica entre os países desenvolvidos e os países em desenvolvimento pode aumentar drasticamente (UNIDO, 2019a). Em seu Relatório de Desenvolvimento Industrial 2020, UNIDO (2019b) também identifica que a criação de tecnologias avançadas de produção digital da 4ª Revolução Industrial permanece extremamente concentrada em algumas economias, classificadas como *frontrunners*, ao passo que o Brasil está categorizado como país seguidor na produção, como mostra a Figura 12.

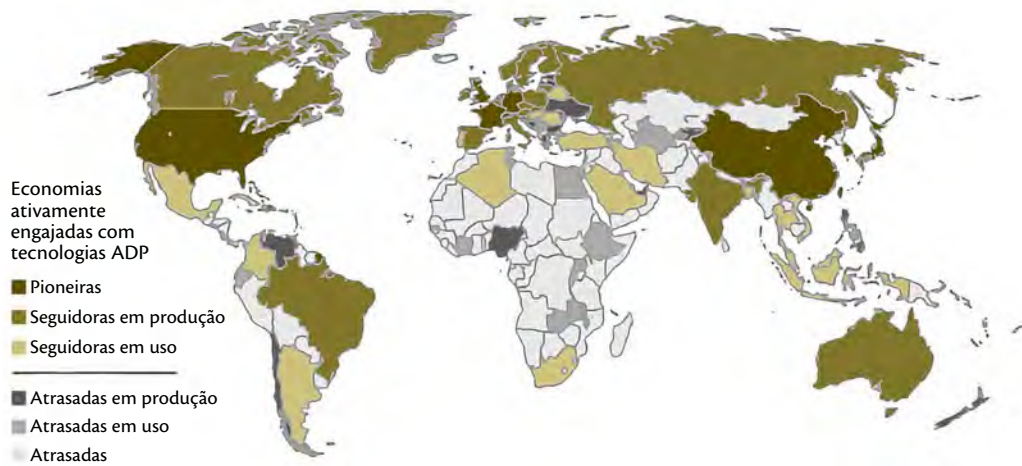


Figura 12 – Nível de disseminação da produção e uso de tecnologias digitais avançadas de produção no mundo

Fonte: UNIDO (2019b).

Especificamente sobre o Brasil, muitas das preocupações quanto à capacidade tecnológica do País para manufatura avançada também estão associadas a características econômicas, políticas e culturais não adequadamente exploradas ou tratadas, traduzidas em suas principais forças, fraquezas, oportunidades e ameaças ao esforço tecnológico (BRASIL, 2017). Ressalta-se que a indústria brasileira apresenta uma estrutura diversificada e diferenciada, com a coexistência de empresas com níveis variados de capacidade e desempenho competitivo nos mais diversos sistemas produtivos (IEL, 2018). Contudo, Furtado *et al.* (2019) avaliam que esta indústria encontra-se em busca de um novo modelo industrial, pois, apesar dos notáveis avanços de industrialização alcançados ao longo dos anos 1950 e 1970, reconhece-se que algumas limitações incorporadas em seu potencial dinamizador acarretaram desafios ao desenvolvimento da Indústria 4.0 no País atualmente.

A primeira delas refere-se ao tecido industrial constituído até o final dos anos 1970, o qual reproduziu modelos desenvolvidos nos países mais avançados, com predomínio dos mesmos setores (metalmecânico e químico, bases da indústria típica da 2ª Revolução Industrial). Entretanto, enquanto as empresas estatais e as empresas multinacionais ocuparam posições de destaque, as empresas nacionais concentravam-se em áreas tidas como secundárias, inclusive em vastas áreas da indústria (eletrônicos). Quando o mundo iniciou sua transição para um novo padrão industrial no final dos anos 1970, a abertura modesta da indústria nacional aos fluxos comerciais



gerou limitações importantes, uma vez que a projeção internacional das economias deu-se com maior intensidade. Já o terceiro elemento é a modéstia dos esforços tecnológicos, marcados pela reprodução de processos e de produtos já existentes. Tal processo de industrialização resultou em um emparelhamento do que era produzido e de seu formato de produção, porém sem os elementos de dinamismo tecnológico necessários (FURTADO *et al.*, 2019).

Uma vez que o Brasil não conseguiu construir um sistema industrial eletrônico, a ordenação das tecnologias direcionadas à manufatura avançada constitui-se em um desafio para seus atores, pois abarca diferentes áreas tecnológicas, objetos físicos ou virtuais integrados, aspectos de conectividade ou interoperabilidade dos objetos, sistemas habilitadores de dados e informações, integradores de diferentes sistemas e provedores de serviços inteligentes de internet. Desta forma, na visão dos especialistas registrada no documento *Perspectivas de Especialistas Brasileiros sobre Manufatura Avançada no Brasil*, as maiores preocupações da temática novas tecnologias são: a gestão da informação e conhecimento; a Internet das Coisas e Inteligência Artificial; a digitalização e sistemas ciberfísicos; e sensores e atuadores. Como mostra o Gráfico 11, embora não registrada nos desafios, a interoperabilidade também se destacou como um dos assuntos relevantes nas propostas dos especialistas (BRASIL, 2017).

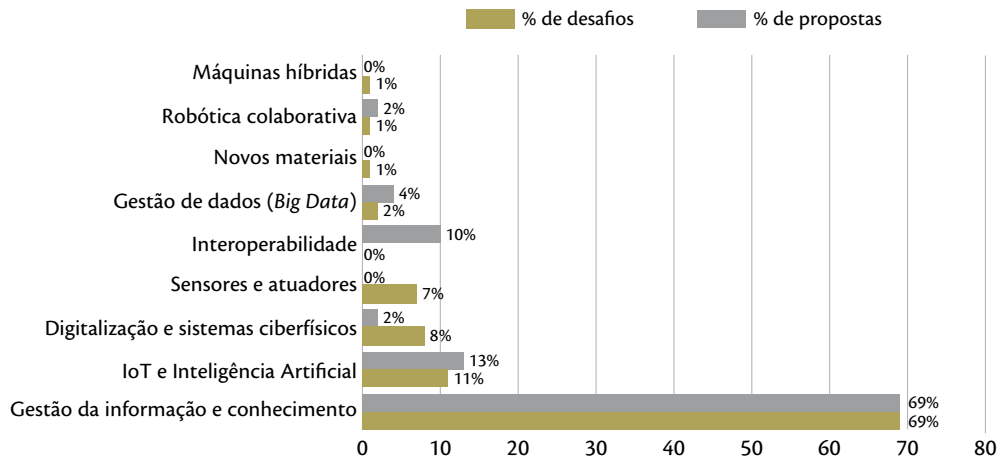


Gráfico 11 – Desafios e propostas no tema de tecnologias para manufatura avançada.

Fonte: Brasil (2017).

Assim, a fim de identificar novamente a linha mestra, compilou-se a frequência de menções em um total de 15 relatórios elaborados por instituições internacionais e nacionais, com o intuito de identificar os principais desafios relativos às novas tecnologias na indústria brasileira, conforme



mostra o Gráfico 12. Destacam-se a preocupação com o deslocamento da mão de obra (oito menções), a integração de *startups*, centros de P&D, treinamentos e serviços tecnológicos (seis menções), capacitação de pessoas e empresas (cinco menções) e fortalecimento de instrumentos de apoio (cinco menções), os quais foram citados em pelo menos um terço (cinco) dos 15 textos selecionados para análise.



Gráfico 12 – Frequência de citação dos principais desafios relativos às novas tecnologias na literatura atual

Fonte: Elaboração própria, com base nos relatórios do MCTI, IEDI, CNI, IEL, SEBRAE, FIRJAN e UNIDO.



Portanto, a partir da análise bibliográfica, percebe-se que o País apresenta desafios importantes a serem superados nos próximos anos para conseguir incorporar as inevitáveis transformações tecnológicas proveniente da Indústria 4.0. Contudo, no processo de compreensão holística acerca das potencialidades e limitações existentes, é necessário também incorporar a perspectiva setorial na análise, assunto da próxima seção.



4. NICHOS E SEGMENTOS

Mediante à rápida transformação proveniente da Indústria 4.0, a digitalização deixa de ser uma capacidade opcional e torna-se um fator importante e essencial para a indústria brasileira. Entretanto, entende-se que as novas tecnologias emergentes geram impactos diferentes sobre os mais diversos setores industriais. Sendo assim, é essencial identificar quais são os setores promissores da indústria brasileira que podem potencializar uma melhor inserção do País nas atuais cadeias globais de valor, frente às tendências tecnológicas. Adicionalmente, buscam-se identificar setores com destacado desempenho competitivo, haja vista o interesse na manutenção e na expansão de tal capacidade competitiva. Para tal, esse documento técnico analisa, em um primeiro momento, os setores exportadores de alto valor agregado sob a visão de intensidade tecnológica e, em um segundo momento, outros setores promissores.

4.1. Setores exportadores de alto valor agregado

Notadamente, a capacidade de absorção de novas tecnologias tem efeito sobre a competitividade das firmas e seus setores de atuação e, portanto, também tem consequências sobre o seu desempenho econômico. Ainda que não haja consenso sobre como definir competitividade ao nível setorial, há indícios de uma forte relação entre competitividade com produtividade e comércio internacional (CENTRE FOR EUROPEAN ECONOMIC RESEARCH - ZEM; AUSTRIAN INSTITUTE OF ECONOMIC RESEARCH - WIFO, 2017). Tendo em vista essa relação, nesta subseção analisa-se o desempenho competitivo setorial do Brasil medido por dois tipos de indicadores: o primeiro relacionado à intensidade tecnológica e o segundo relacionado ao comércio internacional.

No que se refere à intensidade tecnológica, Galindo-Rueda e Verger (2016) apresentam uma taxonomia que toma como base a relação entre gastos em P&D e o valor adicionado ao PIB. Tomando como base tal relação, Galindo-Rueda e Verger (2016) definem quatro faixas de classificação: alta, média-alta, média, média-baixa e baixa. A Tabela 1 apresenta a classificação sugerida por Galindo-Rueda e Verger (2016) utilizando dados dos países-membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), Singapura e Taiwan. Segundo tal classificação, nenhum setor da manufatura é classificado em baixa intensidade tecnológica.



Tabela 1 – Nova taxonomia de intensidade tecnológica da OCDE

INTENSIDADE EM P&D	MANUFATURA	P&D COMO % DO PIB	NÃO MANUFATURA	P&D COMO % DO PIB
Alta	303: Aeronaves e componentes relacionados	31,69	72: Pesquisa e desenvolvimento científico	30,39
	21: Farmacêutica	27,98	582: desenvolvimento de sistemas (Softwares)	28,94
	26: Informática, eletrônicos e produtos ópticos	24,05		
Média-alta	251: Armas e munições	18,87	62-63: Outros serviços de informação	5,92
	29: Veículos automotores e autopeças	15,36		
	325: Instrumentos médicos e odontológicos	9,29		
	28: Máquinas e Equipamentos (M&Es)	7,89		
	20: Químicos	6,52		
	27: Maquinas e equipamentos elétricos	6,22		
	30x: Veículos ferroviários, veículos militares de combate e outro (inclui ISIC 30.2, 30.4 e 30.9)	5,72		
Media	22: Plásticos e borracha	3,58		
	301: construção e embarcações	2,99		
	32x: Produtos diversos, exceto código 32.5	2,85		
	23: Outros minerais não metálicos	2,24		
	24: Metalurgia básica	2,07		
	33: Manutenção, reparação e instalação de M&Es	1,93		



INTENSIDADE EM P&D	MANUFATURA	P&D COMO % DO PIB	NÃO MANUFATURA	P&D COMO % DO PIB
Média Baixa	13: Têxteis	1,73	69-75x: Atividades profissionais, científicas e técnicas, exceto P&D (ISIC 69-75 menos 72)	1,76
	15: Calçados e artefatos de couros	1,65	61: Telecomunicações	1,45
	17: Papel e celulose	1,58	05-09: Indústria extrativa	0,8
	10-12: Alimentos, bebidas e fumo	1,44	581: Edição especial e edição integrada à impressão	0,57
	14: Vestuário e acessórios	1,4		
	25x: Produtos de metal, exceto código 25,2	1,19		
	19: Refino de petróleo e biocombustíveis	1,17		
	31: Móveis	1,17		
	16: Madeira e produtos da madeira	0,7		
	18: Impressão e reprodução de gravações	0,67		
Baixa			64-66: Financeiros, seguros e complementares	0,38
			35-39: Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	0,35
			59-60: TV, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem	0,32
			45-47: Comércio	0,28
			01-03: Agricultura, pecuária, florestal e pesca	0,27
			41-43: Construção	0,21
			77-82: Atividades administrativas e serviços complementares	0,18
			90-99: Artes, recreação, serviços domésticos, organizações associativas e outros serviços	0,11
			49-53 Transporte, armazenagem e correio	0,017
			55-56: Alojamento e alimentação	0,017
		68: Atividades Imobiliárias	0,08	

Fonte: Morceiro (2018, p. 198).



Seguindo a mesma métrica de classificação, P&D sobre valor adicionado ao PIB, Morceiro (2018) apresenta resultados utilizando dados de 2013 para o Brasil. Os resultados são apresentados em dois grupos de intensidade tecnológica (maior e menor intensidade) de forma que os de alta e média-alta estão no primeiro grupo e os demais, no segundo grupo. A primeira observação a ser feita é que, assim como esperado, os setores de maior proporção P&D sobre PIB estão alocados no grupo de maior intensidade tecnológica. A única exceção é o setor de **Metalurgia de metais não-ferros e a fundição**, que está classificado como de menor intensidade tecnológica apesar de ter proporção P&D sobre PIB superior à de outros setores alocados ao agrupamento de maior intensidade tecnológica.

Tabela 2 – Relação de P&D sobre PIB para setores de atividade do Sistema de Contas Nacionais – SCN

SETORES DE ATIVIDADE DO SISTEMA DE CONTAS NACIONAIS REFERÊNCIA 2010	P&D (EM 10 6)	P&D/ PESSOAL OCUPADO	P&D	PRODUÇÃO	PIB	P&D / PIB (EM %)
	R\$ DE 2017		EM % DO TOTAL			
Agropecuária	4.723	351	7,43	4,5	5,29	1,51
Agricultura	3.523	579	5,54	2,92	3,46	1,72
Pecuária	787	123	1,24	1,27	1,35	0,98
Produção florestal, pesca e aquicultura	413	438	0,65	0,32	0,48	1,46
INDÚSTRIA EXTRATIVA	2.718	8.813	4,28	3,32	4,16	1,11
Extração de minério de ferro	1.320	23.553	2,08	0,86	1,18	1,89
Extração de petróleo e gás	1.270	18.049	2	2,12	2,74	0,79
Extração de carvão mineral e minerais não-metálicos	105	715	0,17	0,21	0,2	0,91
Extração de minerais metálicos não-ferrosos	23	643	0,04	0,13	0,04	0,85
INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO	20.616	1.701	32,44	28,79	12,31	2,83
INDÚSTRIA DE MENOR INTENSIDADE TECNOLÓGICA	4.447	444	7	19	7,74	0,97
Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição	555	4.720	0,87	0,55	0,2	4,63



SETORES DE ATIVIDADE DO SISTEMA DE CONTAS NACIONAIS REFERÊNCIA 2010	P&D (EM 10 6)	P&D/ PESSOAL OCUPADO	P&D	PRODUÇÃO	PIB	P&D / PIB (EM %)
	R\$ DE 2017		EM % DO TOTAL			
Ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço	540	3.674	0,85	1,15	0,55	1,67
Borracha e de material plástico	483	953	0,76	1,07	0,57	1,44
Refino de petróleo e coquearias	437	16.696	0,69	3,51	-0,62	-1,19
Outros produtos alimentares	395	307	0,62	2,47	0,99	0,68
Abate e produtos de carne, de laticínios e da pesca	370	547	0,58	2,3	0,68	0,92
Celulose, papel e produtos de papel	275	1.336	0,43	0,73	0,38	1,22
Bebidas	201	1.117	0,32	0,69	0,42	0,81
Minerais não-metálicos	190	274	0,3	0,95	0,64	0,5
Produtos de metal, exceto M&Es	174	220	0,27	1,02	0,77	0,39
Calçados e de artefatos de couro	167	301	0,26	0,42	0,3	0,95
Móveis e de produtos de indústrias diversas	145	173	0,23	0,74	0,68	0,36
Vestuário e acessórios	132	73	0,21	0,67	0,55	0,41
Biocombustíveis	130	1.403	0,2	0,35	0,14	1,61
Produtos do fumo	95	4.958	0,15	0,17	0,1	1,53
Têxteis	64	96	0,1	0,51	0,3	0,36
Açúcar	47	201	0,07	0,58	0,19	0,42
Produtos da madeira	29	67	0,05	0,28	0,22	0,22
Manutenção, reparação e instalação de M&Es	16	28	0,02	0,61	0,49	0,05
Impressão e reprodução de gravações	5	25	0,01	0,23	0,21	0,04
INDÚSTRIA DE MAIOR INTENSIDADE TECNOLÓGICA	16.168	7.719	25,44	9,8	4,57	5,99
Automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças	3.434	16.411	5,4	2,14	0,78	7,43



SETORES DE ATIVIDADE DO SISTEMA DE CONTAS NACIONAIS REFERÊNCIA 2010	P&D (EM 10 6)	P&D/ PESSOAL OCUPADO	P&D	PRODUÇÃO	PIB	P&D / PIB (EM %)
	R\$ DE 2017		EM % DO TOTAL			
Equipamentos de informática; eletrônicos e ópticos	2.330	12.591	3,67	0,97	0,4	9,97
Químicos orgânicos, inorgânicos, resinas e elastômeros	1.894	19.519	2,98	1,37	0,35	9,28
Outros equipamentos de transporte, exceto veículos	1.655	12.358	2,6	0,47	0,26	10,74
Farmoquímicos e farmacêuticos	1.506	14.278	2,37	0,56	0,5	5,13
Peças e acessórios para veículos automotores	1.328	3.826	2,09	0,98	0,56	3,98
Máquinas e equipamentos mecânicos	1.286	2.573	2,02	1,44	0,85	2,55
Limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal	1.069	7.102	1,68	0,39	0,18	10,06
Defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos	935	9.278	1,47	0,69	0,29	5,53
Máquinas e equipamentos elétricos	733	2.756	1,15	0,78	0,4	3,08

Fonte: Adaptado de Morceiro (2018).

Verifica-se que, seguindo a classificação adaptada da OCDE, os setores de alta intensidade têm gastos em P&D mais elevados que os de menor intensidade, sugerindo uma concentração setorial. Destaca-se que o setor de Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição, apesar de classificado sob o título de menor intensidade tecnológica, apresenta taxa de P&D sobre PIB de 4,63%, superando setores classificados como de maior intensidade tecnológica.

Adicionalmente, Morceiro (2018) compara a relação P&D sobre o PIB entre Brasil e OCDE. De forma geral, o autor identifica que os setores de maior intensidade tecnológica tendem a ser os mesmos tanto no Brasil quanto na OCDE. Identifica-se ainda que há setores brasileiros que aplicam uma taxa mais elevada que aquela utilizada pela média dos países da OCDE, diga-se: Químicos, Metalurgia, Agropecuária, Indústria extrativa, Eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana.



Gráfico 13 – Intensidade Tecnológica: P&D sobre o PIB, em %, Brasil versus OCDE

Fonte: Morceiro (2018, p. 121).

No que se refere ao desempenho competitivo medido por indicadores de comércio internacional, considerou-se como indicador a evolução do valor agregado doméstico como percentual das exportações do setor, apresentado na Tabela 3, e o indicador de vantagem competitiva revelada, medido pelo percentual das exportações em um dado setor e país. A sustentação dos setores de maior valor agregado pode ser uma das estratégias de fortalecimento da economia em busca do desenvolvimento econômico, justificando uma visão atenta a respeito do impacto das tecnologias sobre tais setores. Para tal análise, utilizaram-se os dados da OCDE *Stat* sobre comércio internacional e balanço de pagamentos, cobrindo as exportações brasileiras para todo o mundo durante o período de 2005 a 2016, conforme apresentado na Tabela 3.



Ainda analisando a Tabela 3, verifica-se um resultado expressivo do setor de **Produtos Alimentícios, Bebidas e Produtos Do Fumo**, que é considerado de baixa intensidade tecnológica e cuja mediana da relação de valor agregado sobre exportação alcança o valor de 12,4%. O segundo setor a ser destacado é o de **Metalurgia**, classificado como de média intensidade tecnológica por Galindo-Rueda e Verger (2016) e com mediana igual a 6,32% no período. Ressalta-se ainda o desempenho de três segmentos classificados como de média ou média-alta intensidade tecnológica: **Veículos Automotores, Reboques e Carrocerias; Químicos E Produtos Farmacêuticos; e Máquinas e Equipamentos**, que apresentam mediana da relação valor agregado sobre exportação igual a 4,75%, 3,27% e 2,67%, respectivamente. Ressalta-se que esses três últimos setores são classificados como de média ou média-alta intensidade tecnológica por Galindo-Rueda e Verger (2016) (Tabela 2), assim como apresentam destacado desempenho na análise apresentada na Tabela 1.

Tabela 3 – Percentual do valor agregado doméstico sobre exportação do setor

DIVISÃO CNAE	INDÚSTRIA	INTENSIDADE TECNOLÓGICA	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	MEDIANA
10 A 33	Indústrias de Transformação	NA	55,1	53,5	51,6	48,3	45,5	42,9	39,7	39,7	39,2	38,3	39,7	42,9
20 e 21	Químicos e produtos farmacêuticos	Alta e média alta intensidade	3,95	4,29	4,29	3,92	4,3	3,27	3,09	3,16	3,01	2,92	2,94	3,27
26	Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos		2,25	2,1	1,59	1,29	1,26	0,74	0,47	0,43	0,4	0,37	0,4	0,74
27	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos		1,28	1,39	1,38	1,22	1,19	0,93	0,77	0,8	0,81	0,76	0,75	0,93
28	Máquinas e equipamentos		3,68	3,31	3,13	3,49	2,69	2,67	2,47	2,54	2,23	2,22	2,14	2,67
29	Veículos automotores, reboques e carrocerias		6,83	6,36	5,68	5,05	4,37	5,23	4,75	4,37	4,74	3,51	3,85	4,75
30	Outros equipamentos de transporte		2,23	1,99	2,24	2,15	1,97	1,51	1,26	1,5	1,64	1,6	1,83	1,83



DIVISÃO CNAE	INDÚSTRIA	INTENSIDADE TECNOLÓGICA	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	MEDIANA
			22	Produtos de borracha e de material plástico	Média intensidade	1,09	1,11	1,14	1,04	1,11	0,98	0,89	0,86	0,86
23	Produtos de minerais não-metálicos	1,06	1,09	1,03		0,77	0,75	0,73	0,59	0,59	0,65	0,69	0,79	0,75
24	Metalurgia	7,98	8,07	7,71		7,93	6,35	5,43	5,73	5,54	5,02	5,7	6,32	6,32
31 a 33	Móveis, produtos diversos, manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	0,76	0,86	0,85		0,69	0,7	0,7	0,6	0,69	0,66	0,66	0,65	0,69
10 a 12	Produtos alimentícios, bebidas e produtos do fumo.	12,9	12,2	12,3		12,1	13,5	13,2	12,5	12,5	12,4	11,9	12	12,4
13 a 15	Têxteis, vestuário e acessórios, couro e artigos para viagem e calçados.	Baixa intensidade	2,99	2,72	2,49	1,99	1,82	1,59	1,3	1,24	1,33	1,46	1,4	1,59
16	Produtos de madeira		2,05	1,8	1,62	1,05	0,83	0,68	0,54	0,54	0,58	0,67	0,77	0,77
17 a 18	Celulose, papel e produtos de papel Impressão e reprodução de gravações.		2,08	2,09	2,05	2,16	2,38	2,34	1,99	1,86	2,02	2,1	2,61	2,09
19	Coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis		3,24	3,56	3,38	2,67	1,47	2,08	2,1	2,31	2,14	2,11	1,58	2,14
25	Produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos		0,74	0,63	0,74	0,83	0,79	0,81	0,71	0,81	0,71	0,74	0,79	0,74

Fonte: Elaboração própria com dados de OECD Stat (2020b).



É válido destacar que, em sua grande maioria, os setores brasileiros sofreram uma redução no desempenho, medido pela relação valor agregado sobre exportações, ao longo do período de 2005 a 2016. O Gráfico 14 apresenta a exportação da indústria de transformação como percentual do total exportado, para países selecionados e com desagregação por nível de intensidade tecnológica. Um alto valor para tal indicador significa que o país tem apresentado bom desempenho competitivo comparado com o grupo de referência (ZEM; WIFO, 2017). No que se refere ao nível de Média Alta e Alta Intensidade, verifica-se que Alemanha, Estados Unidos e China têm apresentado um desempenho destacado, de forma que o percentual de exportação gira em torno de 60% das exportações nacionais. Por outro lado, Brasil, África do Sul e Índia têm apresentado percentual por volta de 25%, com uma tendência de queda para o Brasil e de crescimento para as outras nações. Adicionalmente, verifica-se uma certa manutenção nos percentuais de exportação da indústria de transformação do Brasil, tanto para baixa quanto para média intensidade tecnológica, porém com destacada diferença de nível e maior representatividade da indústria de transformação de baixa intensidade tecnológica.



Gráfico 14 – Exportações da Indústria de Transformação (% do Total Exportado pelo País)

Fonte: Elaboração própria com dados da OCDE Stat (2020c).



A Tabela 4 apresenta um resumo dos setores destacados segundo variáveis de análise selecionadas. Os setores de *Químicos* e *Metalurgia* são destaque em todas as variáveis, seguidos pelo setor de *Automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças* com destaque nos quesitos de Intensidade Tecnológica e Agregação de Valor às exportações. Ressalta-se aqui que os dados apresentados, em especial variáveis relacionadas aos gastos com P&D, não indicam a relevância da qualidade ou do conteúdo que está sendo pesquisado, de forma que, para a definição de políticas públicas, pode ser interessante caracterizar os setores quanto a esses critérios adicionais.

Tabela 4 – Setores destacados segundo variáveis de Fronteira Tecnológica, Intensidade Tecnológica (P&D sobre PIB) e Agregação de Valor (Valor agregado doméstico sobre as exportações).

INDÚSTRIA	FRONTEIRA TECNOLÓGICA (BRASIL E OCDE)	INTENSIDADE TECNOLÓGICA (P&D SOBRE PIB)	AGREGAÇÃO DE VALOR (VALOR ADICIONADO SOBRE EXPORTAÇÕES)
Químicos	X	X	X
Metalurgia	X	X	X
Outros equipamentos de transporte, exceto veículos.		X	
Limpeza, cosméticos/ perfumaria e higiene pessoal		X	
Equipamentos de informática		X	
Eletrônicos e ópticos		X	
Automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças		X	X
Produtos alimentícios, bebidas e produtos do fumo			X

Fonte: Elaboração própria.

4.2. Outros setores

Nos relatórios da Indústria 2027, IEL (2018) seleciona setores estratégicos e explora o potencial disruptivo de cada tecnologia habilitadora no horizonte temporal 2017-2027. Na Figura 13, as tecnologias em azul indicam impacto moderado em 2017 e em 2027; em amarelo, impacto potencialmente disruptivo até 2017; e, em vermelho, impacto disruptivo em 2017 e até 2027. Destacam-se o potencial da Inteligência Artificial e da Internet das Coisas no setor de **bens**



de capital e TIC; as redes de comunicação e a produção inteligente e conectada no setor de bens de capital; os materiais avançados nos setores de química, petróleo e gás, aeroespacial e defesa e bens de consumo; a nanotecnologia em petróleo e gás; a biotecnologia nos setores de agroindústrias, química e farmacêutica; e o armazenamento de energia no setor automotivo.

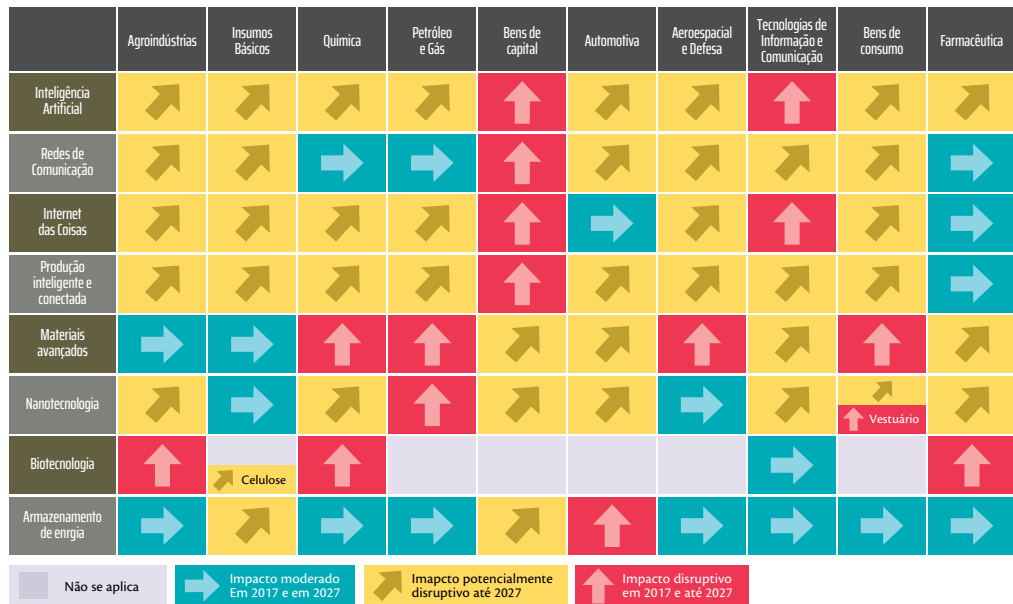


Figura 13 – Impactos de oito tecnologias para a competitividade de setores produtivos
Fonte: IEL (2018).

Ademais, utilizando o cruzamento das variáveis de produtividade, coeficiente de exportação e taxa de inovação, CNI (2017) identifica setores promissores para a implementação das novas tecnologias da Indústria 4.0, agrupando-os nos seguintes conjuntos, conforme mostrado no Gráfico 15:

- Grupo A (azul), composto por setores industriais que possuem maior potencial para serem os líderes na adoção das tecnologias, com maior proporção relativa de alta produtividade e alto coeficiente de exportação;
- Grupo B (verde), que também tem alto potencial para liderar o processo, porém que possui baixo coeficiente de exportação;



- Grupo C (amarelo), constituído por setores que, apesar da baixa taxa de produtividade, apresentam competitividade nas exportações e, assim, podem traçar estratégias de inserção gradual;
- Grupo D (vermelho), que são setores mais sujeitos a sofrerem com a nova onda tecnológica, devido à baixas produtividade e ao baixo índice de exportação.

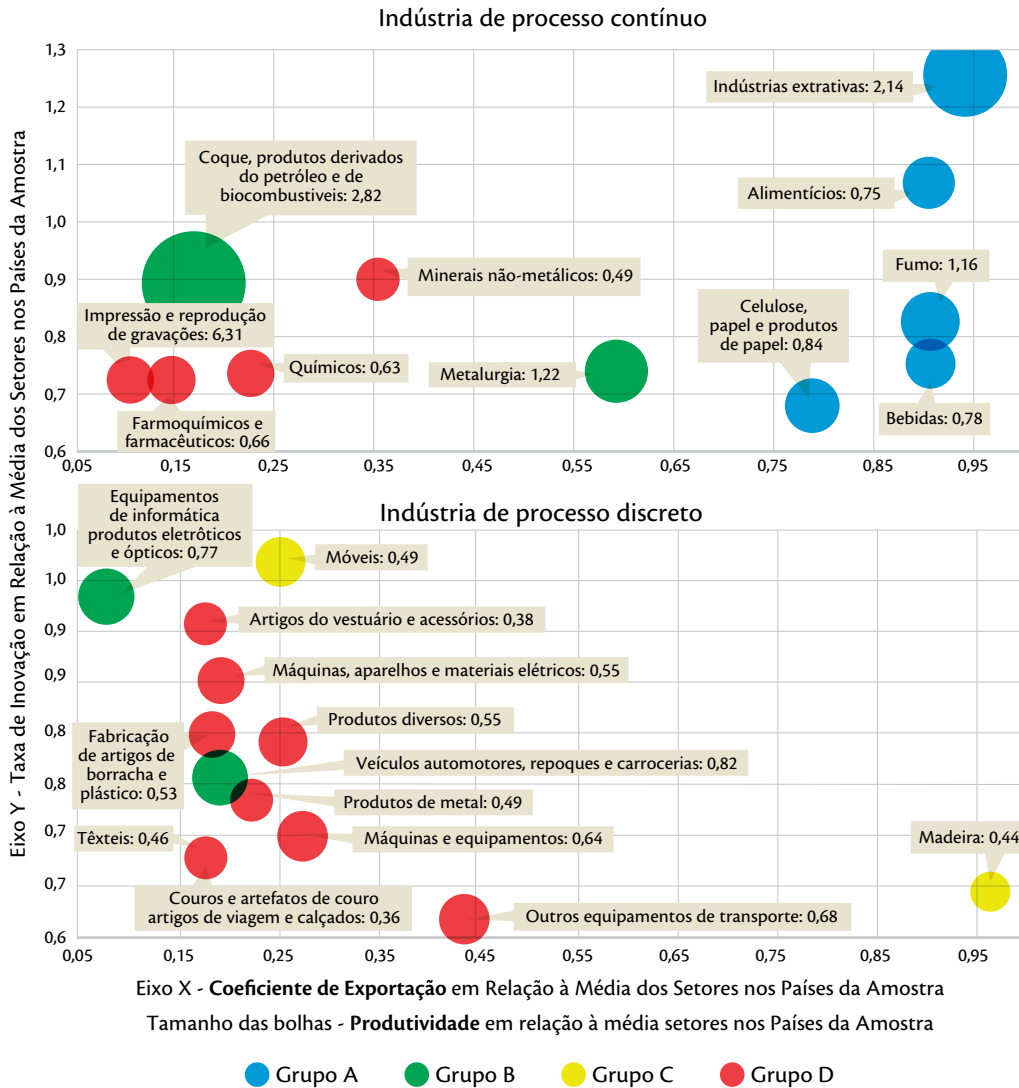


Gráfico 15 – Taxa de inovação, produtividade e taxa de exportação (2014)

Fonte: CNI (2017).



A partir do Gráfico 15, percebe-se que, dentre as indústrias de processo contínuo, os setores com maior potencial de liderar a adoção das tecnologias emergentes são: i) indústrias extrativas; ii) alimentícios; iii) bebidas; iv) celulose, papel e produtos de papel; e v) fumo, esta última sendo um dos novos setores identificados. As indústrias de **coque, produtos derivados de petróleo e biocombustíveis** e **metalurgia** também apresentam grande potencial de incorporação das novas tecnologias. Já as indústrias de **impressão e reprodução de gravações, farmoquímicos e farmacêuticos, químicos** e **minerais não metálicos** são aquelas que apresentam maior vulnerabilidade frente às novas mudanças industriais.

Por outro lado, na indústria de processo discreto, os setores com maior potencialidade de adesão às novas tecnologias são: i) equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos; e ii) veículos automotores, reboques e semirreboques. Já os setores de **móveis** e de **madeira** foram identificados como aqueles que podem estabelecer uma estratégia mais gradativa de adoção tecnológica. Por fim, podem enfrentar maiores riscos frente às novas tecnologias: i) têxteis; ii) couro, artefatos de couro e calçados; iii) máquinas e equipamentos; iv) outros equipamentos de transporte; v) produtos de metal; vi) fabricação de artigos de borracha e plástico; vii) produtos diversos; viii) máquinas e aparelhos elétricos; e ix) artigos de vestuário e acessórios.

O Gráfico 15 também evidencia que a maior parte da indústria brasileira encontra-se no Grupo D (vermelho). Isso significa que, no curto prazo, as empresas podem continuar suas produções com o seu conhecimento de mercado e sua tradição empresarial. No entanto, as novas tecnologias provenientes da Indústria 4.0 farão cada vez mais pressão para empurrá-las para um segmento de mercado mais tradicional, com maior concorrência entre as empresas, fenômeno que as pode expor a diversos riscos frente ao aumento da competitividade e da produtividade mundial (CNI, 2017).

Já a matriz tecnológica do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) também se propõe a identificar outros setores que possuem grande convergência com a adoção das novas tecnologias, como mostra a Figura 14.

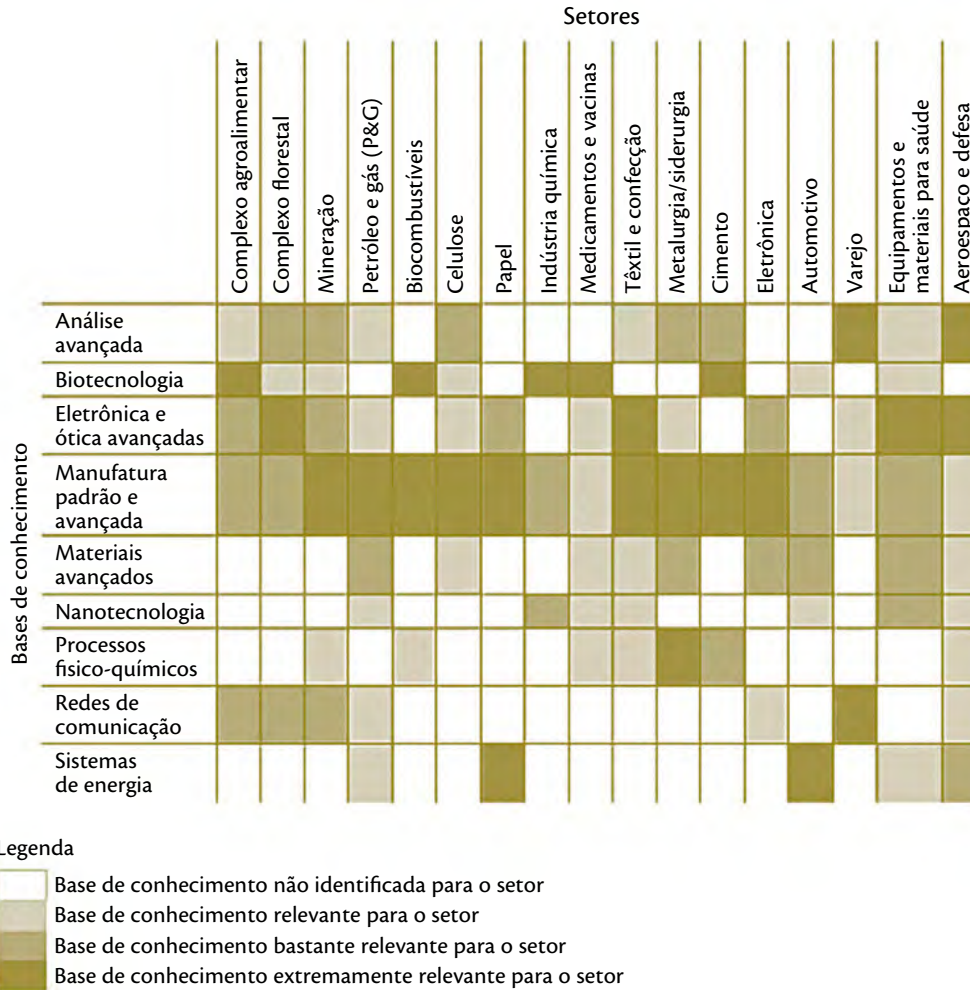


Figura 14 – Matriz tecnológica: setores promissores e novas tecnologias

Fonte: Daudt, Miguez e Willcox (2018).

Conforme a Figura 14, além dos setores indicados anteriormente, outros também apresentam alto potencial tecnológico, sendo eles: o complexo agroalimentar, que tem a biotecnologia como a sua principal base de conhecimento; o complexo florestal, com a eletrônica e ótica avançada; medicamentos e vacina, com a biotecnologia; cimento, com a biotecnologia e a manufatura-padrão e avançada; equipamentos e materiais para a saúde, com a eletrônica e ótica avançada; e aeroespacial e defesa, com *advanced analytics* e eletrônica e ótica avançada como suas bases de conhecimento de extrema relevância.



Desta forma, apesar de uma notável limitação de relatórios que abordem o assunto, compilou-se a frequência de menções em um total de quatro relatórios nacionais, a fim de identificar os principais setores brasileiros tidos como estratégicos para a Indústria 4.0 no País, conforme mostra o Gráfico 16. Aponta-se que os setores **automotivo** e de **petróleo e gás** foram os únicos citados em todos os quatro relatórios analisados, seguidos pelos setores farmacêutico; têxtil e confecção; química; alimentos e bebidas; agroindústria; e aeroespacial e defesa, com três menções cada.

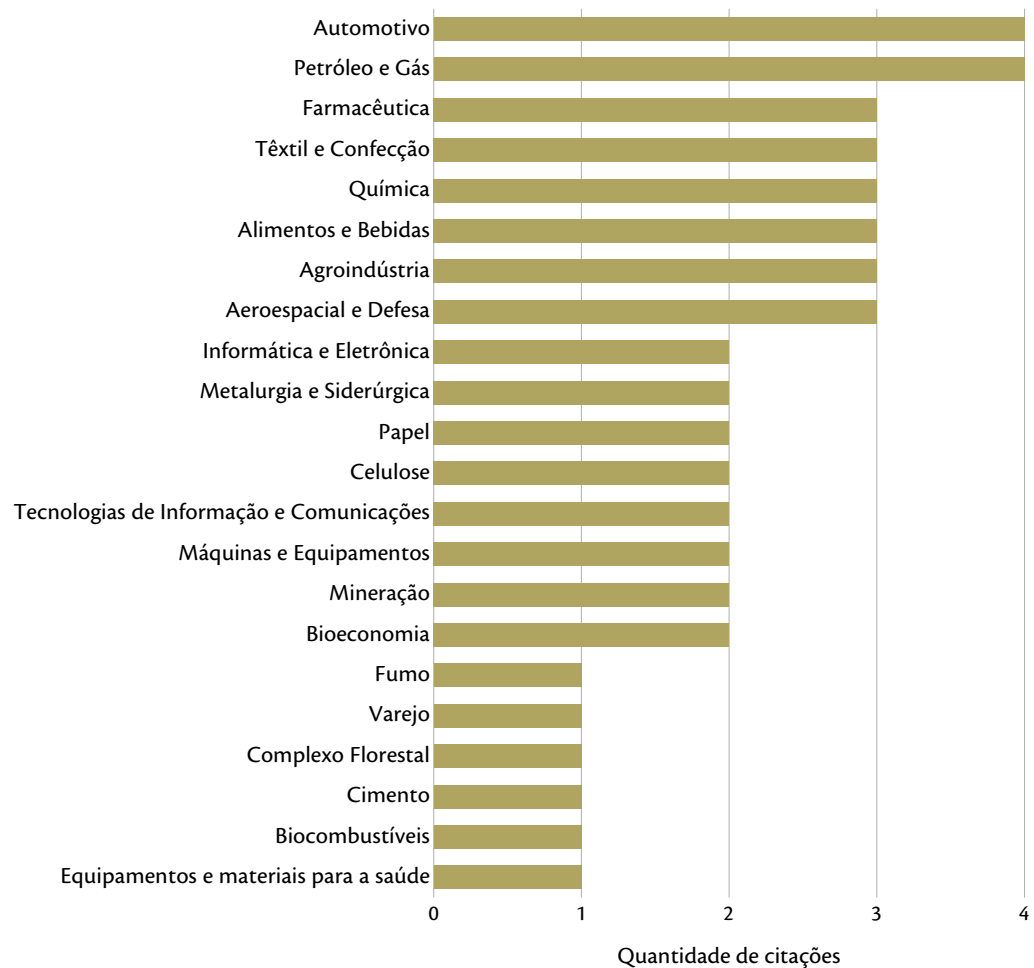


Gráfico 16 – Frequência de citação dos principais setores brasileiros para a Indústria 4.0 na literatura atual

Fonte: Elaboração própria, com base em relatórios do IEL, BNDES, IEDI e CNI.



Uma vez que a indústria brasileira está se familiarizando com os impactos da manufatura avançada nos setores e modelos de negócios, muitas empresas não conseguem identificar quais tecnologias digitais apresentam maior potencial para aumentar a sua competitividade. Desta forma, aborda-se a seguir o papel das novas tecnologias nos principais setores identificados, citados em pelo menos três relatórios.

4.2.1. Automotivo

A indústria automotiva mundial vivencia os primeiros passos de um processo de transformação com uma dimensão que jamais experimentou, sendo compelida a redesenhar seu negócio em todos os âmbitos. Contudo, o desafio no Brasil é ainda maior, visto que o setor enfrenta o dilema de equilibrar a administração dos efeitos das crises econômicas no curto e médio prazos e a necessidade de preparo e investimento no médio e longo prazos (KPMG, 2016). Desta forma, atualmente, as montadoras buscam alternativas para tirar proveito do fato de que, no futuro, o carro poderá não ser o único foco do negócio e crescerá a importância de que os dados do veículo, do consumidor e de geolocalização sejam trabalhados de maneira inovadora para gerar novos fluxos de receita para a indústria (KPMG, 2016). Ademais, é importante que a indústria tenha atenção ao processo de mudança de comportamento de consumo dos clientes, que irão demandar cada vez mais ciclos de inovação, à semelhança do que já ocorre na indústria de *smartphones*, por uma questão de conforto e de economia (KPMG, 2016).

Pesquisa da KPMG (2016) indica alguns aspectos que serão fundamentais para um posicionamento estratégico bem-sucedido do setor automotivo e de transporte nos próximos anos. Além de mudanças no modelo de relacionamento com os clientes, destacam-se a conectividade e *data analytics* como plataforma para novos modelos de negócio, ciclos de inovação mais curtos, customização como armas de fidelização e a sobreposição da “internet do comportamento” em relação à “Internet das Coisas”. No que se refere à economia compartilhada, as montadoras movimentam-se cada vez mais para estabelecer parcerias estratégicas com empresas de tecnologia, a fim de acoplar serviços de conectividade por meio de aplicativos. Esse tipo de associação também deve acelerar a economia compartilhada (KPMG, 2016).

Concomitantemente, as montadoras têm o desafio de transformar em informação valiosa o grande volume de dados gerado com o aumento da conectividade dos veículos. Em se tratando de consumo, a área mais comum do *data analytics* é aquela ligada à percepção de um cliente sobre a qualidade e a reputação de determinada marca. Esse tipo de verificação sempre foi muito



estudada em pesquisas diretas com o consumidor e já está sendo complementada com a análise de informações coletadas nas redes sociais. Esse tipo de pesquisa é um importante instrumento de monitoramento da satisfação de qualidade e de imagem, uma vez que as tradicionais pesquisas de produto não têm mais a mesma eficácia (KPMG, 2016). A rapidez nesse processo de conectividade e o imenso volume de dados a serem cada vez mais compartilhados entre os atores deste ecossistema, como telemetria, geolocalização etc., demandarão também o desenvolvimento de recursos de proteção contra ataques cibernéticos e invasões (KPMG, 2016).

Ademais, aspectos como globalização, mudanças climáticas, conectividade, crescimento populacional e ambiente regulatório, com compromissos de redução de emissões de gases de efeito estufa, demandam alterações nas operações das empresas de uma forma geral. A principal mudança do setor automotivo, nesse aspecto, tem sido a redução gradual do uso do carbono em seus produtos. Se, por um lado, há muitos desafios para as montadoras, por outro, há oportunidades no desenvolvimento de materiais alternativos e o uso de combustíveis renováveis (KPMG, 2016). Por fim, assim como na indústria automobilística global, especialistas acreditam que o Brasil deve passar por movimentos de consolidação e de investimentos em outros ativos para a sobrevivência no mercado (KPMG, 2016).

4.2.2. Petróleo e gás

Segundo o *World Economic Forum* - WEF (2017b), desde a década de 1980, as empresas de petróleo adotam tecnologias digitais com o objetivo de melhor compreender o recurso de um reservatório e o potencial de produção, melhorando a saúde e a segurança e aumentando a eficiência operacional marginal em campos de petróleo em todo o mundo. Contudo, apesar da forte onda de iniciativas digitais na década de 1990 e no início dos anos 2000, verifica-se que o setor não conseguiu aproveitar as oportunidades que derivam do uso de dados e tecnologia de forma significativa.

O cenário atual, no entanto, mostra que o setor incorpora cada vez mais novas tecnologias da Indústria 4.0 em suas atividades. Conforme mostra a Figura 15, as principais tecnologias que recebem investimento das empresas do setor são: dispositivos móveis (57%), Internet das Coisas (44%) e computação em nuvem (38%). Por outro lado, nos próximos três anos, prevê-se que *Big Data* será a principal tecnologia e que robótica, Inteligência Artificial e tecnologia utilizável sejam aquelas que apresentem mais crescimento (WEF, 2017b).

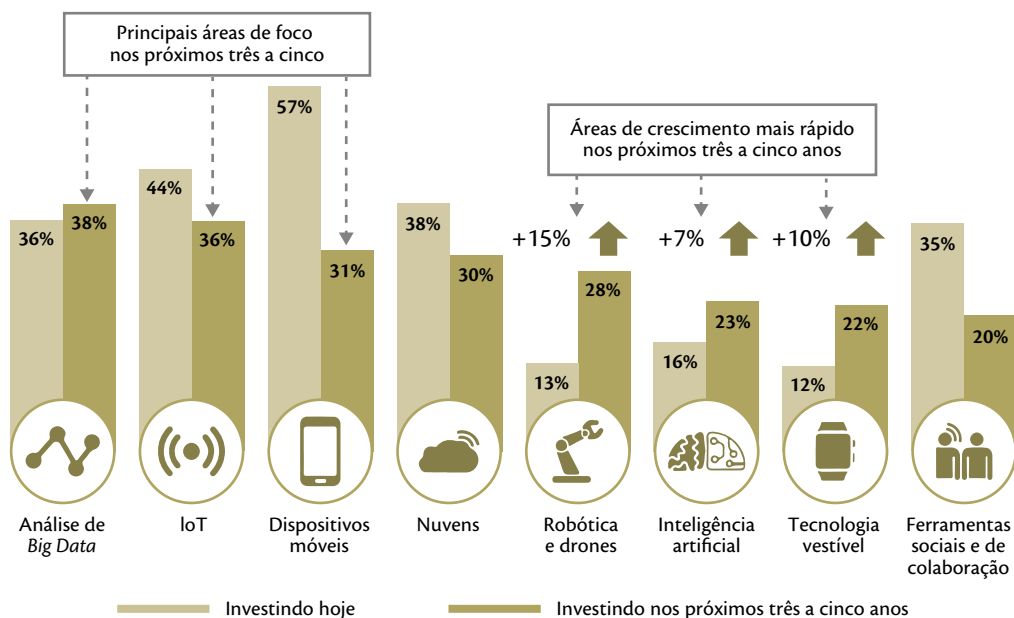


Figura 15 – Investimentos em tecnologias digitais no setor de petróleo e gás

Fonte: WEF (2017b).

No caso de *Big Data*, o baixo custo dos sensores, o crescimento da conectividade e o aumento do poder de computação impulsionam a multiplicação dos dados coletados por empresas petrolíferas. As plataformas de perfuração *offshore* modernas têm cerca de 80 mil sensores, que devem gerar aproximadamente 15 *petabytes* (ou 15 milhões de *gigabytes*) de dados durante a vida útil de um ativo. Desta forma, *Big Data* e *analytics* poderão ajudar as empresas a navegar nesta enorme quantidade de dados (WEF, 2017b).

Já o IIoT pode ajudar na otimização das empresas, fornecendo novos *insights* operacionais a partir da análise de diversos conjuntos de dados operacionais (como parâmetros de perfuração) e dados interdisciplinares (como modelos geológicos). Espera-se que as empresas intermediárias beneficiem-se significativamente da construção de infraestrutura habilitada de dados. Outros atores do ramo, como refinadores e varejistas de produtos de petróleo, podem ver potencial das tecnologias em novas oportunidades de receita, a partir da expansão da visibilidade da cadeia de abastecimento de hidrocarbonetos e do direcionamento de consumidores digitais com novas formas de marketing conectado (WEF, 2017b). Por fim, quanto aos dispositivos móveis, as empresas de petróleo têm investido bastante na integração total dessa tecnologia em suas operações diárias. Os principais benefícios dessa integração incluem melhorias no fluxo de trabalho; aumento da produtividade



do trabalhador e melhor registro de dados de campo; e monitoramento de dados em tempo real por meio de *software* especializado em *smartphones*, podendo ter um impacto positivo na saúde, na segurança e no meio ambiente (WEF, 2017b).

Por fim, identificam-se quatro temas centrais que devem desempenhar um papel crucial na transformação digital do setor no período de 2016 a 2025, como mostra a Figura 16. O primeiro é o gerenciamento do ciclo de vida de ativos digitais, o qual parte da combinação entre novas tecnologias digitais com *insights* baseados em dados para transformar as operações, aumentando a agilidade e a tomada de decisões estratégicas e resultando em novos modelos de negócios. O segundo é o ecossistema colaborativo circular, o qual entende que a aplicação de plataformas digitais integradas aumenta a colaboração entre os participantes do ecossistema, ajudando a acelerar a inovação, reduzir custos e fornecer transparência operacional. Já o terceiro consiste na noção de ir além do barril, em que modelos inovadores de engajamento do cliente oferecem flexibilidade e uma experiência personalizada, abrindo novas oportunidades de receita para operadoras de petróleo e gás e novos serviços para clientes. Por fim, o quarto é a energização de novas energias, que se baseia na concepção de que a digitalização de sistemas de energia promove novas fontes e transportadores de energia e oferece suporte a modelos inovadores de otimização e comercialização de energia (WEF, 2017b).

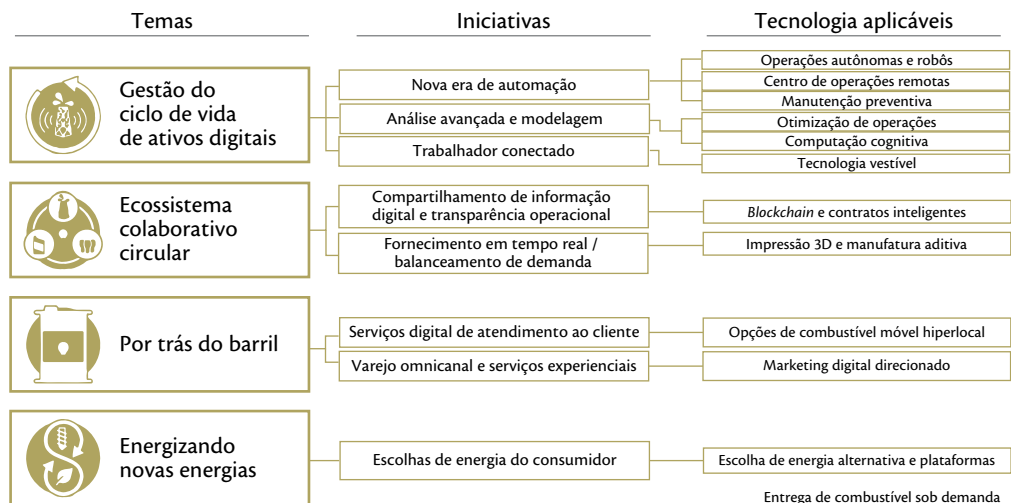


Figura 16 – Iniciativas digitais na indústria de petróleo e gás
Fonte: WEF (2017b).



4.2.3. Farmacêutico

Segundo WEF (2019), a integração de *Big Data*, análises, novas tecnologias e conectividade dentro e fora de encontros clínicos, juntamente com atividade e custos, dados de P&D de produtos farmacêuticos, bem como os comportamentos de médicos e pacientes ajudarão a prever melhor diagnósticos, inclusive determinantes sociais que muitas vezes são subestimadas.

No caso da nanotecnologia, mais de 1,7 mil produtos de consumo contendo nanopartículas foram introduzidos no mercado desde 2005, como as nanopartículas de dióxido de titânio em alimentos (principalmente goma de mascar e doces), em suplementos dietéticos e em produtos de cuidados pessoais (notavelmente protetores solares e cremes dentais). Entende-se, portanto, que essas tecnologias têm aplicações interessantes na medicina, conforme descrito na Figura 17.

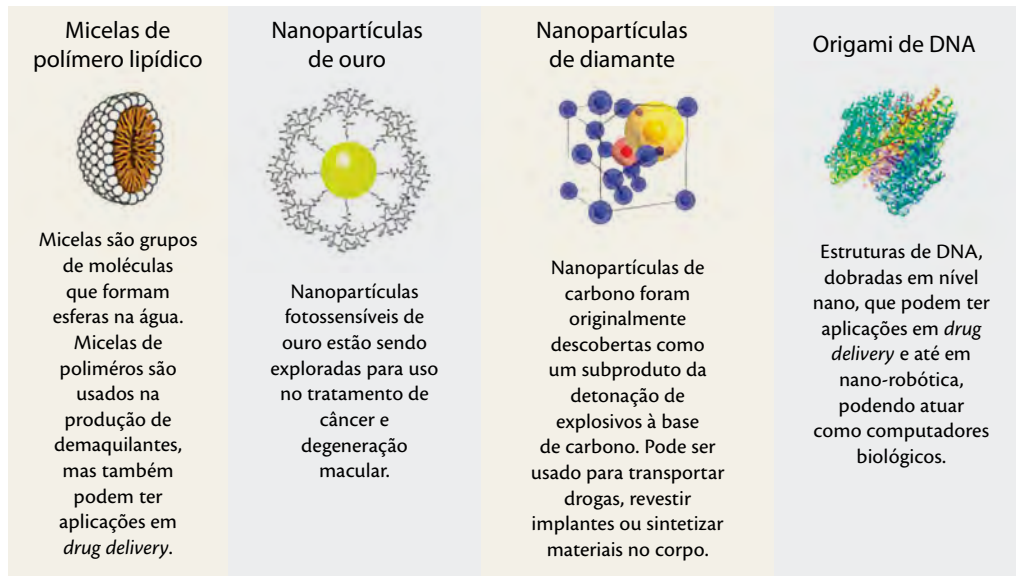


Figura 17 – Aplicações da nanotecnologia na medicina

Fonte: WEF (2019).

Ademais, a Internet Médica das Coisas (IoMT) consiste em um serviço de saúde de aplicação de tecnologias IoT e prevê uma rede de dispositivos conectados que detectam dados vitais em tempo real. O florescimento da IoMT foi possibilitado pelo desenvolvimento de sistemas baseados em sensores sem fio, nanotecnologia e miniaturização. Agora, é possível juntar os pontos entre dispositivos digitais pessoais, dispositivos médicos conectados, implantes e outros sensores para que estes colem, processem e analisem dados (WEF, 2019). Outra tecnologia considerada relevante



para o setor farmacêutico é a inteligência superficial, que atualmente está fazendo a diferença em diagnósticos de apoio, auxiliando na detecção de diagnósticos médicos incorretos (WEF, 2019).

No caso da *Big Data*, há uma grande variedade de fontes de dados na medicina. Com o advento da globalização, a revolução genética deu origem a genômicos cada vez maiores e conjuntos de dados farmacogenômicos. Desta forma, a detecção de dados gerados pelo usuário (de pesquisas na web ou redes sociais, por exemplo) ou dados pessoais (como celular, uso do telefone, ou transações de cartão de crédito) consiste em importante atividade, pois, quando trianguladas com fontes mais tradicionais, pode fornecer análises e previsões para profissionais de saúde e formuladores de políticas (WEF, 2019).

Paralelamente, devido à sua capacidade de criar registros digitais, o *blockchain* tem o potencial de revolucionar o manuseio e o compartilhamento de registros médicos. Sua capacidade de registrar eventos digitais permite o compartilhamento de dados entre as partes, bem como de informações complexas entre pacientes, fornecedores, pagadores e outras fontes, o que poderia potencialmente superar os desafios de interoperabilidade nos atuais sistemas de TI em saúde. Por meio de sua capacidade de rastrear objetos físicos, o *blockchain* pode também permitir a integridade e a gestão da cadeia de abastecimento de medicamentos ao manter registro de cada movimentação. Isso traria benefícios significativos ao setor, visto que a venda de produtos médicos falsificados está estimada entre US\$ 163 bilhões a US\$ 217 bilhões por ano, com até 30% de produtos farmacêuticos falsificados em alguns mercados (WEF, 2019).

Por fim, avanços recentes na impressão 3D estão abrindo maior leque de opções na área da saúde. Um caso notável é o da impressão 3D para produção farmacêutica. A tecnologia permite a adaptação da dosagem, tamanho, forma ou perfil de liberação da droga para a necessidade de usuários com desafios únicos (como crianças, por exemplo, que podem precisar de doses menores, entre outros). Design e impressão 3D podem também permitir a combinação de vários medicamentos em um comprimido; uma vantagem interessante para pacientes que tomam vários medicamentos diários (WEF, 2019).

4.2.4. Têxtil

Quanto ao setor têxtil e de confecção, Dugenske e Louchez (2014) apontam que a IoT poderá promover ferramentas que permitirão a otimização do consumo de água e energia na produção. O melhor rastreamento de produtos manufaturados poderá também influenciar na redução



dos níveis de *e-waste*, ao passo que os sistemas autônomos e integrados permitirão que toda a capacidade produtiva seja levada a cabo por meio de análises e otimizações de longo prazo com base em dados. Além disso, entende-se que fábricas que não poluem podem retornar às cidades, aproximando-se de nichos de consumidores.

Ressalta-se que, devido à agilidade do mercado da moda e do uso intenso das tecnologias de informação e de comunicação, os consumidores do setor já apresentam uma maior abertura aos conceitos de individualização e personalização. Nesse sentido, a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT) entende que as novas tecnologias de produção baseadas em sistemas ciberfísicos, automação, impressão 3D, novos materiais, biotecnologia, química verde e os projetos de minifábricas consolidarão tal tendência. Para tal, será necessário que as empresas do setor compreendam e explorem ainda mais as tendências de personalização e customização, principalmente no que tange ao novo consumidor, que não é apenas comprador, mas também fornecedor, designer e vendedor (BRUNO, 2016).

Além disso, as tecnologias desempenharão um papel central na redução da distância entre a produção de massa e a fabricação de produtos customizados de maior valor. Essa fábrica do futuro pode estar bem próxima do consumidor, seja em seu lar, no campo, no escritório ou em plataformas espaciais (FORESIGHT, 2013). Por outro lado, testes poderão ser feitos sem produzir desperdícios. Para além da sustentabilidade que acarreta, a fábrica digital proporciona ganhos econômicos para as empresas mediante a eliminação de estoques (BRUNO, 2016). A integração digital associada à robotização também dissemina novos processos de transformação – como a bioengenharia –, além da produção em escalas nanométricas com alta precisão, gerando a abertura de novos mercados e a produção de novos conceitos de produtos (DICKENS et al., 2013).

Desta forma, algumas das principais tecnologias e estratégias de produção que deverão orientar a transformação digital do setor são (BRUNO, 2016):

- **Minifábricas:** unidade de instalação fabril verticalizada, modular, flexível e de pequenas dimensões, que engloba o processamento de ordens, design, modelagem, tingimento dupla face, etiquetagem, corte ótico, manipulação robótica, costura, acabamento e expedição, permitindo produção personalizada com lucratividade duas a três vezes maior do que a da produção de massa na abordagem das cadeias de suprimento globais;



- **Estratégia *Purchase Activated Manufacturing***: incorpora a manufatura de confecção desde o design até a roupa pronta sob o mesmo teto, baseando-se na automação e na integração de todas as atividades e processos produtivos;
- **Tecnologia *Active Tunnel Infusion***: permite a troca de cor de cada peça de roupa, em tingimentos, desenhos e estampas, eliminando estoques de produtos acabados;
- **Sistemas automatizados de confecção**: permite o controle da costura industrial.
- **Manufatura social**: produção que reúne consumidor e sistema produtivo por meio da integração de tecnologias de projeto e produção, de comércio, serviços, de comunicação, informação e computação;
- **Vestimentas inteligentes**: gera o entrelaçamento de disciplinas, como design e tecnologia têxtil, química, física, ciência dos materiais e ciência e tecnologia da computação, bem como a elaboração de novos tipos de fibras e estruturas;
- **Impressão 3D**: permite a produção de roupas de malha prontas para o uso.

4.2.5. Químico

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia Química - ABEQ, (2017), a indústria química tem grande potencial para absorver as transformações causadas pelas novas tecnologias digitais. Segundo Klei *et al.* (2017), as três principais formas pelas quais as novas tecnologias digitais podem influenciar a indústria química são:

- O aumento do desempenho nos processos de manufatura, vendas e marketing, pesquisa e desenvolvimento;
- Registro e interpretação de dados: pode levar a maiores rendimentos, menores níveis de consumo de energia, manutenção mais efetiva, controle de processos;
- Desenvolvimento de novas especialidades químicas de valor agregado e de maneira mais ágil;
- Uso de *machine learning* e *advanced analytics*: usados para simulação de experimentos e capacidade preditiva no desenvolvimento de formulações;
- Migração dos comércios da indústria química para plataformas online;
- Fabricação de embalagens por meio da impressão 3D: o processo abre oportunidades de negócios para o mercado de termoplásticos de alta performance e aditivos para impressão



- Venda de catalisadores, químicos para tratamento de água e químicos para o setor agrícola: podem ter seus modelos de pagamento atrelados à performance real e não ao produto em si por meio do compartilhamento de dados em tempo real.

O conhecimento, monitoramento e escolha de matérias-primas a distância; o acompanhamento do transporte e armazenamento de materiais em tempo real; e a manutenção de equipamentos são também oportunidades de maiores margens, rastreabilidade e segurança para a indústria química (ABEQ, 2017).

A KPMG destaca também que *Big Data* e ferramentas analíticas adequadas permitem que muitas empresas do setor químico desenvolvam soluções integradas a partir de dados de fornecedores, chão de fábrica, vendas, marketing, P&D e de terceiros. Nesse sentido, entende-se que a nova estrutura da **Química 4.0** traz inovações em importantes vetores do setor químico, como automotivo, construção e indústria de embalagens. Entende-se, portanto, que as novas tecnologias influenciarão os portfólios produtivos, a estrutura de criação de valores e os novos modelos de negócio na indústria química, bem como os clientes e ofertantes. O avanço na indústria de biotecnologia levará, por exemplo, ao crescimento de aplicações mais eficientes de matérias-primas biológicas nos processos de produção química, fenômeno denominado de **biologização da química**. Ademais, o setor químico deverá assumir um papel-chave ao unir energia e setor industrial, fazendo uso de picos de oferta em energia renovável e de manufatura de matérias-primas sintéticas, para reduzir a participação do uso de materiais fósseis (ABIQUIM; DELOITTE, 2018).

De maneira semelhante, o futuro da indústria farmacêutica poderá ser impulsionado a partir de três desenvolvimentos importantes: novas terapias inovadoras, avanços tecnológicos e consumerização da saúde por meio da amplificação de acesso dos pacientes aos seus dados (KPMG, 2017). Ademais, nota-se que os efeitos advindos dessas mudanças e a velocidade de substituição dos métodos históricos de tratamento terão impactos diferentes em cada área terapêutica. Assim, identificam-se três áreas emergentes em resposta ao ambiente disruptivo: *farma tech*, genética e imunoterapia. A primeira corresponde à crescente importância do uso de *softwares* na área da saúde, com o desenvolvimento de *joint ventures* que combinam dispositivos, *software* e medicamentos. A segunda baseia-se na forte tendência de edição e manipulação de genes na prevenção e cura, podendo revolucionar o tratamento de diferentes doenças, como distúrbios neurológicos ou câncer. Por fim, a última trata do aumento do uso de medicamentos imunoterapêuticos para o tratamento de câncer e de outras condições crônicas, como diabetes, doenças cardiovasculares, síndrome de Parkinson e esclerose múltipla (KPMG, 2017).



4.2.6. Alimentos e bebidas

O setor de alimentos e bebidas beneficia-se das novas tecnologias da Indústria 4.0, uma vez que elas permitem a tomada de decisões de forma inteligente e remota, usando a nuvem para acessar, armazenar e analisar dados, os quais podem impulsionar a segurança e qualidade dos alimentos, assim como a melhoria da produtividade. As máquinas inteligentes que se comunicam entre si podem, por exemplo, garantir a rastreabilidade e a transparência em toda a cadeia de valor da fabricação de alimentos. Isso, por sua vez, reforça a segurança alimentar e ajuda as empresas a atenderem as necessidades regulatórias de forma mais eficiente. Da mesma forma, as máquinas que podem autodiagnosticar um problema são capazes de reduzir o tempo de inatividade, aumentando a capacidade de produção e ajudando a atender às expectativas do consumidor. Já os veículos autônomos conseguem reduzir os custos de mão de obra e acelerar as entregas, tornando o processo de fabricação mais eficiente (TETRA PAK, s.d.).

Sensores usados durante a produção de alimentos não apenas monitoram os produtos em toda a cadeia de abastecimento, mas também fazem parte de um dispositivo, como um contêiner inteligente, que pode manter dados como temperatura constante. Tais contêineres podem se autodiagnosticar e corrigir, por exemplo, a temperatura, de modo a obedecer aos limites estabelecidos pelas diretrizes de saúde e segurança. Análise de nuvem, monitoramento em tempo real e a capacidade de recriar a fábrica virtualmente são apenas algumas das técnicas que agora ajudam os gerentes de fábrica no setor de alimentos a reduzir o tempo de inatividade não planejado, melhorar a segurança e mitigar emergências alimentares. Por fim, a enorme quantidade de dados produzidos (*Big Data*) pela fábrica conectada pode ser usada para entender as irregularidades de operação entre as máquinas (ABB, s.d.).

A pressão constante sobre os custos na indústria de alimentos já indica que o setor tem uma longa história de inovação, tornando-se mais suscetível à adoção dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0. A necessidade de rastreabilidade ao longo da cadeia de produção também já garantiu que as máquinas estejam interconectadas e arquivando os dados (MITSUBISHI ELETRIC, 2015). Desta forma, alguns dos impactos aguardados pelo setor são: maior vigilância sobre a segurança alimentar, ao garantir a rastreabilidade; maior produtividade, por meio da identificação dos gargalos da empresa; maior garantia de qualidade, com o uso de sistemas de automação; melhor gerenciamento das cadeias de suprimentos globais complexas, por meio de TI e robótica; e melhor uso de dados para responder rapidamente às mudanças nas necessidades do consumidor (TETRA PAK, s.d.). A partir das tecnologias emergentes, preveem-se também: maior flexibilidade de produção, rápida adaptação às mudanças nas especificações do produto,



monitoramento e otimização do uso de energia, melhor desempenho da máquina, manutenção otimizada, custos reduzidos e criação de novos fluxos de receita na forma de serviços de valor agregado (MITSUBISHI ELETRIC, 2015).

Por fim, a análise sobre as oportunidades e desafios brasileiros frente à adoção das novas tecnologias da 4ª Revolução Industrial, assim como os resultados obtidos a partir do recorte setorial, permitiram evidenciar que a realidade das micro e pequenas empresas é ainda mais desafiadora e que suas particularidades devem ser tratadas separadamente. Sendo assim, a próxima seção dedica-se a explorar essas nuances.

4.2.7. Agroindústria

A tendência da Indústria 4.0 é vista como uma força transformadora que irá impactar profundamente a indústria agrícola. As novas tecnologias implicam em uma transformação das infraestruturas de produção: fazendas conectadas, novos equipamentos de produção, tratores e máquinas conectadas. Essa transformação pode permitir um aumento de produtividade, qualidade e sustentabilidade, ao passo que também pode gerar modificações na cadeia de valor e modelos de negócios com mais ênfase na coleta de conhecimento, análise e troca (EUROPEAN COMMISSION - EC, 2017a).

Sobre IoT, uma primeira faixa de aplicação seria coletar e publicar informações sobre os processos de produção nas fazendas. Assim, por meio dela e das tecnologias agrícolas de precisão, é possível coletar grandes quantidades de dados, ampliando a medição sobre a produção no que se refere à qualidade solo, níveis de irrigação, clima, presença de insetos e pragas, entre outros. Além disso, o uso de sensores pode direcionar o uso de drones ou imagens de satélite para coletar medidas (EC, 2017a). Outras possibilidades de uso seriam para a manutenção preditiva e melhoria nas práticas de produção, colheitas e ferramentas. Esta abordagem é muito promissora, pois poderia permitir aumentos importantes na produtividade, com otimização no uso de fertilizantes, herbicidas e combustível. De acordo com as estimativas iniciais, poderia permitir 20% de aumento na renda enquanto reduziria o consumo de herbicida e combustível entre 10% para 20% (EC, 2017a). A Figura 18 mostra como a centralidade dos dados prometem melhor integração dos processos produtivos em áreas agrícolas.

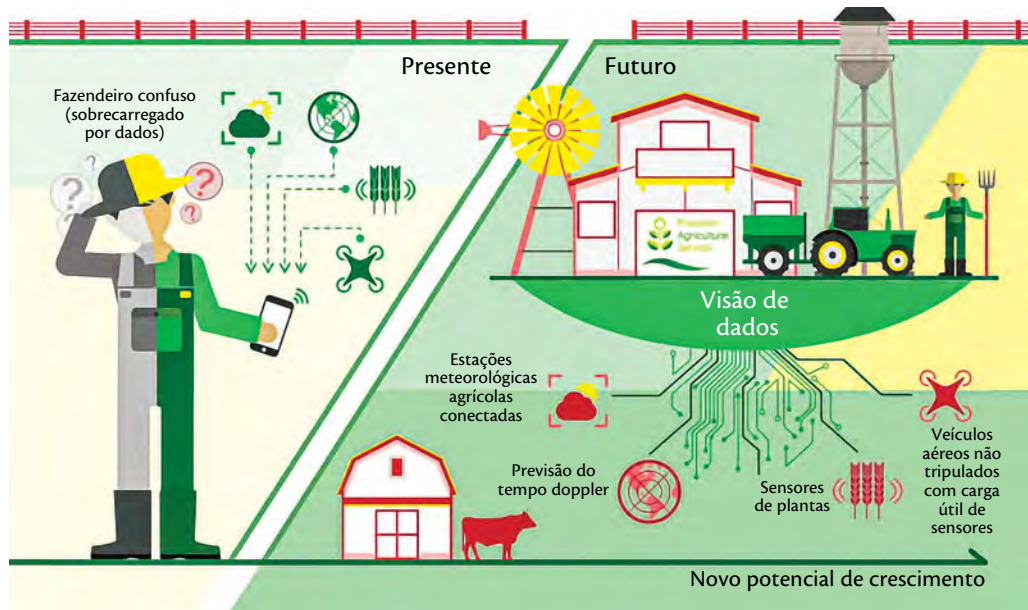


Figura 18 – Centralidade do *data insight* no futuro das soluções agrícolas

Fonte: European Commission (2017a).

Além disso, segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), o uso de aplicativos móveis que fornecem informações sobre preços aos agricultores pode reduzir distorções de mercado e ajudar os agricultores a planejarem processos de produção. Já robôs agrícolas (ou *agrobots*) são vistos como uma tendência-chave que influenciará profundamente a agricultura no futuro, pois tem a capacidade de ajudar os agricultores a medir, mapear e otimizar o uso de água para irrigação, além de serem considerados potenciais substitutos dos tradicionais tratores pesados, já que permitem uma redução gradual de compactação, reaeração do solo e trazem benefícios para o solo (TRENDONOV; VARAS; ZENG, 2019).

Quanto à Inteligência Artificial, nos últimos anos, o seu crescimento fortaleceu os negócios baseados em agrobacia, promovendo maior eficiência. Empresas que usam Inteligência Artificial ajudam os agricultores a escanear seus campos e monitorarem todas as etapas do ciclo de produção. A crescente necessidade do uso de satélite ou registro UAV para obter dados e entender os processos na fazenda faz com que a Inteligência Artificial torne-se uma importante solução tecnológica para melhorar o uso de recursos, apoiar a tomada de decisão preventiva e manter sistemas de monitoramento funcionando o dia inteiro (TRENDONOV; VARAS; ZENG, 2019). Por fim, a agroindústria também pode beneficiar-se de tecnologias como *blockchain*, visto que



pode detectar alimentos de má qualidade em cadeias alimentares e fornecer aos consumidores informações sobre a origem de seus alimentos, gerando uma vantagem competitiva para quem a utiliza (TRENDON; VARAS; ZENG, 2019).

4.2.8. Aeroespacial e defesa





Um último segmento que merece destaque é o aeroespacia e defesa, considerado tradicionalmente como um grande desenvolvedor de novas tecnologias. O setor em si tem apontamentos em praticamente todas as bases de conhecimento, com destaque para as tecnologias de *advanced analytics* – ligadas à defesa cibernética e ao uso de Inteligência Artificial e *Big Data*, para a identificação de ameaças – e também de manufatura-padrão e avançada relacionada ao desenvolvimento e fabricação de aeronaves (DAUDT; MIGUEZ; WILLCOX, 2018).

Segundo a *Aerospace Industries Association - AIA* (2019), espera-se que os avanços tecnológicos afetem a indústria de A&D por meio da promoção de melhorias na automação e das tecnologias de digitalização, novos materiais, fontes alternativas de energia e armazenamento, proliferação de fontes de dados e aumento da capacidade de transmissão de dados, com ciclos de desenvolvimento cada vez mais rápidos. Por sua vez, a Inteligência Artificial (IA) pode ser usada para permitir serviços de transporte e entrega personalizados. Ademais, o desenvolvimento de novos designs de produtos e a incorporação de materiais avançados podem oferecer transportes mais rápidos em menor custo. A automação também pode resultar na economia de custos adicionais, enquanto aprimora o desempenho de segurança. Talvez mais visivelmente, a Inteligência Artificial, o processamento de alta capacidade e a computação em nuvem difusa auxiliarão no gerenciamento de tráfego não tripulado (UTM) de passageiros e veículos, podendo ser movidos por fontes alternativas de energia.

Entretanto, ressalta-se que a segurança cibernética consiste em uma das principais preocupações para A&D, particularmente dadas às crescentes necessidades dos clientes e à maior complexidade das demandas de segurança nacional. Essas tendências tecnológicas, sociais e de consumo em evolução costumam apoiar-se mutuamente. Por exemplo: a conectividade universal definirá o terreno para a expansão da computação em nuvem, processamento de alta capacidade e monitoramento e observação universais - todos os quais também contribuem para uma integração rápida, confiável e precisa de dados não estruturados. Essa rede apoiar-se-á em um grande aumento no número de dispositivos conectados, que, por sua vez, levarão à expansão e ao fortalecimento dessa rede, conforme mostra a Tabela 5 (AIA, 2019).



Tabela 5 – Combinação de soluções tecnológicas e suas implicações no setor aeroespacial e de defesa

<p>Tecnologia e inovação impactando setor A&D (aeroespacial e de defesa)</p> 	<p>Automação e digitalização</p> <p>Crescimento da automação e IA Aumento do poder de processamento Crescimento de Realidade Virtual e Realidade Aumentada</p>	<p>Novos materiais e energia alternativa</p> <p>Aumento do uso e queda no preço de materiais avançados Proliferação das fontes e armazenamento de energia alternativa</p>	<p>Dados e conectividade</p> <p>Aumento da conectividade e segurança Aumento na criação de dados</p>	<p>Ciclo de desenvolvimento rápido</p> <p>Crescimento da Indústria 4.0 (eg. prototipagem rápida e digitalização) Acelerando o ritmo de inovação</p>
<p>Tendências macro</p> 	<p>População</p> <p>Urbanização População envelhecendo Crescimento da classe média</p>	<p>Economia</p> <p>Competição de recursos Crescimento do nível de dívida público e privado Mercados estão cada vez mais orientados ao consumidor</p>	<p>Talento</p> <p>Aumento da competição por talento Crescimento da diferença de habilidade Aumento no custo do trabalho</p>	<p>Externalidades</p> <p>Conflitos internacionais Mudanças geopolíticas Mudança climática</p>
<p>Dinâmicas da indústria</p> 	<p>Ambiente competitivo</p> <p>Mudando as dinâmicas competitivas Crescimento de novos modelos de negócio</p>	<p>Fontes de capital</p> <p>Diminuição do financiamento não comercial (eg. NASA) Diversificação nas fontes de capital (eg. venture capital, private equity, fundos soberanos e bilionários)</p>	<p>Dinâmicas de mercado</p> <p>Incerteza da duração de super ciclos Crescimento da disparidade em fundos de infraestrutura Aumento da importância de assegurar a cadeia de distribuição</p>	
<p>Políticas e regulações de A&D</p> 	<p>Preocupações da indústria</p> <p>Demora na responsabilidade de regulação Aumento na ênfase de antitruste Demora na lei de propriedade intelectual Progresso estagnado para a privatização</p>	<p>Padrões</p> <p>Política de cibersegurança emergente Política de exportação estagnada e conservadora Aumento nos padrões de emissão Novos padrões de congestionamento</p>	<p>Adaptação para novas tecnologias</p> <p>Pressão persistente para manter 'humanos dentro do loop' Progresso cauteloso na certificação de veículos Modernização lenta da regulação do tráfego aéreo</p>	

Fonte: Aerospace Industries Association - AIA, (2019).

Ademais, a **fábrica inteligente** é um elemento-chave da tendência da Indústria 4.0 que promete a diminuição de custos de produção e uma maior eficiência. Uma parte do desenvolvimento da fábrica inteligente é a introdução de novas tecnologias, como são os casos do aumento do uso de automação e robótica; ou do uso de novas ferramentas, como realidade aumentada ou impressão 3D. Essas novas tecnologias são especialmente adequadas para atender às demandas de fabricação de precisão no domínio aeroespacial e fortalecer o respeito às normas de segurança



do domínio. Entretanto, a principal transformação trazida pelo movimento fábrica inteligente para o setor está no aumento da conexão e da integração de diferentes componentes habilitados para ICT em um único sistema em rede. Isso pode permitir um aumento significativo na eficiência da fabricação, por meio da análise dos dados de produção; bem como a redução de custos de produção, por meio da maior flexibilidade e da integração digital na cadeia de suprimentos. Desta forma, a indústria aeroespacial, que conta com uma grande rede de fornecedores, pode beneficiar-se muito com este aumento na flexibilidade (EC, 2017b).

Por fim, segundo Accenture (2017), as empresas aeroespaciais e de defesa já usam uma variedade de tecnologias voltadas para lidar com a complexidade operacional e produtiva. Esses investimentos ajudaram o setor a melhorar a visibilidade e a eficiência dentro de suas organizações e entre os principais parceiros da cadeia de suprimentos. Desta forma, Deloitte Insights indica os principais usos atuais e emergentes das novas tecnologias na indústria aeroespacial e defesa, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Aplicações tecnológicas atuais e emergentes no setor aeroespacial e de defesa

TECNOLOGIA	APLICAÇÕES ATUAIS	APLICAÇÕES EMERGENTES
PROTOTIPAGEM RÁPIDA	Prototipagem, maquinário e manufatura de partes funcionais para o usuário final	Combinação de novos tipos de materiais para melhorar partes e acessórios aeroespaciais
INTELIGÊNCIA ANALÍTICA	Monitoramento em tempo real da condição de aeronaves; identificação de falhas nos sistemas/ componentes antes de ocorrerem; criação de agendamentos inteligentes e modelos de previsão	Desenvolvimento de digitalização de larga escala dos dados de manutenção e agendamento de aviões; criação de sinergias através de negócios e áreas funcionais por meio de “aviões conectados”
AUTOMAÇÃO ROBÓTICA E COGNITIVA AVANÇADA	Utilização de robótica na produção de aeronaves para maior eficiência, com menos erros e problemas de qualidade	Simplificação de simulações de aeronaves, armas e performance de satélites, evitando análises demoradas e testes de algoritmos, <i>software</i> e <i>hardware</i>
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	Aplicação de IA na robótica, programação automática de tarefas e processos nas configurações industriais, e possibilidade de manutenção preditiva	Alavancagem de IA e tecnologias de visão computacional para aumentar recursos avançados de segurança em aeronaves; incorporando IA avançada em drones; e substituindo copilotos humanos em novas aeronaves autônomas



TECNOLOGIA	APLICAÇÕES ATUAIS	APLICAÇÕES EMERGENTES
BLOCKCHAIN	Possibilidade de maior transparência de informação entre diferentes partes; melhora em logísticas de <i>just-in-time</i> ; redução de pedidos errôneos; melhoramento do giro de estoque	Rastreamento melhorado na cadeia de suprimentos e aprovisionamento usando uma base de dados compartilhada com fornecedores e parceiros; melhora na validação da performance e reputação de fornecedores; e registro de marcas temporais para reduzir fraude e melhorar a segurança na rede de fornecimento
REALIDADE DIGITAL (REALIDADE AUMENTADA/REALIDADE VIRTUAL/REALIDADE MISTA)	Substituição dos manuais de montagem com telas de óculos inteligentes, que reduzem substancialmente o tempo de produção da fabricação	Utilização de Realidade Virtual para otimizar e desenhar fábricas e simular uma fábrica ou armazém inteiros para treinar funcionários para usarem equipamentos de forma mais segura e eficiente
INTERNET DAS COISAS	Monitoramento do estado do motor de aeronaves e otimização na performance do mesmo baseado em dados coletados por diferentes sensores	Gerenciamento das flutuações dos custos e demanda de materiais por meio da análise de <i>Big Data</i> , possibilitando a integração de recursos inteligentes conectados e operações, e, eventualmente, um ambiente de produção autônomo

Fonte: Lineberger *et al.* (2019).



5. INDÚSTRIA 4.0 NAS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (MPE)

Atualmente, 98% da composição do parque industrial brasileiro consiste em micro, pequenas e médias empresas (MPME). De forma geral, elas apresentam pequena produtividade e baixo nível de digitalização, o que indica a não consolidação da manufatura avançada no País, mesmo em algumas grandes empresas. Neste sentido, a situação das MPE agrava-se ao passo que a maioria trabalha nos limites da 2ª Revolução Industrial, aproveitando de forma restrita as tecnologias digitais, o que limita a inserção do País em mercados digitalizados, bem como a adoção de modelos de negócios com base em dados (BRASIL, 2017).

Ao analisar o estágio de digitalização da indústria brasileira, IEL (2018) aponta a inevitabilidade das empresas de concorrerem com os novos modelos de negócio advindos das mudanças provocadas pela 4ª Revolução Industrial. Em 2017, somente 1,6% das empresas possuíam uma digitalização integrada, conectada e inteligente (Geração 4) e 60% tinham expectativa de estar nesse patamar no futuro. No caso das micro e pequenas empresas, o desafio da industrialização digital é ainda maior, pois empresas passivas, isto é, que têm um baixo grau de digitalização, apresentavam 75% de probabilidade de continuar sendo de menor porte, com baixa capacitação e nenhum plano (Gerações 1 e 2) (IEL, 2018).

Segundo CNI (2019), as micro e pequenas empresas podem ser classificadas em três grupos distintos, possuindo suas respectivas oportunidades e desafios em face da adoção das novas tecnologias emergentes:

- **MPE inovadoras:** representam menor parcela e são geralmente *startups* ou pequenas empresas de base tecnológica. São aquelas mais bem preparadas para dialogar com a fronteira tecnológica global e que já utilizam algumas das novas tecnologias disruptivas. Seu principal desafio está relacionado à necessidade de adoção rápida de sistemas digitais, a fim de alcançar o estágio de desenvolvimento e a expansão de produtos e serviços lucrativos e comercialmente viáveis.
- **MPE capazes de evoluir para a fronteira da eficiência produtiva:** representam uma fração um pouco maior e são aquelas empresas conscientes da relevância das tecnologias digitais, capazes de avançar na digitalização da gestão. Seu desafio concentra-se na necessidade de reorganização para implantar estratégias de inovação com visão de longo prazo.



- **MPE defasadas do ponto de vista da digitalização:** representam a maior parcela e são aquelas que ainda não estão plenamente conscientes das mudanças que virão com a 4ª Revolução Industrial. Incluem dois subgrupos: o de empresas conscientes dos riscos da inação diante do fenômeno; e o de empresas vagamente ou sem essa consciência. Dentre os seus desafios estão a busca por uma maior conscientização sobre o novo paradigma de gestão e manufatura inteligentes, o encurtamento de distâncias em relação à fronteira da eficiência produtiva, a necessidade de estímulos e de suporte tecnológico e a implantação de soluções de digitalização da gestão e da produção, com ênfase em qualidade e em acesso a novos canais digitais de financiamento.

Apesar de suas características singulares, entende-se que a conscientização e a mudança de atitude por parte das micro e pequenas empresas com maior defasagem e baixo nível de digitalização corresponde ao maior dos desafios que perpassam os três grupos de empresas (CNI, 2019). Além disso, outro desafio refere-se à lenta digitalização da gestão das MPE por meio da adoção de sistemas de *Enterprise Resources Planning* (ERP) adaptados à realidade dos pequenos negócios. Tais sistemas podem contribuir para o avanço em direção à manufatura conectada e inteligente; à otimização da gestão financeira-contábil, de recursos humanos, manufatura e processamento de ordens de produção; à gestão de suprimentos e matérias-primas; à customização e desenvolvimento de projetos; e às relações com consumidores. Já na introdução modularizada nas MPE e médias empresas, outro desafio é a demanda por maior grau de customização, a fim de viabilizar a migração em direção à automação avançada, uma vez que a existência de um número suficientemente grande e devidamente qualificado de MPE integradoras é vital para o avanço da Indústria 4.0. Por fim, há desafio relacionado ao desenvolvimento e à capacitação de recursos. A adoção de um novo paradigma digital de gestão e de produção vai de encontro às práticas tradicionais enraizadas e tende a gerar resistências e rejeições. Assim, faz-se necessário esclarecer a importância das novas tecnologias e métodos de gestão para a sobrevivência das empresas e dos empregos (CNI, 2019).

A Tabela 7 resume os principais desafios impostos pelas novas tecnologias disruptivas às micro e pequenas empresas.



Tabela 7 – Resumo dos desafios para as MPE (a partir do Estudo Indústria 2027)

GRUPOS DE MPE	SISTEMAS PRODUTIVOS COM PRESENÇA MARCANTE DE MPE	CONTRIBUIÇÃO DAS MPE TECNOLÓGICAS/ <i>startups</i>	MPE DEFASADAS OBJETO DE PROGRAMAS
INOVADORAS (STARTUPS E DE BASE TECNOLÓGICA)	TIC	Participar ativamente em ecossistemas avançados de inovação e da oferta de soluções de digitalização.	A digitalização das MPE associadas às empresas que operam na fronteira tecnológica pode ser acelerada.
	Aeroespacial e defesa		
	Petróleo e gás		
	Bens de capital		
	Farmacêutica		
	Bioeconomia		
CAPAZES DE EVOLUIR NA FRONTEIRA TECNOLÓGICA	Insumos básicos	Prover soluções para as cadeias de valor capazes de se emparelhar no padrão 4.0 e caminharem para P&D colaborativo.	Estimular a parceria entre grandes empresas e MPE tecnológicas e <i>startups</i> para acelerar a digitalização nas MPE fornecedoras/prestadoras de serviços nas cadeias de valor.
	Automotiva		
	Agroindústrias		
	Química		
	Segmentos de bens de capital		
	Petróleo e gás		
DEFASADAS NA DIGITALIZAÇÃO	TIC	Contribuir para a oferta de soluções de baixo custo para digitalização/automação (como ERP e processos modulares de retrofit e automação).	Demanda programas extensionistas de conscientização, aprendizado e apoio à digitalização da gestão/produção, acessíveis, de baixo custo.
	Bens de consumo não duráveis e duráveis		
	Agroindústrias		
	Bens de capital		
	Química		
Automotivo/Autopeças			

Fonte: CNI (2019).

Avalia-se, assim, que o desenvolvimento de novas soluções para as micro e pequenas empresas clientes das novas tecnologias depende da capacidade de conciliação entre sua estrutura e as tecnologias emergentes (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO A MICRO E PEQUENAS EMPRESAS -



SEBRAE, 2020). Especialmente entre micro, pequenas e médias empresas, um grande desafio será a transformação digital de empresas que não nasceram digitais (OECD, 2017). Neste sentido, os desafios para os formuladores de políticas não devem limitar-se ao financiamento de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) básicos e aplicados, mas abranger também a expansão dessas tecnologias disruptivas, promovendo a comercialização pelos negócios e a sua adoção pelas MPE, além de promover o desenvolvimento regional equilibrado (UNIDO, 2017).

Outro fator desafiador que deve ser levado em consideração é o fato de que, apesar de estarem interessados nas soluções da Indústria 4.0, os usuários em potencial – especialmente as MPE – relutam em investir nela. O fenômeno é denominado de **efeito pinguim**, fazendo alusão aos pinguins que, com medo de predadores, permanecem na praia até que o primeiro decida arriscar-se e pular na água. Sendo assim, entende-se que, enquanto não houver padrões internacionais ou soluções universais que ofereçam interoperabilidade entre sistemas diferentes, as empresas individuais correm o risco de aprisionamento tecnológico, podendo tornar-se dependentes da tecnologia de um fornecedor em particular (KAGERMANN *et al.*, 2016).

Além disso, WEF (2020a) também aponta que as micro e pequenas empresas brasileiras fornecedoras de tecnologia estão menos dispostas a investir no desenvolvimento de produtos para empresas menores; pelo contrário, concentram seus recursos em alvos corporativos maiores, onde o retorno de venda tem chances de ser maior. Da mesma forma, pesquisa da OCDE destaca que há uma “falta de soluções sob medida para as MPE” e isto torna-se uma barreira fundamental para a adoção da análise de dados por essas empresas. Isso exacerba a discrepância de especialização que as MPE enfrentam na comparação com seus concorrentes industriais, fornecedores e clientes (WEF, 2020a).

No entanto, apesar dos desafios existentes, as MPE também têm vantagens que podem ser utilizadas para ajudar a superar desafios e impulsionar a inovação na 4ª Revolução Industrial. A principal característica que define essas empresas – o menor porte – muitas vezes significa estruturas organizacionais relativamente simples e maior flexibilidade, as quais permitem que estas consigam reagir mais rapidamente às mudanças de mercado, ambientais e tecnológicas, adaptando-se com uma velocidade maior do que as grandes empresas (EC, 2019; WEF, 2020a). Ademais, as MPE podem adaptar seu modelo operacional e agilizar os processos de tomada de decisão de negócios (WEF, 2020a). Concomitantemente, a economia de dados emergentes oferece novas oportunidades para empresas especializadas e de nicho, um domínio natural das MPE. A especialização e a diferenciação de produtos e serviços estão entre os fatores de



sucesso mais significativos para essas empresas. Desta forma, o desenvolvimento de mais nichos de mercado pode permitir que as MPE fortaleçam suas vantagens competitivas e reduzam suas desvantagens estruturais (EC, 2019).

Embora a melhoria da produtividade seja frequentemente o primeiro e mais tangível benefício da adoção das novas tecnologias, os impactos para as MPE podem ir muito além disso. Segundo WEF (2020a), a IIoT pode criar valor em várias dimensões, como impulsionar o crescimento por meio de produtos, atendimento ao cliente e engenharia aprimorados, ao mesmo tempo em que melhora as operações por meio de um melhor planejamento, gerenciamento de fábrica mais eficiente e funções de suporte aprimoradas. No caso da Inteligência Artificial, visto que grande parte de suas soluções estão disponíveis no domínio público e são sustentadas por componentes de código aberto, a sua adoção não requer atividade de grande capital ou recursos humanos (EC, 2019). Já a tecnologia de *blockchain* pode impactar as MPE ao permitir a realização de transações financeiras por meio de livro-razão descentralizado, em ambientes com um alto nível de segurança e confiança (EC, 2019).

Ademais, a realidade aumentada (AR), realidade virtual (VR), realidade mista (MR), vídeo 360° e tecnologia imersiva oferecem várias maneiras para as MPE transformarem positivamente as suas áreas de negócios, seja na comunicação interna, colaboração, treinamento, desenvolvimento ou até em simulações de atendimento ao cliente (EC, 2019). Por fim, o advento da computação em nuvem continuará a proliferar-se entre as MPE, pois agora essas empresas podem inscrever-se em um centro de nuvem e receber acesso à infraestrutura de TI de que precisam, situação bem diferente daquela vivenciada antigamente, quando a falta de recursos inviabilizava o acesso aos pacotes de *software* ou outros recursos de TI. A tecnologia também gera uma redução de custos, melhoria da eficiência, maior facilidade de acesso e colaboração e maior segurança, bem como minimiza os requisitos de TI, armazenamento físico e atualizações de *software* (EC, 2019).

Portanto, verifica-se que, independentemente das características e desafios estruturais ou comportamentais das empresas, o investimento em novas tecnologias por parte das micro e pequenas empresas apresenta muitos retornos positivos. Desta forma, a implementação destas tecnologias pode ser gradual, conforme a disponibilidade de recursos e o estágio de desenvolvimento das organizações, mas não deve ser postergada (IEL, 2018).



6. CONTRIBUIÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 PARA A RETOMADA DO CRESCIMENTO

Embora as megatendências, como tensões comerciais globais, mudanças climáticas, novas inovações tecnológicas e a atual pandemia de Covid-19, impactem todo o mundo, a realidade desses impactos – e, portanto, as respostas necessárias a eles – é inerentemente impulsionada por características regionais únicas e os ambientes regionais facilitadores. Desde a rápida reimplantação de fábricas subutilizadas até o aprendizado de novas maneiras de proteger e construir cadeias de suprimentos locais, regionais, nacionais e globais, a manufatura deve ajudar hoje enquanto se planeja o amanhã (WEF, 2020b). Nesse sentido, compreende-se que, ao passo que são impulsionadas a se desenvolverem mais rapidamente frente às necessidades impostas pela atual crise, as tecnologias emergentes da Indústria 4.0 também apresentam grande potencial de contribuição para a recuperação brasileira no momento pós-pandemia.

De acordo com a Rede de Políticas Públicas e Sociedade - PP&S (2020), antes da pandemia, o Brasil ainda estava em processo de recuperação da crise econômica dos últimos anos. Em 2019, o PIB cresceu apenas 1,1%, marcando o pior desempenho nos últimos três anos, resultado da perda de ritmo do consumo das famílias e dos investimentos privados (PP&S, 2020). Ainda assim, havia sinalização de que estava por vir um movimento de recuperação mais amplo e sustentável para 2020 e os anos seguintes (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA, 2020). Entretanto, com a confirmação da pandemia causada pelo novo coronavírus (Sars-COV-2) no Brasil, em março de 2020, o País convive com as suas implicações sanitárias, sociais e econômicas, que resultaram em uma crise que permeia os mais diversos segmentos das atividades produtivas. O setor de serviços foi o mais atingido, seguido do industrial e, por último, o agropecuário (IPEA, 2020). No entanto, apesar dos muitos desafios, a possível tendência de desconcentração da atividade industrial poderá oferecer oportunidades para o País, principalmente no que se refere à adoção das novas tecnologias digitais para superar os obstáculos atuais. A impressão 3D, *Big Data*, computação em nuvem e Inteligência Artificial são exemplos de ferramentas que podem ser aplicadas para lidar com a situação em que se encontra a saúde mundial, com o desenvolvimento de mão de obra qualificada, novos equipamentos e reposição de estoque (ARAÚJO, 2020).



Desta forma, a Industrie 4.0 Maturity Center (2020) identifica áreas em que as tecnologias emergentes podem contribuir para minimizar os atuais impactos da pandemia do coronavírus. A primeira é a garantia do acesso remoto aos dados operacionais, incluindo, por exemplo: acesso a ERP, MES e sistemas de controle de processo; acesso a KPI operacionais (placas de chão de fábrica); AR/conexão de vídeo em caso de quebra de máquina ou outros problemas na produção; e também o acesso aos dados de condição do equipamento. Em segundo, está o aumento da transparência, auxiliando uma melhor manobra industrial frente às incertezas sobre os níveis de estoque de suprimentos críticos, disponibilidade de funcionários, conjunto de habilidades e andamento dos pedidos dos clientes. O terceiro é a habilitação de pedidos e suporte digitais aos clientes, incluindo o fornecimento de acesso digital a produtos e serviços para seus clientes, por exemplo, via loja virtual, além de atendimento remoto. Por último, está a área de reaproveitamento dos processos de produção, com modificações de estações de montagem, utilização de equipamentos de impressão 3D existentes, instalação de novos componentes em áreas de usinagem ou o desenvolvimento de novas ferramentas para moldagem por injeção.

Acerca da aplicabilidade das novas tecnologias durante a pandemia, verifica-se que a manufatura aditiva pode produzir bens diretamente em um ambiente hospitalar e alterar drasticamente os modelos tradicionais de entrega de valor no processo. Outras tecnologias, como automação e robótica avançada, estão aumentando a flexibilidade nas linhas de produção, mas também simplificando o processo de troca de produtos entre locais de manufatura (WEF, 2020b). Já a Inteligência Artificial e *Big Data* têm sido usados para auxiliar na pesquisa do vírus, desenvolvimento de vacinas e análise de dados para apoiar decisões de políticas públicas. Da mesma forma, a robótica tem desempenhado um papel cada vez maior no monitoramento e assistência aos pacientes, enquanto os vestíveis demonstraram ser eficazes na triagem e rastreamento de pacientes e equipes médicas (UNIDO, 2020). Desta forma, as tecnologias da 4ª Revolução Industrial trazem uma ampla gama de soluções potenciais na luta contra a Covid-19 e seus efeitos sociais, econômicos e ambientais associados, como mostra a Tabela 8.



Tabela 8 – Aplicação das novas tecnologias na luta contra a Covid-19 e seus impactos

	RESPOSTAS PARA CRISES SANITÁRIAS	RESPOSTAS PARA CRISES ECONÔMICAS
DRONES 	<ul style="list-style-type: none"> » Entrega de suprimentos críticos » Desinfecção de espaços públicos » Medição da temperatura corporal » Aplicação dos controles de quarentena 	<ul style="list-style-type: none"> » Aumento na eficiência de entrega de serviços » Escaneamento extensivo de áreas altamente povoadas e transmissão dessa informação
ROBÓTICA 	<ul style="list-style-type: none"> » Monitoramento e assistência de pacientes » Otimização do estoque de medicamentos » Entrega de remédios e comida 	<ul style="list-style-type: none"> » Inspeção remota, reparo e manutenção » Operações semiautônomas
IMPRESSÃO 3D 	<ul style="list-style-type: none"> » Produção de equipamentos médicos e componentes essenciais 	<ul style="list-style-type: none"> » Combate à escassez de componentes » Desenho e teste de protótipos para novos produtos
BLOCKCHAIN 	<ul style="list-style-type: none"> » Identidade digital, incluindo status de saúde » Rastreamento da segurança de medicamentos » Gerenciamento de reivindicações da saúde 	<ul style="list-style-type: none"> » Resiliência das cadeias de suprimento » Rastreamento e transparência sobre a origem e processo de transformação
BIG DATA/IA 	<ul style="list-style-type: none"> » Análise de dados e modelos de surtos virais » Assistência no desenvolvimento de vacinas » Análise de padrões para aumentar o controle 	<ul style="list-style-type: none"> » Entrelaçamento digital de instalações industriais para possibilitar a troca rápida de linhas de produção » Análise de dados e tendência para prever mudanças na demanda e avaliar impactos
INTERNET DAS COISAS 	<ul style="list-style-type: none"> » Coleta de dados de saúde pública » Análise da qualidade do ar dentro de prédios » Assistência no transporte de bens críticos 	<ul style="list-style-type: none"> » Melhorar acurácia e tempo de resposta » Melhorar o entendimento das preferências do consumidor e suas necessidades

Fonte: UNIDO (2020).



Dentre as tecnologias emergentes, destacam-se o uso de drones na promoção de maior eficiência na entrega de serviços; robótica avançada para garantir inspeção, manutenção e reparação remota; impressão 3D no combate da escassez de produtos e na criação e teste de novos protótipos de produtos; *blockchain* para maior transparência sobre a origem e os processos de transformação; *Big Data* e Inteligência Artificial para criar gêmeos digitais, prever e analisar tendências e mudanças na demanda, bem como avaliar os impactos; e Internet das Coisas no aprimoramento da precisão de tempo de resposta, e no melhor entendimento sobre as preferências e necessidades dos consumidores.



7. CONCLUSÃO

Neste documento, apresentou-se uma revisão bibliográfica que permitiu identificar as principais tecnologias da 4ª Revolução Industrial, bem como os seus desafios e oportunidades para o Brasil. Ademais, apesar das existentes limitações quanto à disponibilidade de literatura sobre os impactos das tecnologias emergentes nos setores identificados, foi possível avaliar algumas particularidades geradas pela adoção das novas tecnologias. O relatório também dedica uma seção exclusivamente para entender os desafios das micro e pequenas empresas brasileiras frente à ascensão dessas tecnologias, bem como as diversas oportunidades que estas acarretam ao desenvolvimento das MPE. Por fim, abordou-se o papel das novas tecnologias na mitigação dos impactos da Covid-19 no Brasil.



REFERÊNCIAS

ABB. The industry is digitalizing. **Food quarter**; the industry is digitalizing, n. 1, s.d. Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/9927b580dc1c4dd8816c6f97e09e65f7/ABB030%20-%20Food%20Quarter%20Magazine%20issue%201%20new%20concept%202%20-%20MG.pdf>

ACCENTURE. **Blockchain in aerospace and defense: Capturing growth and efficiency through a rapidly emerging technology**, 2017, 15 p. Disponível em: https://www.accenture.com/t20170928T023222Z__w__/us-en/_acnmedia/PDF-61/Accenture-Blockchain-For-Aerospace-Defense-PoV-v2.pdf

AEROSPACE INDUSTRIES ASSOCIATION - AIA. **What's next for aerospace and defense: A vision for 2050**, 2019. Disponível em: <https://www.aia-aerospace.org/wp-content/uploads/2019/04/Whats-Next-for-Aerospace-and-Defense.pdf>

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL - ABDI. **Indústria 4.0**, s.d. Disponível em: <http://sitesinteligencia.abdi.com.br/sites/avaliacao/>

ARAÚJO, Tiago. **Como a Indústria 4.0 pode ajudar a combater a pandemia do novo coronavírus**. SENAI Ceará: 2020. Disponível em: <https://www.senai-ce.org.br/blog/como-a-industria-4-0-pode-ajudar-a-combater-a-pandemia-do-novo-coronavirus/>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS - ABIHPEC. **Cenário tecnológico e futuro das novas tecnologias em HPPC**, 2015. Disponível em: https://inovacaoabihpec.org.br/tendencias/pdf/20150702175819_ITEHPECESTUDONovasTecnologiasFINAL.pdf

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA - ABINEE. **Propostas para a inserção do Brasil na 4ª revolução industrial**, 2020, 40 p. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/programas/prog19.htm>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA - ABIQUIM; DELOITTE INSIGHTS - DELOITTE. **Um outro futuro é possível: perspectivas**



para o setor químico no Brasil, 2018, 40 p. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/br/Documents/energy-resources/Deloitte-Abiquim-Setor-Quimico-Relatorio.pdf>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA QUÍMICA - ABEQ. Uma engenharia química 4.0. **Revista Brasileira de Engenharia Química**, v. 33, n. 1, 2017, 42 p. Disponível em: https://www.abeq.org.br/sms/files/rebeq2017_finalCorrigida2.pdf

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES.

Relatório do plano de ação iniciativas e projetos mobilizadores. Brasília:

BNDES, 2017, 65 p. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/269bc780-8cdb-4b9b-a297-53955103d4c5/relatorio-final-plano-de-acao-produto-8-alterado.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mojDUok>

BARLETA, Eliana P.; PÉREZ, Gabriel; SÁNCHEZ, Ricardo J. **Industry 4.0 and the emergence of logistics 4.0**. Santiago: United Nations Publications, v. 375, n. 7, 2019.

BOSTON CONSULTING GROUP - BCG. **Leveraging technology to revolutionize mining**, s.d. Disponível em: <https://www.bcg.com/en-us/industries/process-industries-building-materials/center-digital-industrials/leveraging-technology-revolutionize-mining>

BOSTON CONSULTING GROUP [BCG]. **Embracing industry 4.0 and rediscovering growth**, 2019. Disponível em: <https://www.bcg.com/pt-br/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth>

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTI&C. **Estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação 2016-2022**. Brasília: 2016. 136 p. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/a-finep/Politica/16_03_2018_Estrategia_Nacional_de_Ciencia_Tecnologia_e_Inovacao_2016_2022.pdf

BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Profuturo: produção do futuro**, 2017, 68 p.

BRASIL. **Comex stat**. Brasília: Ministério da Economia, 2020. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>



BRUNO, Flavio S. **A quarta revolução industrial do setor têxtil e de confecção: a visão de futuro para 2030.** São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2016. Disponível em: http://www.abit.org.br/uploads/arquivos/A_quarta_revolucao_industrial_do_setor_textil_e_de_confeccao.pdf

BUGHIN, Jacques *et al.* **Tech for good: Smoothing disruption, improving well-being.** Bruxelas: McKinsey Global Institute, 2019, 80 p. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/future%20of%20organizations/tech%20for%20good%20using%20technology%20to%20smooth%20disruption%20and%20improve%20well%20being/tech-for-good-mgi-discussion-paper.pdf>

CENTRE FOR EUROPEAN ECONOMIC RESEARCH - ZEM; AUSTRIAN INSTITUTE OF ECONOMIC RESEARCH - WIFO. **Measuring competitiveness.** Bruxelas: European Commission, 2017. Disponível em: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/28181/attachments/1/translations/en/renditions/pdf>

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Panorama de habilidades e competências para um mundo 4.0,** 2020, 32 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil.** Brasília: CNI, 2016, 34 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Oportunidades para a indústria 4.0: aspectos da demanda e oferta no Brasil.** Brasília: CNI, 2017, 58 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Riscos e oportunidades para as micro e pequenas empresas brasileiras diante de inovações disruptivas: uma visão a partir do Estudo Indústria 2027 / Confederação Nacional da Indústria, Serviço Social da Indústria, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas.** Brasília: CNI, 2019, 66 p. Disponível em: https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/1c/45/1c4559d3-4ee2-4977-963e-e8113950393b/id_232324_riscos_e_oportunidades_web.pdf



CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Documento de apoio à implantação das DCNs do curso de graduação em engenharia.** Brasília: CNI, 2020, 43 p. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/file/DocumentoApoioImplantacaoDCNs.pdf>

DAUDT, Gabriel; MIGUEZ, Thiago; WILLCOX, Luiz D. **Indústria 4.0.** Brasília: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018, 10 p. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/18140>

DELOITTE INSIGHTS - DELOITTE. **Automate this:** The business leader's guide to robotic and intelligent automation, 2016, 25 p. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/process-and-operations/us-sdt-process-automation.pdf>

DELOITTE INSIGHTS - DELOITTE. **The Fourth industrial revolution:** At the intersection of readiness and responsibility, 2020, 25 p. Disponível em: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/human-capital/Deloitte_Review_26_Fourth_Industrial_Revolution.pdf

DICKENS, Phill; KELLY, Michael; WILLIAMS, John. R. What are the significant trends shaping technology relevant to manufacturing? Future of Manufacturing Project. **Foresight.** Londres: The Government Office for Science, 2013. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/277164/ep6-technology-trends-relevant-to-manufacturing.pdf

DUGENSKE, Andrew; LOUCHEZ, Alain. The factory of the future will be shaped by the Internet of things. **Manufacturing Net**, 2014. Disponível em: <https://cdait.gatech.edu/sites/default/files/the-factory-of-the-future-will-be-shaped-by-the-internet-of-things.pdf>

ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN - ECLAC. **Data, algorithms and policies: redefining the digital world.** Santiago: United Nations Publications, 2018.

EUROPEAN COMMISSION - EC. **Industry 4.0 in agriculture:** Focus on IoT aspects, 2017a, 6 p. Disponível em: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Agriculture%204.0%20IoT%20v1.pdf



EUROPEAN COMMISSION - EC. **Industry 4.0 in aeronautics: IoT applications**, 2017b, 6 p. Disponível em: <https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-07/Industry%204.0%20in%20Aeronautics%20-%20IoT%20Applications%20%28v1%29.pdf>

EUROPEAN COMMISSION - EC. **Supporting specialised skills development: big data, internet of things and cybersecurity for SMEs**, 2019, 171 p. Disponível em: https://www.digitalsme.eu/digital/uploads/March-2019_Skills-for-SMEs_Interim_Report_final-version.pdf

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - FIRJAN. **Indústria 4.0: internet das coisas**. Rio de Janeiro: Cadernos SENAI de inovação, 2016, 38 p. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557E033FAC372E&inline=1>

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - FIRJAN. **Indústria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios**, 2019, 65 p. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A6895B4030168EC48A78E023D>

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS - FINEP. **Seleção pública MCTI/FINEP/ FNDCT subvenção econômica à inovação nº 04/2020 para Tecnologias 4.0**, 2020, 22 p. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/chamadas-publicas/2020/16_06_2020_Editado_Subvencao_4_o.pdf

FINQUELIEVICH, Susana. América Latina: entre el envejecimiento y el tsunami tecnológico. Robótica, inteligencia artificial y trabajo. In: RIVOIR, Ana. **Tecnologías digitales: desigualdades y desafíos en el contexto latinoamericano actual**. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CLACSO; Montevideo: Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de la República - Uruguay; Observatic, 2020, p. 247. Disponível em: <https://www.clacso.org/wp-content/uploads/2020/09/Tecnologias-digitales.pdf>

FIORAVANTI, Reinado; KRAISEL BURD, Santiago; LAPORTE, Luigi M. **Monitoring and assessing the impact of supply chain 4.0 in Latin America**: Framework, application to agribusiness and policy discussions. inter-american development bank, 2019, 41 p. Disponível em: https://publications.iadb.org/publications/english/document/Monitoring_and_Assessing_



the_Impact_of_Supply_Chain_4.0_in_Latin_America_Framework_Application_to_Agribusiness_and_Policy_Discussions_en.pdf

FORESIGHT. **The Future of Manufacturing:** a new era of opportunity and challenge for the UK. Summary Report. Londres: The Government Office for Science, 2013. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/255923/13-810-future-manufacturing-summary-report.pdf

FURTADO, João *et al.* **Indústria 4.0:** A quarta revolução industrial e os desafios para o Brasil. In: INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). **A indústria do futuro no Brasil e no mundo**, 2019, p. 171-197. Disponível em: https://iedi.org.br/media/site/artigos/20190311_industria_do_futuro_no_brasil_e_no_mundo.pdf

GALINDO-RUEDA, Fernando; VERGER, Fabien. OECD taxonomy of economic activities based on R&D Intensity. **OECD Science, Technology and Industry Working Papers**, No. 2016/04. Paris: OECD Publishing, 2016. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-taxonomy-of-economic-activities-based-on-r-d-intensity_sjlv73sqqp8r-enjsessionid=b6Cp7MhPBnKZbR4RznYNCuow.ip-10-240-5-138

HALLWARD-DRIEMEIER, MARY; NAYYAR, GAURAV. **Trouble in the making?** The future of manufacturing-led development. Washington: World Bank. 2018, 255 p. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/27946/9781464811746.pdf> Acesso em: 04 ago. 2020.

INDUSTRIE 4.0 MATURITY CENTER. **Industrie 4.0 & Covid-19:** How to deal with digitalization strategies during the crisis? Aachen: I40MC, 2020. Disponível em: https://i40mc.de/wp-content/uploads/sites/22/2016/11/2020-04-03_i40MC_PositionPaper_Covid-19.pdf

INSTITUTE FOR THE FUTURE FOR DELL TECHNOLOGIES. **The next era of human/machine partnerships.** Emerging technologies' impact on society & work in 2030, 2017. Disponível em: https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fwww.delltechnologies.com%2Fcontent%2Fdam%2Fdelltechnologies%2Fassets%2Fperspectives%2F2030%2Fpdf%2FSR1940_IFTFforDellTechnologies_Human-Machine_070517_readerhigh-res.pdf



INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL - IEDI. **A indústria do futuro no brasil e no mundo**, 2019, 622 p. Disponível em: https://iedi.org.br/media/site/artigos/20190311_industria_do_futuro_no_brasil_e_no_mundo.pdf

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Brasil pós-COVID-19: contribuições do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. Brasília: IPEA, 2020. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatorio_institucional/200724_ri_0%20brasil_pos_covid_19.pdf

INSTITUTO EUVALDO LODI - IEL. **Síntese dos resultados: construindo o futuro da indústria brasileira**. Brasília: Confederação Nacional da Indústria, v. 1, 2018, 276 p. Disponível em: https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/8c/13/8c13f007-35c7-4fa2-89e9-3550bca42a16/sintese_dos_resultados.pdf

KAGERMANN, Henning; LUKAS, Wolf-Dieter; WAHLSTER, Wolfgang. Industry 4.0: with the Internet of Things towards the 4th industrial revolution. **VDI nachrichten**, v.13, n.1, 2011.

KAGERMANN, Henning *et al.* **Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for cooperating with international partners**. Berlim: ACATECH, 2016, 74 p.

KLEI, Alexander *et al.* **Digital in chemicals: From technology to impact**. Bruxelas: McKinsey & Company, 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/digital-in-chemicals-from-technology-to-impact>

KPMG. Era da indústria 4.0. **KPMG Business Magazine**, n. 37, 2016. Disponível em: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2016/04/br-kpmg-business-magazine-37-automotive.pdf>

KPMG. **Pharma outlook 2030: from evolution to revolution**, 2017, 20 p. Disponível em: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2017/02/pharma-outlook-2030-from-evolution-to-revolution.pdf>

KPMG. **The changing landscape of disruptive technologies: tech disruptors outpace the competition**, 2018, 42 p. Disponível em: <https://kpmg-inst.adobecqms.net/content/dam/advisory/en/pdfs/tech-disruptors.pdf>



LEE, Jay; KAO, Hung-An; YANG, Shanhu. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. **Procedia Cirp**, v.16, n.1, 2014.

LINEBERGER, Robin *et al.* **Aerospace and Defense 4.0**: Capturing the value of Industry 4.0 technologies. Londres: Deloitte Insights, 2019. Disponível em: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4912_Aerospace-and-defense-4-0/DI_A&D_4-0.pdf

MANYIKA, James *et al.* **Manufacturing the future**: The next era of global growth and innovation. São Francisco: McKinsey Global Institute, 2012. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-future-of-manufacturing#>

MANYIKA, James *et al.* **The internet of things**: mapping the value beyond the hype. São Francisco: McKinsey Global Institute, 2015. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>

MANYIKA, James *et al.* **Harnessing automation for a future that works**. São Francisco: McKinsey Global Institute, 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/digital-disruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works>

MITSUBISHI ELECTRIC. **Industry 4.0 in the Food and Beverage industry**, 2015. Disponível em: https://es3a.mitsubishielectric.com/fa/es/news/file/2628/MitsDMA439_Industry4_FoodBev_EN_EU.pdf

MORCEIRO, Paulo César. **A indústria brasileira no limiar do século XXI**: uma análise da sua evolução estrutural, comercial e tecnológica. 198f. 2018. Tese (Doutorado) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331555725_A_industria_brasileira_no_limiar_do_seculo_XXI_uma_analise_da_sua_evolucao_estrutural_comercial_e_tecnologica

ORGANISATION FOR ECONOMIC
CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. **Enabling the next production**



revolution: issues paper. Paris: OECD Publishing, 2015. Disponível em: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/IND\(2015\)2&docLanguage=Em](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/IND(2015)2&docLanguage=Em)

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD.

The next production revolution: implications for governments and business. Paris: OECD Publishing, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264271036-en>

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD.

The impact of big data and artificial intelligence (AI) in the insurance sector. Paris: OECD Publishing, 2020. Disponível em: <https://www.oecd.org/finance/The-Impact-Big-Data-AI-Insurance-Sector.pdf>

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD.

Trade in value added (TiVA) 2020b. Disponível em: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=TIVA_2018_C1# Acesso em: set. 2020.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD.

BTDIXE bilateral trade in goods by industry and end-use. 2020c. Disponível em: <https://stats.oecd.org/#> Acesso em: set. 2020.

PEREZ, Carlota. **Technological revolutions and financial capital:** the dynamics of bubbles and golden ages. Northampton: Edward Elgar Publishing, Inc, 2002, 219 p.

PRICEWATERHOUSECOOPERS - PwC. **Industry 4.0:** Building the digital enterprise, 2016, 36 p. Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>

REDE DE POLÍTICAS PÚBLICAS E SOCIEDADE - PP&S. Covid-19: políticas públicas e as respostas da sociedade. **Boletim de Políticas Públicas e Sociedade**, v. 19, n.

19, 2020. Disponível em: https://rededesquisasolidaria.org/wp-content/uploads/2020/08/boletimpps_19_7agosto.pdf

ROSSATO, Altair. Is Latin America ready for the fourth industrial revolution? **World Economic Forum**, 2018. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2018/03/industry-4-0-fourth-industrial-revolution-is-latin-america-ready/>



SACOMANO, José Benedito *et al.* **Indústria 4.0.** São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2018. Disponível em: <https://www.blucher.com.br/livro/detalhes/industria-4-0-1457>

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO A MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE. **Inteligência artificial, big data, internet das coisas e blockchain:** como vão afetar os negócios para as MPE? Rio de Janeiro: SEBRAE RJ, 2020. Disponível em: <https://sebraeinteligenciasetorial.com.br/produtos/relatorios-de-inteligencia/inteligencia-artificial-big-data-internet-das-coisas-e-blockchain-como-va0-afetar-os-negocios-para-as-mpe/5e78d7c12049b01800e56bd3>

SOFTWARE.ORG. **Brazil 4.0:** The data-driven future of brazilian industries, 2018. Disponível em: https://software.org/wp-content/uploads/Software_Brazil4.0_English.pdf

TRENDOV, Nikola M.; VARAS, Samuel; ZENG, Meng. **Digital technologies in agriculture and rural areas:** briefing paper. Roma: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca4887en/ca4887en.pdf>

TETRA PAK. **Industry 4.0:** Opening a door to new opportunities for the food and beverage industry, s.d., 20 p. Disponível em: https://www.foodengineeringmag.com/ext/resources/WhitePapers/Tetra-Pak_Industry-4.0.pdf

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION - UNIDO. **Emerging trends in global advanced manufacturing:** challenges, opportunities and policy responses. Vienna: United Nations Publications, 2017, 76 p. Disponível em: http://capacitydevelopment.unido.org/wp-content/uploads/2017/06/emerging_trends_global_manufacturing.pdf

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION - UNIDO. **Bracing for the new industrial revolution:** elements of a strategic response. Vienna: United Nations Publications, 2019a, 20 p. Disponível em: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-06/UNIDO_4IR_Strategy_Discussion_Paper.pdf

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION - UNIDO. **Industrial development report 2020:** Industrializing in the digital age. Vienna: United Nations



Publications, 2019b, 42 p. Disponível em: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO_IDR2020-English_overview.pdf

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION - UNIDO. **COVID-19 implications & responses: digital transformation & industrial recovery.** Vienna: United Nations Publications, 2020, 23 p. Disponível em: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-07/UNIDO_COVID_Digital_Transformation_o.pdf

UNITED STATES DEPARTMENT OF EDUCATION - USDE. Technology assessments: advanced sensors, controls, platforms and modelling for manufacturing. **Quadrennial Technology Review**, 2015.

UPADHYAYA, Shyam; KYNCLOVA, Petra. **Big data: its relevance and impact on industrial.** Vienna: United Nations Industrial Development Organization, 2017, 47 p. Disponível em: <https://www.unido.org/api/opentext/documents/download/9921461/unido-file-9921461>

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE - VDI. **Transformação sistêmica e avaliação de sistemas de produção**, 2020, 7 p.

VERMESAN, Ovidiu; FRIESS, Peter. **Internet of things: from research and innovation to market deployment.** Aalborg: River Publishers, 2014. Disponível em: https://www.riverpublishers.com/pdf/ebook/RP_E9788793102958.pdf

WORLD ECONOMIC FORUM - WEF. **Technology and innovation for the future of production: accelerating value creation**, 2017a, 38 p. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf

WORLD ECONOMIC FORUM - WEF. **Digital transformation initiative: oil and gas industry.** Geneva: WEF, 2017b, 36 p. Disponível em: <https://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/dti-oil-and-gas-industry-white-paper.pdf>

WORLD ECONOMIC FORUM - WEF. **Readiness for the future of production report 2018.** Geneva: WEF, 2018, 266 p. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/FOP_Readiness_Report_2018.pdf



WORLD ECONOMIC FORUM - WEF. **Health and healthcare in the fourth industrial revolution:** global future council on the future of health and healthcare 2016-2018. Geneva: WEF, 2019, 45 p. Disponible em: http://www3.weforum.org/docs/WEF__Shaping_the_Future_of_Health_Council_Report.pdf

WORLD ECONOMIC FORUM - WEF. **Accelerating the impact of industrial iot in small and mediumsized enterprises:** a protocol for action. Geneva: WEF, 2020a, 31 p. Disponible em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Accelerating_the_Impact_of_IIoT.pdf

WORLD ECONOMIC FORUM - WEF. **The Impact of COVID-19 on the future of advanced manufacturing and production:** insights from the world economic forum's global network of advanced manufacturing hubs. Geneva: WEF, 2020b, 5 p. Disponible em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_AMHUB_Insight_Paper_2020.pdf



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução tecnológica da produção	13
Figura 2 – Convergência dos mundos biológico, físico e digital	14
Figura 3 – Convergência acelerada do ecossistema da Indústria 4.0 entre 2014 e 2016	16
Figura 4 – Tecnologias de maior impacto na Indústria 4.0, segundo consulta pública	17
Figura 5 – Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0	19
Figura 6 – Elementos formadores da Indústria 4.0: a “casa” da Indústria 4.0	20
Figura 7 – Tecnologias referenciais para manufatura avançada no Brasil	21
Figura 8 – Potencial impacto econômico da internet das coisas mundialmente, em 2025	24
Figura 9 – Objetivos Estratégicos do IoT nos ambientes	26
Figura 10 – Impactos esperados da manufatura avançada na produção industrial brasileira	42
Figura 11 – Principais novos <i>clusters</i> industriais e países exportadores mundiais	47
Figura 12 – Nível de disseminação da produção e uso de tecnologias digitais avançadas de produção no mundo	48
Figura 13 – Impactos de oito tecnologias para a competitividade de setores produtivos	64
Figura 14 – Matriz tecnológica: setores promissores e novas tecnologias	67
Figura 15 – Investimentos em tecnologias digitais no setor de petróleo e gás	71
Figura 16 – Iniciativas digitais na indústria de petróleo e gás	72
Figura 17 – Aplicações da nanotecnologia na medicina	73
Figura 18 – Centralidade do <i>data insight</i> no futuro das soluções agrícolas	80



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Comparação da probabilidade de impactos esperados advindos das novas tecnologias	17
Gráfico 2	– Probabilidade de impactos esperados das novas tecnologias 4.0, por região	18
Gráfico 3	– Frequência de citação das novas tecnologias da Indústria 4.0 na literatura atual	22
Gráfico 4	– Comparativo da densidade robótica mundialmente, em 2016	35
Gráfico 5	– Visão futura dos efeitos da manufatura avançada	37
Gráfico 6	– Vantagens da manufatura avançada para o Brasil	38
Gráfico 7	– Compreensão de manufatura avançada pela indústria brasileira	38
Gráfico 8	– Nível de preparação do Brasil para a Indústria 4.0	39
Gráfico 9	– Ganhos esperados pelas indústrias, por região e país (%)	40
Gráfico 10	– Frequência de citação das principais oportunidades provenientes das novas tecnologias na literatura atual	44
Gráfico 11	– Desafios e propostas no tema de tecnologias para manufatura avançada.	49
Gráfico 12	– Frequência de citação dos principais desafios relativos às novas tecnologias na literatura atual	50
Gráfico 13	– Intensidade Tecnológica: P&D sobre o PIB, em %, Brasil versus OCDE	59
Gráfico 14	– Exportações da Indústria de Transformação (% do Total Exportado pelo País)	62
Gráfico 15	– Taxa de inovação, produtividade e taxa de exportação (2014)	65
Gráfico 16	– Frequência de citação dos principais setores brasileiros para a Indústria 4.0 na literatura atual	68



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nova taxonomia de intensidade tecnológica da OCDE	54
Tabela 2 – Relação de P&D sobre PIB para setores de atividade do Sistema de Contas Nacionais – SCN	56
Tabela 3 – Percentual do valor agregado doméstico sobre exportação do setor	60
Tabela 4 – Setores destacados segundo variáveis de Fronteira Tecnológica, Intensidade Tecnológica (P&D sobre PIB) e Agregação de Valor (Valor agregado doméstico sobre as exportações).	63
Tabela 5 – Combinação de soluções tecnológicas e suas implicações no setor aeroespacial e de defesa	82
Tabela 6 – Aplicações tecnológicas atuais e emergentes no setor aeroespacial e de defesa	83
Tabela 7 – Resumo dos desafios para as MPE (a partir do Estudo Indústria 2027)	87
Tabela 8 – Aplicação das novas tecnologias na luta contra a Covid-19 e seus impactos	93



SIGLAS E ABREVIATURAS ENCONTRADAS NESTA PUBLICAÇÃO

- Abeq** | Associação Brasileira de Engenharia Química
- Abinc** | Associação Brasileira de Internet das Coisas
- Abit** | Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
- AR** | Realidade Aumentada
- BNDES** | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- C&T** | Ciência e Tecnologia
- ENCTI** | Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
- ERP** | *Enterprise Resources Planning*
- IIoT** | Internet das Coisas Industrial
- IoMT** | Internet Médica das Coisas
- IoT** | Internet das Coisas
- MCTI** | Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
- MPE** | Micro e Pequenas Empresas
- MPME** | Micro, Pequenas e Médias Empresas
- MR** | Realidade Mista
- OCDE** | Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
- P&D** | Pesquisa e Desenvolvimento
- PIB** | Produto Interno Bruto
- PGEPR/UFABC** | Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do ABC
- Senai** | Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
- TIC** | Tecnologias da Informação e Comunicação
- VR** | Realidade Virtual

